

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL: UM ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA AUTOMOBILÍSTICA

COMPUTER SIMULATION: A CASE STUDY IN AN AUTOMOTIVE COMPANY

Flávio Marcos de Souza¹; Stella Jacyszyn Bachega²

¹Universidade Federal de Goiás – UFG-CAC – Catalão – Brasil
flaviomarcoss@hotmail.com

²Universidade Federal de Goiás – UFG-CAC – Catalão – Brasil
stella@dep.ufscar.br

Resumo

Fatores como o aumento da competitividade no mercado mundial e a possibilidade de participação em novos mercados, ampliam a necessidade de estudar o ambiente no qual as empresas estão inseridas e planejar cuidadosamente os investimentos, pois um investimento errado pode comprometer o futuro da empresa. O objetivo deste artigo é analisar o processo de simulação realizado por uma empresa automobilística, verificando se esta considerou os passos necessários para uma boa execução. Por meio dessa análise, tornou-se possível sugerir melhorias neste processo. Neste artigo utilizou-se a abordagem qualitativa. Foi feita uma pesquisa teórico-conceitual com o intuito de pré-orientação teórica a respeito do tema Simulação Computacional e também usou-se como procedimento o estudo de caso. O projeto de simulação realizado pela empresa ajudou na tomada de decisão na compra ou não, de mais um equipamento de transporte aéreo de veículos (EOM). A simulação foi feita com base em dados fornecidos pela Engenharia Industrial e Setor de Manutenção da empresa. Apesar do estudo realizado pela empresa não ter seguido todos os passos de simulação, como não ter utilizado testes estatísticos para validação, podemos verificar que o objetivo da simulação foi alcançado, demonstrando para a gerência, por meio de uma animação da linha de montagem, que não seria necessário o investimento em mais um EOM.

Palavras-chave: simulação computacional, estudo de caso, empresa automobilística.

1. Introdução

O setor automobilístico obteve um novo recorde de vendas em 2010. O total de veículos emplacados somou 5.444.387 unidades, comparado com as 4.842.736 unidades de 2009, o que representa uma alta de 12,42%. Além disso, o crescimento foi ainda maior entre novembro e dezembro – aumento de 498.233 unidades para 593.013 unidades – alcançando 19,02% (FENABRAVE, 2011). Além disso, as grandes montadoras de veículos brasileiras prometem

investir R\$ 17 bilhões entre 2010 e 2014 (MUZELL, 2010).

O Brasil assumiu no acumulado dos sete meses desse ano de 2010 a quarta posição mundial em vendas de veículos. A posição estava com a Alemanha, que perdeu o posto no final do semestre, após o Brasil permanecer por três meses com a posição. A disputa entre os dois países é grande, mas a diferença do volume entre brasileiros e alemães até agora é de apenas 23 mil automóveis. Para analistas do setor, mesmo que os dois países cheguem ao empate técnico no final do ano, a partir de 2011 o Brasil começará a se distanciar, chegando ao final da década como a terceira potência mundial, ultrapassando também o Japão (SILVA, 2010).

A estabilidade da economia e o aumento do poder aquisitivo do brasileiro fizeram com que o Brasil se tornasse o quarto maior mercado em vendas de automóveis superando a Alemanha, atrás apenas dos EUA, Japão e China. Hoje o Brasil tem recebido investimentos de várias montadoras, das tradicionais às novas; como as chinesas e coreanas.

Diante desse mercado tão competitivo e promissor, se faz necessário estudar cada vez mais o mercado e planejar cuidadosamente os investimentos, pois um investimento errado pode comprometer o futuro da empresa. Dentre as ferramentas que podem auxiliar os gerentes na tomada de decisões corretas está a simulação computacional (LAW; KELTON, 2000).

Portanto, o objetivo desse artigo é analisar o processo de simulação realizado por uma empresa automobilística, verificando se esta considerou os passos necessários para uma boa execução. Por meio dessa análise, tornou-se possível sugerir melhorias neste processo. A simulação realizada nessa empresa foi necessária para verificar a viabilidade de investimento na melhoria do EOM (*Electric Overhead Monorail*), devido à necessidade de aumentar o volume de veículos em uma das linhas existentes. O EOM é um transportador aéreo de veículos usado na linha aérea, principalmente, nas instalações das rodas, motor, transmissão e outras operações sob a carroceria.

Para cumprir o objetivo, esse artigo adota a seguinte estrutura: na seção dois é mostrado um breve referencial teórico a respeito de simulação computacional; na terceira seção é mostrada a metodologia de pesquisa empregada no trabalho; na seção quatro é feita uma análise da simulação realizada, comparando se esta seguiu os passos de simulação de Law e Kelton (2000); e a quinta seção apresenta as considerações finais contemplando sugestões de melhoria na simulação realizada.

2. Simulação computacional

A simulação é defendida por vários autores como Freitas Filho (2008), Chwif e Medina (2007), Berends e Romme (1999), Law e Kelton (2000), e Buffa e Sarin (1987). Simulação é um processo de experimentação com um modelo detalhado de um sistema real para determinar como o sistema responderá a mudanças em sua estrutura, ambiente ou condições de contorno (HARREL *et*

al., 1997).

Ressalta-se que há uma ampla variedade de aplicações da simulação em produção e operações, que variam de programação de linha de montagem até projeto de fábrica. Os diversos usos de simulação podem ser agrupados em três grandes categorias (BUFFA; SARIN, 1987): i) projeto, ii) diagnóstico, e iii) treinamento.

2.1 Passos para um projeto de simulação

Para conduzir um estudo de simulação, vários autores sugerem um conjunto de passos. Dentre esses autores, estão: Emshoff e Sisson (1970), Shannon (1975), Ingels (1985), Pedgen et al. (1990), Scriber (1991), Banks *et al.* (1996), Law e Kelton (2000), e Chwif e Medina (2007). Nesse trabalho convencionou-se o uso dos passos propostos por Law e Kelton (2000) devido à similaridade entre os passos sugeridos por esses autores, os quais são detalhados a seguir:

Etapa 1) Formulação do problema e planejamento do estudo: todo estudo de simulação computacional inicia-se com essa primeira etapa. Dentre as informações contidas aqui estão a definição do tempo requerido para finalizar cada etapa do projeto de simulação, identificação das pessoas envolvidas, geração de hipóteses, custos, entre outros.

