

Projeto de simulação computacional de abastecimento *just-in-time* de uma linha de produção do setor automotivo

Alexandre Sabino Gonçalves (UFRGS) alexandresago@globo.com
Marcelo Nogueira Cortimiglia (PPGEP/UFRGS) cortimiglia@producao.ufrgs.br
Rafael Lipinski Paes (PPGEP/UFRGS) rpaes@producao.ufrgs.br

Resumo

Este artigo apresenta uma proposta de método para condução de projeto de simulação computacional, visando analisar e apresentar alternativas para impactos causados no abastecimento just-in-time de linha de produção de uma empresa do setor automotivo devido à mudança de layout. Fazendo uso da metodologia de pesquisa-ação, apresenta-se uma revisão referencial de três metodologias para condução de projetos de simulação computacional, as quais são analisadas a fim de se comparar suas principais características. Em seguida, é proposto um método para condução de um projeto de simulação computacional, composto por nove etapas. O método proposto é validado através de uma aplicação prática em uma empresa de logística. Entre os benefícios associados à realização bem sucedida do projeto de simulação, inclui-se significativa redução de custos para a empresa.

Palavras-chave: simulação computacional, abastecimento just-in-time, indústria automotiva.

1. Introdução

O mercado, cada vez mais globalizado, obriga as empresas a tomarem decisões de forma precisa e ágil. Frequentemente, estas decisões são de difícil mensuração, abrangendo aspectos importantes como mudança de território físico, alteração de demanda, verticalização ou terceirização, rearranjo de layout e mudanças no produto. Diante de decisões desse porte, muitas vezes torna-se arriscado o uso somente da experiência e do empirismo na tomada de decisões. Nem mesmo uma solução matemática e estatística analisada analiticamente pode trazer bons resultados quando se trata de situações complexas e dados aleatórios (CASSEL, 1996).

Na indústria automotiva, particularmente, as empresas necessitam constantemente aperfeiçoar suas operações (IGEA, 2004; CARVALHO, 2005). Diante de um mercado tão competitivo como o automotivo, as empresas cada vez mais vêm adotando as filosofias da produção enxuta, um sistema de produção mais competitivo e flexível às mudanças. A produção enxuta tem se mostrado eficiente em termos de produtividade e qualidade, pois exige menor utilização de recursos, maior aproveitamento da capacidade intelectual humana e maior flexibilidade para adaptar-se às mudanças (WOMACK; JONAS; ROOS, 1992).

A fim de adequarem-se às necessidades competitivas, as empresas deste setor passam a valorizar o abastecimento *just-in-time* (JIT), buscando redução de estoques e diminuição de custos. O sistema JIT é um dos sistemas de produção enxuta mais difundidos, projetado para produzir ou entregar produtos e serviços certos nas quantidades adequadas (RITZMAN; KRAJEWSK, 2004). As entregas JIT objetivam o fornecimento de matérias-primas e produtos na planta de produção dentro de um menor espaço de tempo, de acordo com a demanda. Esse sistema tende a reduzir estoques e custos de armazenagem (WOMACK; JONAS; ROOS, 1992).

Algumas decisões que envolvem o abastecimento JIT e a produção enxuta são de alto nível de complexidade, com variáveis sistêmicas cujas relações por vezes não são totalmente

compreendidas pelos tomadores de decisões. Com o crescimento das necessidades de mudanças complexas, as empresas vêm buscando alternativas que auxiliem em decisões desse porte.

A simulação computacional aparece como uma ferramenta que proporciona aos tomadores de decisão dados satisfatórios e análises precisas, auxiliando assim na escolha de uma solução. Com o passar dos anos e com o avanço das tecnologias no ramo da informática, a simulação passou a ser empregada nos mais diversos setores, como o automotivo (ENEZ, 2005), calçadista (CASSEL, 1996), eletro-eletrônico (FERREIRA; PEREIRA; MACAHDO, 2005), logística (BERGUE, 2000), serviços (BORBA, 1998) e bens de consumo (MONTEVECHI *et al.*, 2003).

A simulação computacional, apesar da utilidade e crescente disseminação no mercado empresarial atestada por O’Kane, Spenceley e Taylor (2000), ainda apresenta-se desconhecida para maioria dos gestores e tomadores de decisão, que a utilizam e/ou a sub-contratam sem saber especificadamente como se dá seu funcionamento e qual a metodologia necessária para sua correta utilização. Em vista desta necessidade, faz-se necessário que os gestores e tomadores de decisão conheçam uma metodologia específica de desenvolvimento de projetos de simulação computacional aplicada à área de estudo do projeto.