Etapa 2) Coleta de dados e definição do modelo: o sistema é abstraído por meio de um modelo conceitual e os dados relacionados ao sistema são coletados. Um modelo deve conter somente os detalhes necessários para capturar a essência do sistema e atender aos seus propósitos. Um modelo com detalhes excessivos pode ser muito caro para programar e para executar.

Etapa 3) Validação do modelo: nessa etapa, o modelo conceitual elaborado é percorrido de modo estruturado, verificando se todas as suposições são atendidas. Somente após essa validação, passa-se para a próxima etapa. Ressalta-se que na construção do modelo é imperativo envolver pessoas no estudo que sejam intimamente familiares com as operações do sistema atual. Além disso, é aconselhável interagir com tomadores de decisão ou pretendentes usuários do modelo. Isto aumentará a validade atual do modelo e a credibilidade (ou validade percebida). Também, a adequabilidade das distribuições de probabilidade especificadas para representar as entradas que possuem aleatoriedade envolvida, deve ser testada por meio de usos de testes de aderência.

Etapa 4) Construção do programa computacional e verificação: há a programação do modelo no software de simulação computacional ou por meio do uso de linguagens de propósito geral. Depois que a modelagem foi feita no software, é realizada a verificação do funcionamento e adequação do programa comparando-se ao modelo conceitual determinado.

Etapa 5) Realização de execuções piloto: são feitas algumas execuções piloto para validação. Assim, há a realização de uma simulação (execução do programa) com os mesmos parâmetros (distribuição de probabilidade de entrada, número de servidores, entre outros),

considerando que uma simulação é composta de diversas execuções.

Etapa 6) Validação do modelo programado: nessa etapa há a determinação de que o modelo é uma representação confiável do sistema analisado. Execuções piloto podem ser usadas para testar a sensibilidade das saídas do modelo quanto a pequenas mudanças em um parâmetro de entrada. A validação pode ser efetuada por meio de comparação e calibração do modelo frente ao comportamento real do sistema em estudo.

Etapa 7) Projeto dos experimentos: deve ser decidido quais projetos de sistemas simular. Na prática, algumas vezes existem mais alternativas do que alguém poderia simular e a decisão completa não poderia ser feita em tempo. Também, são determinados nesta etapa o número, o comprimento, as configurações e as condições iniciais da simulação.

Etapa 8) Realização das execuções de simulação: várias simulações e execuções são feitas para que os resultados e medidas de desempenho sejam empregados na validação.

Etapa 9) Análise de resultados: técnicas estatísticas são usadas para analisar os dados de saída de uma execução realizada. Durante a análise dos dados de saída é determinado o desempenho absoluto de certas configurações do sistema e a comparação de configurações alternativas em termos relativos.

Etapa 10) Documentação, apresentação e implementação dos resultados: nessa etapa é realizada a documentação de forma adequada para auxiliar o entendimento do estudo realizado, dar credibilidade aos resultados do processo e facilitar modificações. Considera-se falha a não implementação dos resultados de um estudo de simulação que possui modelo de alta credibilidade.

2.2 Armadilhas da simulação

Apesar das numerosas vantagens da simulação enumeradas por Freitas Filho (2008), como a facilidade de aplicação comparada com os métodos analíticos, e possibilidade de identificação de “gargalos”, as empresas devem tomar cuidado com as armadilhas que podem causar o insucesso em seus projetos. Autores como Ulgen *et al.* (1996), Law e Kelton (2000) e Freitas Filho (2008) abordam tais preocupações.

Algumas dessas armadilhas são (LAW; KELTON, 2000, p. 116): i) falha na definição do conjunto de objetivos no início do estudo de simulação; ii) Inadequado nível de detalhamento do modelo; iii) falhas de comunicação com os gestores durante o estudo; iv) tratar o estudo de simulação principalmente como um exercício de utilização de *software* em computador; v) não incluir na equipe de modelagem pessoas com conhecimento de estatística e pesquisa operacional; vi) adotar *software* de simulação inadequado, que não permita implementar a lógica desejada e que contenha erros; vii) confiar que os simuladores tornam a simulação acessível a todos; viii) não considerar corretamente as fontes de aleatoriedade no sistema atual; ix) mau uso da animação; x)

uso arbitrário de distribuições de probabilidade como dados de entrada; xi) analisar os resultados a partir de uma rodada usando fórmulas estatísticas; xii) fazer uma única replicação de um modelo de simulação e tomar os resultados obtidos como “a verdadeira resposta”; xiii) comparar modelos alternativos do sistema com uma única replicação em cada modelo; xiv) uso de medidas de desempenho erradas.

3. Metodologia de pesquisa

No presente artigo foi utilizada a abordagem qualitativa, conforme Bryman (1989). A pesquisa qualitativa, segundo esse autor, é caracterizada pelos seguintes pontos: i) a postura do pesquisador como um membro da organização, bem informado. Isso influencia na interpretação da natureza da organização oferecida pelos próprios gerentes; ii) a pesquisa apresenta um forte senso de contexto; iii) existe uma ênfase no processo, pois há o desdobramento dos eventos no tempo; iv) a tentativa de aproximação não é estruturada, sem a preocupação da entrada no campo com uma forte pré-orientação teórica e hipóteses formuladas; v) a investigação pode empregar três fontes principais de dados: o campo com uma observação participante, a transcrição de entrevistas e conversas e os documentos; vi) há uma notável concepção da realidade organizacional; vii) há a procura da manutenção de uma estreita proximidade com o fenômeno estudado.