Assim, o objetivo deste artigo consiste em propor um método para desenvolvimento de projetos de simulação computacional capazes de prever o impacto de uma mudança de layout no abastecimento JIT de uma linha de produção na indústria automotiva. O método será validado através de uma aplicação prática em uma empresa do setor.

2. Metodologia

Este trabalho emprega uma estratégia de pesquisa enquadrada na categoria de pesquisa-ação, uma estratégia de pesquisa que agrega vários métodos ou técnicas de pesquisa social, com os quais se estabelece uma estrutura coletiva, participativa e ativa (THIOLLENT, 2003). A pesquisa-ação se justifica neste trabalho por se tratar de uma pesquisa de finalidade prática, incluindo a participação ativa dos pesquisadores na situação observada.

A pesquisa-ação não segue uma série de fases rigidamente ordenadas, já que ao longo do processo de pesquisa os objetos estudados são continuamente redefinidos (THIOLLENT, 2003; GIL, 1991). Assim, a presente pesquisa foi desenvolvida em quatro etapas. A primeira etapa envolve um estudo teórico sobre as metodologias para o desenvolvimento de projetos de simulação, baseada na revisão de literatura de referência. Esta etapa pode ser considerada como uma pesquisa exploratória, pois visa avaliar um problema encontrado de forma a torná-lo mais evidente para que seja melhor analisado, podendo-se gerar hipóteses e alternativas (GIL 1991).

Na segunda etapa, será realizado um estudo crítico e comparativo entre as metodologias, buscando-se identificar as principais características, diferenças e particularidades, a fim de subsidiar a proposição de um método próprio. Esta etapa pode ser enquadrada como uma fase de definição do problema, uma vez que busca uma mediação teórica entre as metodologias.

Na terceira etapa, será elaborado um método de desenvolvimento de projetos de simulação capazes de prever o impacto de uma mudança de layout no abastecimento *just-in-time* de linha de produção da indústria automotiva. A análise incluirá os métodos descritos na revisão de literatura e a experiência adquirida pelos pesquisadores durante um projeto elaborado em parceria com uma empresa de consultoria do ramo de simulação.

Na quarta etapa, será realizada a aplicação prática do método proposto. Será possível, então, observar a implementação do método proposto etapa a etapa, incluindo o relato dos resultados obtidos. Esta análise servirá para a elaboração de considerações críticas finais, as quais servirão como subsídio para futuro refinamento do método proposto.

3. Referencial Teórico

Segundo Pidd (1992), a simulação é uma técnica capaz de modelar características estocásticas e dinâmicas de um sistema, sendo uma ferramenta que, muitas vezes, é única forma disponível para auxiliar a tomada de decisão. Para Hollocks (1992), simulação computacional é uma técnica de pesquisa operacional que envolve a criação de modelos para representar sistemas que se desejam estudar, permitindo testar alternativas no modelo através da criação e simulação de cenários, reduzindo os custos e os riscos de testes com o sistema real. Já Bertrand e Fransoo (2002) definem simulação como uma técnica usada para solucionar problemas complexos, nos quais não seria possível encontrar soluções adequadas apenas com modelos matemáticos. Já Leal (2003) define simulação como uma ferramenta para imitar um procedimento real, com menos tempo e custo, possibilitando uma antevisão da realidade. Para Slack *et al.* (1997), simulação é uma ferramenta útil para analisar sistemas sem precisar construir o produto, serviço ou processo.

A simulação trabalha com dados específicos de cada processo, tratando também de suas anormalidades e aleatoriedade. Através dela, há a possibilidade de simular situações ao longo de um tempo considerável em apenas alguns minutos. A simulação torna possível a análise de diversos cenários, redefinindo apenas algumas interfaces, trazendo com isto resultados satisfatórios que auxiliam na tomada de decisão (LAW; KELTON, 2000; CASSEL, 1996).

A simulação permite gerar modelos que se comportam como o sistema real, evitando assim o dispêndio de dinheiro, energia e pessoal em mudanças que não tragam resultados positivos. Porém, deve-se ter claro que mesmo a simulação pode levar a resultados negativos caso o trabalho não seja desenvolvido de forma metódica e organizada (CASSEL, 1996). Cassel (1996) descreve ainda que a simulação também pode ser usada para melhorar entendimento do sistema, treinamento do pessoal e envolvimento dos funcionários, os quais podem observar o sistema real e acompanhar as atividades passo a passo, obtendo uma visão global dos processos e possibilitando ainda um maior envolvimento com suas atividades.