Segundo Berto e Nakano (1998; 2000), os procedimentos de pesquisa mais utilizados em Engenharia de Produção são: teórico-conceitual, experimental, *survey* (pesquisa de avaliação), pesquisa-ação e estudo de caso. Nesta pesquisa, foram utilizados os seguintes procedimentos: pesquisa teórico-conceitual (BERTO; NAKANO, 1998, 2000) e estudo de caso (YIN, 1994).

A pesquisa teórico-conceitual, ou bibliográfica, foi realizada com o intuito de pré-orientação teórica a respeito do tema Simulação Computacional. De acordo com Berto e Nakano (1998; 2000), esse tipo de pesquisa é fruto de uma série de reflexões fundamentadas em um fato observado ou exposto pela literatura, reunião de opiniões e ideias de diversos autores ou mesmo pela simulação e modelagem teórica. Conforme esses autores, as discussões conceituais baseadas na literatura e revisões bibliográficas são classificadas como pesquisas teórico-conceituais.

Estudo de caso é um método de pesquisa definido como uma forma de se fazer pesquisa social empírica ao investigar um fenômeno atual dentro de seu contexto de vida real, em que as fronteiras entre o fenômeno e o contexto não são claramente definidas e na situação em que múltiplas fontes de evidência são usadas (YIN, 1990). De acordo com Leonard-Barton (1994) *apud* Voss *et al.* (2002), um estudo de caso é uma história de um fenômeno passado ou corrente, delineado a múltiplas fontes de evidência. Pode incluir dados de observação direta e entrevista sistemática tão bem como dados de arquivos públicos e privados. Algum fato relevante para o fluxo de eventos que descrevem o fenômeno é um dado potencial em um estudo de caso, até o contexto é

importante.

Existem três fortes pontos da pesquisa de caso conforme Meredith (1998) *apud* Voss *et al.* (2002): i) o fenômeno pode ser estudado em seu ambiente natural e significativo; ii) o método de caso permite as questões por que, o que e como, serem respondidas com um entendimento relativamente completo da natureza e complexidade do fenômeno completo; iii) o método de caso fornece a si uma rápida investigação exploratória onde as variáveis ainda não são conhecidas e o fenômeno não é todo entendido.

Nesta pesquisa, o estudo de caso foi utilizado como procedimento para verificação do processo de simulação realizado pela empresa estudada. Para realizar uma análise da simulação feita pela empresa para o aumento de volume, foi feito um questionário semi-estruturado baseado nos passos de um estudo de simulação de Law e Kelton (2000) e aplicado aos funcionários envolvidos no processo de simulação. O objetivo foi verificar se todos os passos foram seguidos e como foi conduzido o processo.

4. O estudo de caso realizado

Nesta seção, há a exposição de um breve histórico da empresa, sendo que o nome desta e suas características particulares serão preservadas por questões de sigilo. Além disso, o projeto de simulação realizado pela empresa é discutido conforme os passos sugeridos por Law e Kelton (2000).

4.1 Breve histórico da empresa

A montadora pesquisada está instalada em uma área de 630 mil m² e cerca de 100 mil m² são de área construída. Em sua planta fabril brasileira, possui aproximadamente dois mil funcionários. Atualmente, de suas dependências saem nove modelos, nos quais quatro são montados e outros cinco modelos são em regime de CBU (*Completely Build Unit* - Unidades Completamente Montadas). Produz aproximadamente 40 mil veículos por ano (excluindo CBU).

A empresa registrou um faturamento anual de aproximadamente R\$ 4 bilhões em 2009 e possui uma rede de distribuição composta de 156 revendas completas (vendas e serviços).

4.2 O estudo de simulação realizado

Nesta seção, o processo de simulação realizado na empresa estudada é apresentado conforme os passos de um estudo de simulação propostos por Law e Kelton (2000).

4.2.1 Formulação do problema e planejamento do estudo

O software Tecnomatix® - Plant Simulation 9 da empresa Siemens foi escolhido pela Gerência, pois esta já conhecia o software de outra empresa em que trabalhava. O investimento total ficou em aproximadamente 160 mil reais para as licenças, treinamento (básico e programação) e manutenção.

Ressalta-se que a empresa planejou o processo, determinando metas para finalização do projeto de simulação e determinando os recursos financeiros, humanos (três funcionários, sendo dois para a programação do modelo e um para gerenciamento do projeto) e tecnológicos necessários.

O objetivo do estudo de simulação consistiu em avaliar se a linha tinha capacidade para produzir determinado volume considerando os recursos disponíveis de mão-de-obra e equipamentos, a existência de falhas no sistema e a identificação dos gargalos da produção. Assim, os objetivos específicos foram: i) simular alteração de volume de produção para 63 automóveis de uma linha, em uma jornada de trabalho de 7,30 horas, com uso do software Tecnomatix Plant Simulation 9.0 da Siemens; ii) considerar as linhas de ‘cabine’, ‘aérea’ e ‘final’, com todas as submontagens envolvidas; iii) utilizar mão-de-obra e balanceamento disponibilizados pela engenharia industrial; iv) considerar os tempos de ciclo, descida, traslado e subida do EOM (*Electric Overhead Monorail*), que consiste em um equipamento de transporte aéreo de veículos, e seus respectivos MTBF (*Mean Time Between Failures* – tempo médio entre falhas) e MTTR (*Mean Time to Repair* – tempo médio para reparo).

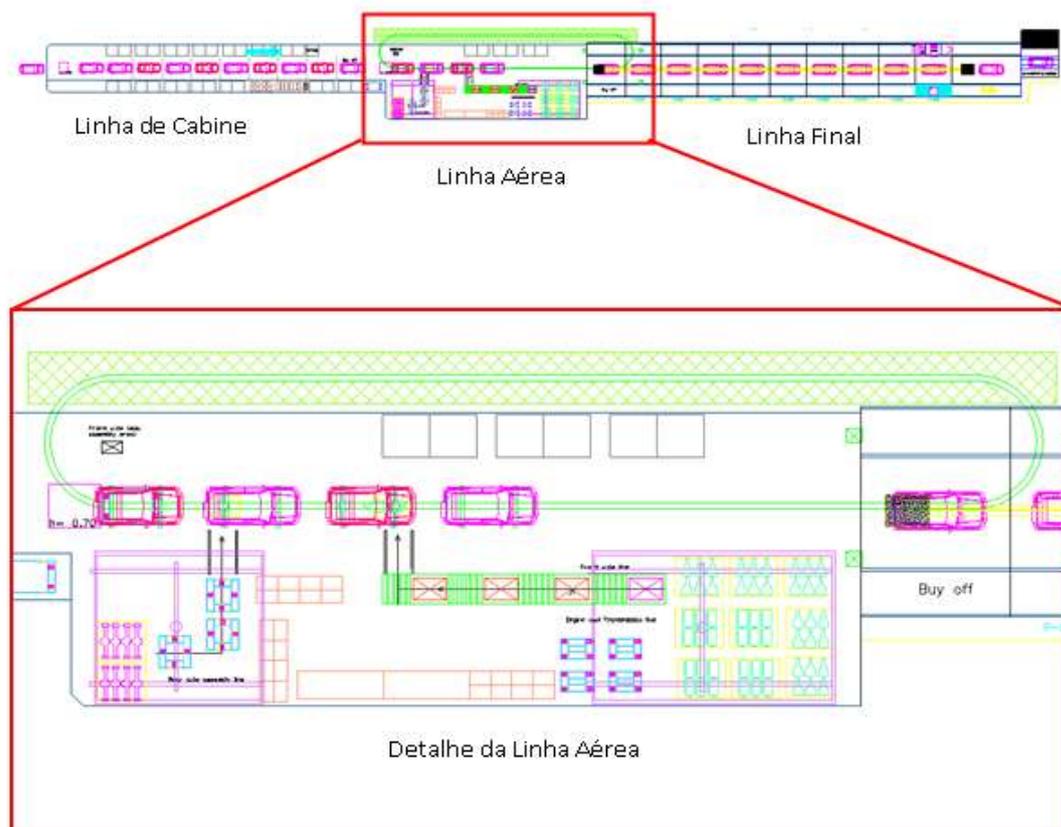
4.2.2 Coleta de dados e definição do modelo

Dentre os dados coletados para a representação do sistema estão: i) Balanceamento de mão-de-obra da Engenharia Industrial (definição de mão-de-obra); ii) Capacidade de máquinas da Engenharia Industrial (tempos do EOM); iii) MTBF; e iv) MTTR da Manutenção. Ressalta-se que os dados coletados representam o tempo-padrão fornecido pela Engenharia Industrial, que mede todos os tempos *in loco* na produção e geram uma planilha de balanceamento de mão-de-obra e capacidade de máquinas e equipamentos. Assim, trabalhou-se com a média dos dados coletados ao invés de ajustar as melhores distribuições de probabilidade para representar as aleatoriedades inerentes ao sistema real simulado.

A definição do modelo foi dada com base na própria linha já existente. Esta foi representada com base no estudo levantado pela área de Engenharia Industrial, ou seja, de acordo com o estudo para o aumento de volume já validado por este setor. Nesse estudo foram acrescentadas mais três estações de trabalho na Linha Aérea e algumas operações foram transferidas para Linha Final e Linha de Cabine. Ademais, foram acrescentados novos operadores em algumas estações da Linha e nas estações criadas da Linha Aérea.

A Figura 1 mostra o *layout* da linha de montagem, onde há a representação da disposição das linhas de cabine, aérea e final. Ainda, há o detalhamento da linha aérea que exibe o EOM, no qual há uma área de *buy off* ao seu final. O *buy off* é responsável pela checagem dos itens montados quando estes chegam ao final da linha aérea. As demais linhas, neste caso a de cabine e a final, também possuem áreas de checagem ao seu final.

Figura 1 – *Lay out* da linha de montagem



Fonte: Dados da pesquisa

Portanto, não houve uma preocupação formal, da equipe de simulação, em desenvolver um modelo conceitual de forma gráfica ou por meio de pseudocódigo com intuito de definir as variáveis, componentes e relacionamentos lógicos que compõem o sistema.

4.2.3 Validação do modelo conceitual

Como a equipe que desenvolveu o projeto de simulação não desenvolveu um modelo conceitual formal, a etapa de validação deste modelo também não foi efetuada.

4.2.4 Construção do programa computacional e verificação

A programação do modelo foi feita no software Tecnomatix[®] - Plant Simulation 9 da Siemens. Para tanto, os tempos coletados (carga de operadores, MTBF, MTTR e capacidade de

equipamentos) foram inseridos no modelo por meio de comandos de programação. Inicialmente houve grande dificuldade na programação do modelo, devido à necessidade de uso da linguagem específica do software utilizado, na qual os funcionários envolvidos não possuíam total afinidade. Este fato foi considerado o maior desafio enfrentado.

Na Figura 2 é mostrado o tempo de processo realizado pelos operadores (carga do operador) de cinco das oito estações de trabalho da Linha de Cabine (estação PLC 10 a PLC 50), desconsiderando o *buy off*, como exemplo de parte da programação do modelo. Como pode ser notado, na estação de trabalho PLC 10 há cinco processos sendo realizados, nos quais o primeiro processo dura 392 segundos, o segundo processo dura 422 segundos e assim sucessivamente.