O desenvolvimento de projetos de simulação computacional envolve diversas etapas, que se estendem desde a compreensão do contexto em que o objeto em estudo está inserido até a formulação das soluções resultantes. O objetivo fundamental de um estudo de simulação é fornecer ajuda na compreensão do comportamento de um sistema (VACCARO, 1999).

Law e Kelton (2000) discutem vantagens da simulação, citando que sistemas complexos com elementos estocásticos não podem ser descritos perfeitamente por um modelo matemático analisado analiticamente. Desta forma, a simulação é o único tipo de investigação possível. Além disso, os autores afirmam que a simulação permite fazer várias replicações no modelo, alterando apenas algumas variáveis, obtendo assim boas estimativas para os parâmetros. Permite também a obtenção de um melhor controle sobre as condições experimentais do que se teria analisando diretamente o sistema real. Finalmente, permite simular o comportamento de um sistema por um longo período de tempo em um tempo reduzido.

Por outro lado, como algumas desvantagens associadas à simulação, os autores apontam que cada rodada do modelo de simulação, com elementos estocásticos, produz somente estimativas para o modelo real. Em vista disso, a simulação não é uma ferramenta de otimização, mas pode ser usada como forma de comparação para testar alternativas. Os autores ressaltam que modelos de simulação freqüentemente são caros e dependem bastante tempo para o desenvolvimento. Finalmente, é importante notar que os dados de entrada devem ser válidos ou se terão dados de saída inadequados.

Vaccaro (1999) ressalta que a simulação não é a única alternativa para se estudar um sistema,

citando a experimentação do sistema real e o desenvolvimento de modelos matemáticos como alternativas. Porém, no caso de sistemas com elevados graus de complexidade e aleatoriedade dos dados, o uso de simulação tende a ser o mais vantajoso.

3.1 Métodos de Condução de Projetos de Simulação Computacional

A partir do estudo de Cassel (1996), foram analisados três métodos de condução de projetos de simulação computacional: Law e Kelton (2000), Gogg e Mott (1992) e Pritsker, Sigal e Hammesfahr (1990). Segundo Law e Kelton (2000), um projeto de simulação consiste em dez etapas: (i) formulação do problema e plano de estudo; (ii) coleta de dados e formulação do modelo; (iii) validação do modelo conceitual; (iv) construção de modelo conceitual e validação; (v) condução de rodadas-piloto; (vi) validação da programação do modelo; (vii) planejamento de experimento; (viii) condução de rodadas produtivas; (ix) análise dos dados de saída; e (x) documentação, apresentação e implementação dos resultados.

Outro método projetos de simulação é descrito por Gogg e Mott (1992), com 14 etapas: (i) formulação e análise do problema; (ii) treinamento da equipe; (iii) desenvolvimento do modelo conceitual; (iv) coleta de macro-dados; (v) inspeção do modelo conceitual e dos macro-dados; (vi) construção do modelo; (vii) verificação do modelo; (viii) teste do modelo com macro-dados; (ix) validação do modelo; (x) planejamento de experimentos para a avaliação de alternativas; (xi) condução de múltiplas rodadas no modelo para cada alternativa; (xii) análise estatística dos dados de saída; (xiii) identificação dos melhores resultados e documentação dos resultados; e (xiv) apresentação de resultados e implementação.

Pritsker, Sigal e Hammesfahr (1990) descrevem as etapas de um processo de simulação de forma que estas se relacionam de forma mais íntima do que os métodos anteriores. As 6 etapas propostas são: (i) formulação do problema; (ii) especificação do modelo; (iii) construção do modelo; (iv) simulação do modelo; (v) uso do modelo; e (vi) suporte à tomada de decisão.