Figura 2 – Exemplo de inserção dos tempos (carga dos operadores) no programa computacional

```
-- .Models.Linha, BalancTime
is
do
    -- Tempos dos Processos da Linha de Cabine conforme BALANCEAMENTO
    -- Tempos dos Processos da PLC10 conforme BALANCEAMENTO
    PLC10.Processo1.ProcTime := 392.0000;
    PLC10.Processo2.ProcTime := 422.0000;
    PLC10.Processo3.ProcTime := 417.0000;
    PLC10.Processo4.ProcTime := 416.0000;
    PLC10.Processo5.ProcTime := 418.0000;

    -- Tempos dos Processos da PLC20 conforme BALANCEAMENTO
    PLC20.Processo1.ProcTime := 411.0000;
    PLC20.Processo2.ProcTime := 395.0000;
    PLC20.Processo3.ProcTime := 450.0000;
    PLC20.Processo4.ProcTime := 397.0000;
    PLC20.Processo5.ProcTime := 412.0000;

    -- Tempos dos Processos da PLC30 conforme BALANCEAMENTO
    PLC30.Processo1.ProcTime := 397.0000;
    PLC30.Processo2.ProcTime := 393.0000;
    PLC30.Processo3.ProcTime := 413.0000;
    PLC30.Processo4.ProcTime := 409.0000;
    PLC30.Processo5.ProcTime := 444.0000;

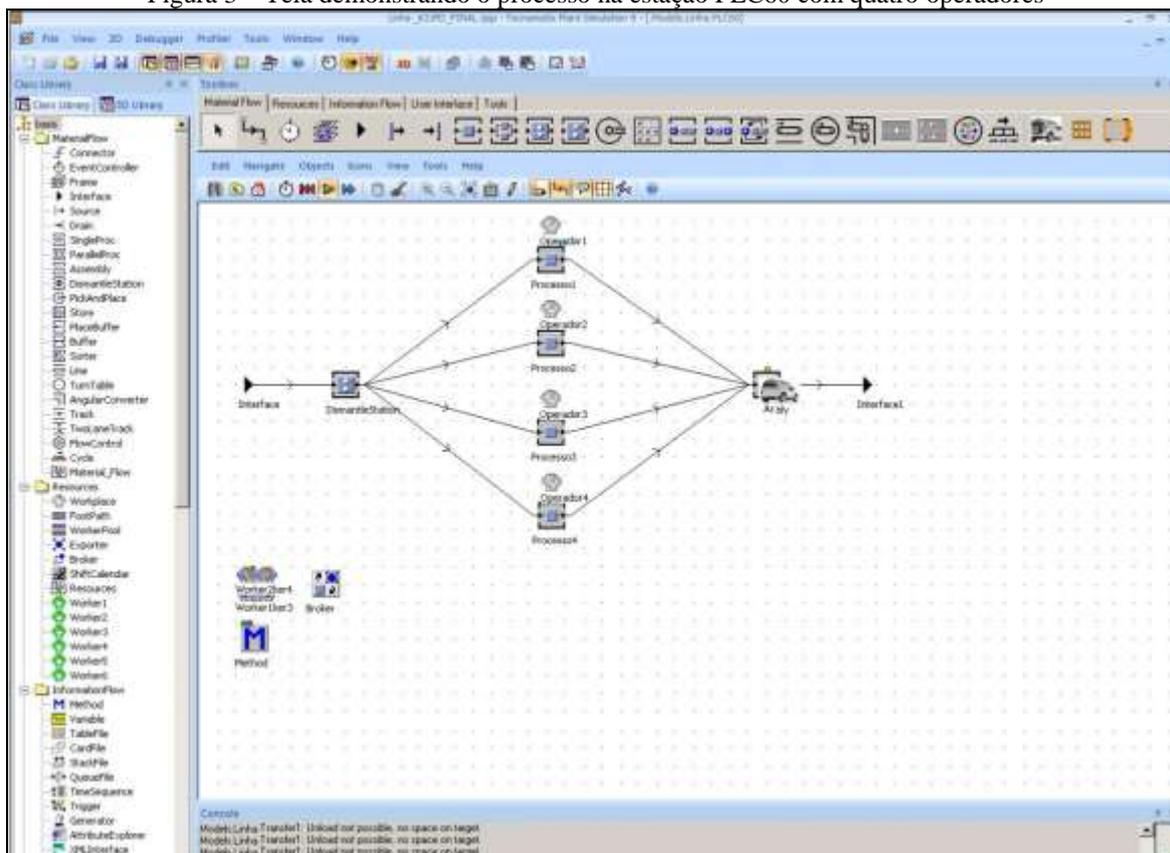
    -- Tempos dos Processos da PLC40 conforme BALANCEAMENTO
    PLC40.Processo1.ProcTime := 389.0000;
    PLC40.Processo2.ProcTime := 388.0000;
    PLC40.Processo3.ProcTime := 365.0000;
    PLC40.Processo4.ProcTime := 388.0000;

    -- Tempos dos Processos da PLC50 conforme BALANCEAMENTO
    PLC50.Processo1.ProcTime := 400.0000;
    PLC50.Processo2.ProcTime := 393.0000;
    PLC50.Processo3.ProcTime := 417.0000;
    PLC50.Processo4.ProcTime := 396.0000;
```

Fonte: Dados da pesquisa

A representação da sexta estação de trabalho da Linha de Cabine (PLC 60) está na Figura 3. Nela estão reproduzidos os quatro operadores que realizam seus respectivos processos, a entrada do veículo na estação PLC 60 e a saída do veículo para a próxima estação (PLC 70). Salienta-se que esta figura apresenta somente parte do modelo desenvolvido.

Figura 3 – Tela demonstrando o processo na estação PLC60 com quatro operadores



Fonte: Dados da pesquisa

Identificou-se que a verificação do funcionamento e adequação do programa por meio da comparação do modelo conceitual não foi realizada pela equipe envolvida no projeto de simulação.

4.2.5 Realização de execuções piloto

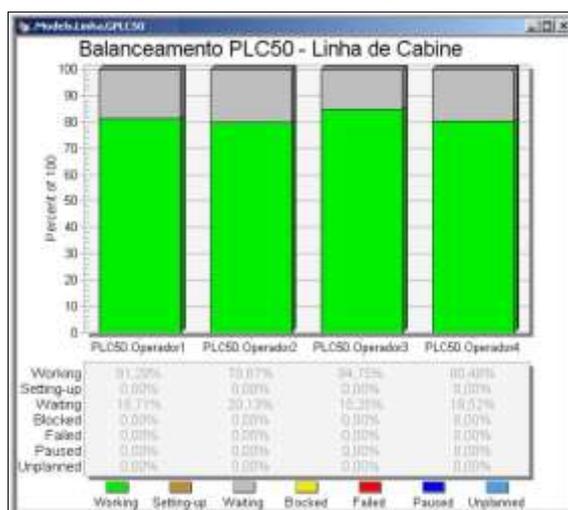
Inicialmente houve problemas com a execução piloto do programa. Havia o intuito de possuir dois cenários, o primeiro com o sistema começando vazio e o segundo com o sistema começando cheio. Quando o sistema rodava em vazio, tinha-se êxito na simulação e a mesma era estável. Porém, quando se executava a simulação com o sistema cheio (sem apagar as MU's – unidades de movimento), tinha-se um problema dos veículos se agruparem na transição das linhas. Assim, quando as MU's não eram apagadas, os tempos de execução também não eram apagados. Por exemplo, se o tempo de processo era cinco minutos e ao finalizar a simulação com o sistema vazio esta MU parasse no processo com um tempo de quatro minutos, ao iniciar a simulação com o sistema cheio a MU carregava esta informação e finalizava o ciclo em apenas um minuto, o que gerava instabilidade no sistema. Após vários estudos, conseguiu-se zerar essas informações das MU's por meio de comando, sempre que o sistema era iniciado. Foi necessário sincronizar o tempo de ciclo do operador com o tempo de ciclo da esteira e do transportador aéreo.

4.2.6 Validação do modelo programado

A validação do modelo programado foi realizada por meio de comparação com o comportamento real do sistema em estudo. Assim, houve a comparação da carga operacional da planilha de balanceamento da engenharia industrial com a planilha da carga operacional fornecida pelo software de simulação. Destaca-se que não houve a preocupação em analisar por meio de testes estatísticos o modelo programado.

A Figura 4 apresenta um exemplo de gráfico da carga operacional de cada um dos operadores da estação de trabalho PLC 50, emitido pelo software de simulação, para auxiliar na comparação realizada. A carga operacional não deveria ultrapassar 85% do tempo do funcionário, devido a implicações legais. Portanto, o operador 1 da estação de trabalho 5 da Linha de Cabine possui 81,2% do seu tempo em operação e 18,71% de ociosidade, o operador 2 possui utilização de 78,87% e 20,13% do seu tempo em espera, e assim sucessivamente.

Figura 4 – Gráfico de carga por operador da estação PLC50 da Linha de Cabine



Fonte: Dados da pesquisa

4.2.7 Projeto dos experimentos

No projeto dos experimentos, as configurações e preocupações consideradas foram:

- Elaborar uma simulação que refletisse exatamente a realidade da linha de produção, conforme balanceamento da Engenharia Industrial;
- Verificar se o sistema realmente rodaria com o volume pré-definido, sem gargalos nem formação de estoques intermediários;
- Encontrar os gargalos de produção e conhecer a capacidade limite da linha, onde não adianta mais inserir recursos humanos, pois as máquinas eram o fator limitante;
- Simular quebras de máquinas e equipamentos e verificar os impactos na produção;
- Rodar o sistema em um cenário onde não houvesse os investimentos (máquinas e

equipamentos) que foram realizados e provar para a diretoria e presidência que sem os investimentos em máquinas e equipamentos não teria a capacidade de produção desejada;

f) Verificar pontos de melhoria no balanceamento de linha, pois havia alta carga operacional para alguns funcionários e baixa carga operacional para outros.

Destaca-se que a determinação do número de replicações e o comprimento desta foram feitas de forma intuitiva, considerando o período de análise desejado.

4.2.8 Realização das execuções de simulação

Durante as execuções dos cenários projetados, pôde-se simular a redução do tempo de ciclo da linha e observar quais estações ou máquinas eram gargalos de produção. Também, foi possível verificar qual era a capacidade máxima da linha, considerando os recursos disponíveis com uma carga operacional média de 85%. As cargas operacionais de cada trabalhador eram diferentes, porém, por meio da programação realizada, conseguiu-se simular um cenário onde todos trabalhavam com a carga pré-determinada a fim de descobrir qual era a capacidade de produção.

Além disso, foram simuladas falhas no sistema, como quebras de máquinas e falta de material. Foram observadas perdas de veículos na produção e, conseqüentemente, o não atendimento do volume previsto inicialmente.

4.2.9 Análise de resultados

Durante o processo de simulação realizado pela empresa estudada, foi feito um estudo de capacidade com base nos tempos dos EOM's e estações de trabalho da linha. Com base nos dados coletados, foi observado que, para um aumento para 63 veículos/dia (um aumento de 10 veículos na quantidade atual) não seria necessário aumentar a quantidade de cinco para seis EOM's, pois quem determinaria o tempo de espera era a primeira estação da Linha Aérea. Além disso, o tempo gasto nessa estação continuaria impactando, pois a maioria das operações contidas ali não poderia ser transferida para outras estações da Linha de Cabine, Linha Final ou da própria Linha Aérea. Nesta estação também era feita a operação de transferência e encaixe da carroceria, do carrinho da esteira para o EOM, uma operação que demandava certa quantidade de tempo.

Um dos cenários pensados foi tentar igualar o tempo das outras estações da Linha Aérea com base na primeira estação, criando-se uma ou duas estações a mais (mas com o mesmo tempo da primeira) e retirando ainda operações possíveis para Linha Final e Linha de Cabine para dar fluxo à linha. Essa modificação visava o aumento na produção de veículos. No entanto, um EOM a mais acarretaria num tempo de espera dos EOM's na primeira estação.

Por meio da simulação, foi possível mostrar para a diretoria e gerência que se conseguiria o

resultado almejado com o balanceamento de operações, realocações de alguns dispositivos e com algumas pequenas modificações de infra-estrutura na linha (ar e energia), sem a necessidade de investimento em mais um EOM (investimento de aproximadamente 300 mil reais).

Cabe ressaltar que somente foram analisados os resultados gerados nos relatórios do software Tecnomatix® - Plant Simulation em sua forma original. Portanto, demais técnicas estatísticas não foram consultadas para verificação da validade e confiabilidade dos resultados.