3.2 Comparativo dos Métodos

Essencialmente, os métodos apresentados possuem etapas similares, sendo sua principal diferença a forma como estão relacionadas. Law e Kelton (2000) dão ênfase à coleta de dados e formulação do modelo, para onde os pontos de recorrência estão voltados. Os autores propõem apenas alguns pontos de validação global do modelo, mas que podem ocorrer a qualquer momento do projeto. A metodologia de Gogg e Mott (1992) traz como grande diferença em relação ao método de Law e Kelton (2000) o desenvolvimento das pessoas, antes e durante o desenvolvimento do projeto. Outra preocupação dos autores é com a comunicação e disseminação da informação entre os envolvidos no projeto. Gogg e Mott (1992) sugerem uma forma mais linear de desenvolvimento das etapas, ou seja, uma tarefa é pré-requisito para outra, diferentemente do método de Law e Kelton (2000), em que são evidenciados pontos de recorrência a etapas anteriores. No método de Gogg e Mott (1992), há uma preocupação muito grande com a validação do modelo e dos dados em cada etapa, a fim de não deixar que erros se estendam para etapas posteriores. Esta sistemática pode não representar fielmente a realidade dos projetos de simulação, pois muitas vezes é necessário retornar às etapas anteriores do projeto. Já o método de Pritsker, Sigal e Hammesfahr (1990) enfatiza a recorrência entre as etapas e a simultaneidade de tarefas. Assim, este método é significativamente mais enxuto e menos meticuloso que os outros dois. Porém, no geral, todos os métodos evidenciam as mesmas etapas, com adaptações e variações. Em todos os métodos apresentados, dá-se muita importância à validação do modelo, dos dados de entrada e de saída.

4. Método Proposto

A partir da adaptação das principais etapas dos métodos de analisados no referencial teórico e

da experiência dos pesquisadores no desenvolvimento de um projeto de simulação, foi proposto um método específico para condução de projetos de simulação computacional. Na Figura 1, são apresentadas as etapas do método proposto em comparação com as etapas dos métodos analisados no referencial teórico.

Etapas do Modelo Proposto	Law e Kelton (2000)	Gogg e Mott (1992)	Pritsker, Sigal e Hammesfahr (1990)
1 Formulação do problema	x	x	x
2 Elaboração do modelo conceitual	x	x	x
3 Coleta de dados	x	x	x
4 Construção do modelo	x	x	x
5 Verificação da lógica de programação	x	x	-
6 Rodadas-piloto e validação do modelo	x	x	x
7 Planejamento de experimentos e simulações do sistema estudado	x	x	x
8 Análise dos dados de saída	x	x	x
9 Apresentação dos resultados, documentação e implementação	x	x	-

Figura 1 – Comparativo das etapas: método proposto *versus* modelos do referencial teórico

Conforme exposto na Figura 1, o método proposto é composto por nove etapas, descritas a seguir.

A *Etapa 1* visa definir objetivo do projeto, respostas esperadas, tipo de software a ser utilizado e estimativa de recursos. O objetivo do projeto deve resumir o que se espera alcançar com a simulação, definindo escopo e limitações. As respostas esperadas devem indicar as variáveis de resposta do modelo. A escolha do software a ser empregado tem de contemplar tanto os objetivos do projeto quanto as restrições de tempo e dinheiro. Em seguida, a *Etapa 2* visa desenvolver o relacionamento entre as atividades do sistema estudado. Para a elaboração do modelo, muitas vezes é necessário definir pressupostos para simplificar a modelagem, possibilitando maior eficiência em termos de flexibilidade e de análise dos dados de saída do modelo. Ao final desta etapa, faz-se a validação dos relacionamentos, com intuito de verificar se as inter-relações foram todas respeitadas e se os pressupostos realmente podem ser utilizados.

A *Etapa 3* envolve a coleta de dados. Os dados podem ser coletados *in-loco* (medidas de tempos e movimentos e volumes), através de entrevistas com especialistas dos processos (operadores e coordenadores) e através de dados históricos. Os dados coletados devem ser validados a fim de que erros de coleta não sejam propagados para a simulação. Na *Etapa 4* é realizada a construção do modelo, o que exige domínio técnico do software de simulação e suas ferramentas, além de bons conhecimentos estatísticos para modelar de forma precisa a inter-relação entre as diversas atividades a serem simuladas. Em seguida, na *Etapa 5*, procede-se com a verificação da lógica de programação, visando verificar se a lógica programada no modelo obedece às mesmas leis e comportamentos do sistema real.

Conduzem-se então, na *Etapa 6*, Rodadas-piloto para validação do modelo: deve-se utilizar o modelo para realizar simulações a fim de validar os dados de saída, comparando os dados de saída do modelo com aqueles fornecidos pelo sistema real. Ainda pode-se fazer uso da técnica *trace*, que consiste em observar a simulação evento a evento, buscando verificar a existência de erros no modelo. A *Etapa 7* exige conhecimento técnico sobre a forma de cálculo de determinação do período de *warm-up* e o número necessário de rodadas do modelo para cada cenário. Após estas definições, deve-se utilizar o modelo para simular o sistema em estudo para obtenção dos dados de saída. Faz-se necessária a realização de análise estatística dos dados de saída do modelo. Na *Etapa 8*, deve-se avaliar as melhores alternativas, a fim de escolher a mais

adequada para cada cenário. Nesta etapa, devem ser tomadas as decisões sobre o sistema estudado, buscando-se alcançar os objetivos traçados no início do projeto. Finalmente, na *Etapa 9* se dá a documentação dos resultados alcançados, preferencialmente empregando animação gráfica a fim de facilitar a compreensão mesmo daqueles que não estiveram envolvidos diretamente no projeto. O passo final deve ser a implementação dos resultados, acompanhando se os efeitos são realmente os esperados.