4.2.10 Documentação, apresentação e implementação dos resultados

Na fase de documentação, foram registrados as suposições propostas, a programação computacional e os resultados do estudo. Além disso, os resultados foram apresentados para a gerência e para a diretoria, por meio de uma animação da linha de montagem em alguns cenários, demonstrando que não seria necessário o investimento em mais um EOM.

Com a realocação de alguns equipamentos (braços manipuladores e ferramentas) da Linha Aérea, a contratação de mão-de-obra (cerca de 20 pessoas) e a reativação de algumas máquinas pneumáticas (sete máquinas) que estavam paradas na manutenção, foi possível o aumento de mais 10 veículos já na segunda semana de implementação. Estas modificações geraram um investimento bem inferior ao se comparar com a compra de um novo EOM.

O projeto durou cerca de dois meses, desde a coleta de informações com a Engenharia Industrial e Manutenção, execução e apresentação para a gerência. Além disso, os resultados foram implementados na empresa, sendo que atualmente opera segundo as sugestões propostas por meio do projeto de simulação.

Vale ressaltar, ainda, que o empenho das áreas de Manutenção, Engenharia de Manufatura, Produção e Engenharia Industrial foram de vital importância para o êxito desse estudo e sua implantação na linha.

5. Análise do projeto de simulação realizado pela empresa

Verificou-se que o projeto desempenhado pela equipe seguiu a maioria dos passos sugeridos por Law e Kelton (2000) para um estudo de simulação. No entanto, notou-se que a empresa não utilizou testes estatísticos para validação dos dados de entrada e dos resultados gerados pela simulação, sendo que uma das causas levantadas foi a pouca *expertise* no uso de tais técnicas/métodos devido ao treinamento fornecido ter sido curto (2 semanas) e este não aprofundou nesse tema. Já o modelo programado foi validado por meio do conhecimento e a intuição de especialistas e por medições obtidas em sistemas reais, o que é advogado por autores como Freitas Filho (2008), Pidd (1995) e Sargent (1994).

Dentre os testes de aderência que poderiam ser utilizados para identificação das melhores distribuições de probabilidade para os dados de entrada estão Kolmogorov-Smirnov (K-S), Lilliefors, Anderson-Darling (A-D) e Qui-quadrado (BARBETTA et al. 2004). Existem ferramentas computacionais que realizam esses testes e auxiliam mais facilmente na determinação da melhor distribuição como o Input Analyzer, Stat::Fit, BestFit e EasyFit.

Cabe ressaltar que o uso de médias nos dados de entrada, ao invés do uso de distribuições de probabilidade para representar o funcionamento do sistema real (como foi o caso da empresa estudada), pode causar viés nos resultados obtidos por não representar corretamente as variâncias deste, como enfatizado por Law e Kelton (2000).

Para a determinação de quais testes poderiam ser utilizados na validação dos resultados, é necessário classificar o sistema simulado em terminais e não-terminais (FREITAS FILHO, 2008). Verificou-se que o sistema que a empresa simulou era terminal, pois as condições iniciais e o período simulado eram fixos e o objetivo era compreender o comportamento do sistema ao longo deste período predeterminado. Portanto, a principal preocupação que a empresa poderia ter era a determinação do número de replicações a serem realizadas. Ademais, a equipe necessitaria determinar o nível de confiança desejado antes de calcular o intervalo de confiança.

Quanto à modelagem conceitual, a empresa poderia utilizar fluxograma, pseudocódigos, ferramentas aplicadas ao BPM (*Business Process Modeling* – Modelagem de Processos de Negócio) como as versões IDEF0 (*Integration Definition for Function Modeling*) e IDEF3, pertencentes à família IDEF (*ICAM Definition Methodology*) e também técnicas de modelagem de processos voltadas para projetos de simulação como o IDEF-SIM, ACD (*Activity Cycle Diagram*) e SAD (*Simulation Activity Diagrams*).

Chwif e Medina (2007) e Law e McComas (2001) enfatizam que uma das etapas mais importantes do projeto de simulação é modelagem conceitual, embora muitos analistas e livros a pulem. Se erros ou omissões de dados e informações forem identificados nesta etapa, é possível corrigi-los antes da programação efetiva do modelo.

Também, sugere-se que a empresa considere a possibilidade de integrar a equipe de desenvolvimento de projetos de simulação, profissionais que possuam conhecimento aprofundado da metodologia de simulação e estatística, para evitar falhas indesejadas.

6. Considerações finais

O modelo desenvolvido pela empresa demonstrou que o gargalo não era o equipamento EOM, mas sim a primeira estação da Linha Aérea que tinha uma limitação por conta das operações feitas nesta estação. Dentre essas operações estão o encaixe da carroceria no EOM e outras operações sob a cabine que não podiam migrar para outras estações, criando com isso um tempo

“mínimo” que não poderia ser alterado.

Mesmo que o projeto de simulação desenvolvido não tenha seguido completamente os passos sugeridos para uma boa execução, os resultados expostos ajudaram no processo de tomada de decisão, com a vantagem de demonstrar mais visivelmente o volume perdido com a quebra de EOM, carga dos operadores com mudança no tempo de ciclo, aumento ou diminuição do MTTR e MTBR, entre outros. Além disso, atingiram o objetivo desejado de 63 jpd (*jobs per day* – veículos por dia) na simulação realizada e na situação real após a implementação das melhorias.

A presente pesquisa contribui para maior divulgação e compreensão dos passos para uma boa condução de projetos de simulação. Além disso, desperta a atenção para realização de pesquisas com essa temática e com aplicações em diversos setores. Como pesquisa futura, sugere-se efetuar uma pesquisa-ação com intuito de implantar as recomendações na prática empresarial e verificar os benefícios que possam surgir ao se comparar com a forma de execução atual dos projetos de simulação.

Abstract

Factors such as increasing competitiveness in the global market and the possibility of participation in new markets, expand the need to study the environment in which companies are inserted and carefully plan investments, as a wrong investment can jeopardize the future of the company. The aim of this paper is to analyze the simulation process performed by an automobile company, verifying that it considered the necessary steps for proper execution. By means of this analysis, it became possible to suggest improvements in this process. In this paper we used a qualitative approach. Also, we used bibliographic research and case study as research procedure. The simulation project conducted by the company helped in the decision to buy or not, over an air transport equipment vehicle (EOM). The simulation was based on data provided by the Department of Industrial Engineering and the Company's Maintenance. Although the study conducted by the company did not follow all the steps of simulation, such as failure to use statistical tests for validation, we can see that the goal of simulation was achieved by demonstrating to the management, by means of an animation assembly line, that the investment in one more EOM would not be necessary.

Key-words: computer simulation, case study, automotive company.

Referências

BANKS, J.; CARSON, J. S.; NELSON, B. L. **Discrete-event system simulation**. New Jersey: Prentice Hall, 1996. 548 p.

BERENDS, P.; ROMME, G. Simulation as a research tool in management studies. **European Management Journal**, v.17, n.6, pp.576–583, 1999.



BERTO, R. M. V. S.; NAKANO, D. N. A produção científica nos anais do encontro nacional de engenharia de produção: um levantamento dos métodos e tipos de pesquisa. **Produção**, v. 9, nº 2, p. 65-75, jul. 2000.



BERTO, R. M. V. S.; NAKANO, D. N. Metodologia da pesquisa e a engenharia de produção. In: XVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP) e IV International Congress of Industrial Engineering (ICIE), 1998, Niterói, RJ. **Anais...Niterói**: UFF/ABEPRO, out. 1998. 1 CD-ROM.

BRYMAN, A. **Research methods and organization studies**. London: Uniwin Hyman, 1989. 224 p.



BUFFA, E. S.; SARIN, R. K. **Modern Production/Operations Management**. 8ª ed. John Wiley & Sons, 1987. 834 p.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações**. 2ª ed. São Paulo: Bravarte, 2007.

CRESWELL, J. W. **Research design: qualitative & quantitative approaches**. London: Sage, 1994.

EMSHOFF, J. R.; SISSON, R. L. **Design and Use of Computer Simulation Models**. The Macmillan, New York, 1970.

FENABRAVE. Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores. **Setor automobilístico encerra 2010 com novo recorde**, 14/06/2011. Disponível em: <http://www.fenabrave.com.br/principal/home/?sistema=conteudos|conteudo&id_conteudo=2835#conteudo>. Acesso em: 06 ago. 2011.

FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas**. Florianópolis: Visual Books. 2ª ed. 2008.

HARREL, C. R.; MOTT, J. R. A.; BATEMAN, R. E.; BOWDEN, R. G.; GOGG, T. J. **Simulação: otimizando os sistemas**. São Paulo: Belge Simulação e IMAM. 2ª ed. 2002.

INGELS, D. M. **What every engineer should know about computer modeling and simulation**. New York, USA, Marcel Dekker Inc, 1985.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation Modeling & Analysis**. McGraw- Hill, 3rd edition, 2000.

LAW, A. M.; McCOMAS, M. G. How to build valid and credible simulation models. **Proceedings...** In: 2001 Winter Simulation Conference, 2001, pp. 22-29.

MUZELL, R. **Montadoras de veículos preparam investimentos de R\$ 17 bilhões no Brasil**. Disponível em: <<http://zerohora.clicrbs.com.br/especial/rs/zhdinheiro/19,0,2772942, Montadoras-de-veiculos-preparam-investimentos-de-R-17-bilhoes-no-Brasil.html>>. Acesso em: 15 de Nov. 2010.

PEDGEN, C. D.; SHANNON, R. E.; SADOWSKI, R. P. **Introduction to simulation using siman**. New York, USA, McGraw Hill, 1990. 615 p.

PIDD, M. **Computer Simulation in Management Science**, 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, 1995.

SARGENT, R. G. Verification and Validation of Simulation Models. **Proceedings...** In: 1994 Winter Simulation Conference, 1994, pp. 77-87.

SCRIBER, T. J. **An Introduction to Simulation Using GPSS/H**. USA, John Wiley & Sons, 1991. 437 p.

SHANNON, R. E. **Systems simulation: the art and science**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1975.

SILVA, C. **Brasil supera Alemanha e volta a ser o quarto mercado de carros**. Disponível em <http://www.estadao.com.br/estadaodehoje/20100816/not_imp595565,0.php>. Acesso em: 15 nov. 2010.

ULGEN, O. M.; GUNAL, A.; SHORE, J. Pitfalls of simulation modeling and how to avoid them by using a robust simulation methodology. **Proceedings...** AutoSimulations Symposium, 1996.

VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. Case research in operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, v.22, n.2, pp.195-219, 2002.



YIN, R. K. **Case study reseach**: design and methods. Newbury Park, Califórnia; Sage Publications, 1994.

Dados dos autores:

Nome completo: **Flávio Marcos de Souza**

Filiação institucional: Universidade Federal de Goiás – Campus Catalão

Departamento: Engenharia de Produção

Função ou cargo ocupado: Aluno de Especialização em Gestão Estratégica da Produção

Endereço completo para correspondência (bairro, cidade, estado, país e CEP): Av. Antônio de Paiva, 381 – Bairro Pontal Norte, Catalão – GO, CEP: 75704-020

Telefones para contato: (64)3442-2069

e-mail: flaviomarcoss@hotmail.com

Nome completo: **Stella Jacyszyn Bachega**

Filiação institucional: Universidade Federal de Goiás – Campus Catalão

Departamento: Engenharia de Produção

Função ou cargo ocupado: Professora Assistente II

Endereço completo para correspondência: Avenida Dr. Lamartine Pinto de Avelar, 1120, Setor Universitário, Catalão/GO, CEP: 75704-020.

Telefone para contato: (64) 3441-5328

e-mail: stella@dep.ufscar.br

Enviado em: 27/06/2011

Aprovado em: 11/03/2012