5. Aplicação do Método

A empresa na qual a pesquisa foi realizada é líder mundial em logística automotiva e atende as principais montadoras do mundo em todos os continentes. Fundada na Austrália em 1946, no Brasil a empresa está presente desde 1997. Hoje, possui mais de 4.500 funcionários e 39 filiais. A filial onde foi implementada a simulação localiza-se em Gravataí, RS, e é responsável pela movimentação de materiais e abastecimento de linha da montadora da qual é parceira.

Devido à estratégia de crescimento da montadora, tornou-se necessária a expansão de sua fábrica para atender ao aumento da velocidade de produção e a produção de novos veículos. A fim de transformar áreas de estoque em áreas produtivas, foi sugerido pela empresa provedora de logística a transferência dos estoques internos para um centro de armazenagem externo. Os materiais originalmente armazenados a apenas alguns metros da linha de produção passariam para uma distância aproximada de 1,5 km. Assim, tornou-se necessário dimensionar o número de pessoas e equipamentos para transferência de materiais, bem como a quantidade de peças nos estoques padrão e de segurança. A problemática, assim, envolvia o dimensionamento do abastecimento *just-in-time* de uma linha de produção com demanda aleatória de 580 componentes, gerando, em média, 3.500 abastecimentos por dia, com tempo de consumo e de abastecimento completamente diferentes. Assim, optou-se pela elaboração de um projeto de simulação computacional, no qual foi aplicado o método proposto neste artigo.

Na *Etapa 1* se deu o primeiro encontro do grupo de desenvolvimento: o gerente, os analistas da simulação (um engenheiro e um analista de logística) e dois consultores de simulação. O objetivo foi definido como o dimensionamento das atividades envolvidas no sistema, tendo como resposta o número de equipamentos, pessoas e seus respectivos percentuais de eficiência. Os principais dados de saída do modelo deveriam mostrar quantidades máximas, mínimas e médias de embalagens transportadas por viagem; níveis de estoque; eficiências e quantidade de rebocadores, empilhadeiras, tratores, carretas de movimentação de materiais e operadores e o tempo máximo para o reabastecimento do estoque da montadora. Foi escolhido o software Micro Saint, em função de sua flexibilidade e baixo custo. A duração do projeto foi estimada como o período de Novembro de 2005 e Março de 2006.

Na *Etapa 2*, foi estudado o processo produtivo da montadora e a forma de trabalho da provedora de logística, com destaque para os novos processos necessários a partir do novo centro de armazenagem. Também foram definidos pressupostos para o modelo a fim de simplificar a modelagem. Pode-se citar como exemplo de simplificação a utilização das médias do tempo, eficiência e taxa de utilização das 14 rotas da linha da Funilaria.

O processo de coleta de dados da *Etapa 3* foi realizado pelo engenheiro e pelo analista de logística, com tratamento estatístico dos dados realizado pelos especialistas em simulação. Para cada peça foi criada uma distribuição de probabilidade, com auxílio do software ExpertFit. Coletaram-se amostras de tempos (transporte do novo centro de armazenagem até a montadora, coleta de material, conferência por unidade expedida, movimentação do material, abastecimento da linha de produção das rotas internas e da linha das empilhadeiras, carga e descarga de carretas, etc.) e quantidade de embalagens abastecidas por ciclo, além de dados

históricos da demanda de materiais da linha de montagem (tempo entre solicitações dos materiais entre agosto a novembro de 2004). Os dados foram analisados e validados pelos analistas da simulação e pelos coordenadores dos processos envolvidos.

De posse das informações sobre o funcionamento dos processos e com o modelo conceitual e os dados devidamente validados, passou-se para a etapa de construção do modelo (*Etapa 4*), sob responsabilidade dos especialistas em simulação. Alguns parâmetros foram configurados para rápida alteração e avaliação de cenários, como velocidade de produção da linha, tamanho das carretas de movimentação de embalagens (grandes e pequenas), tempo de ciclo da transferência de materiais do novo armazém até a montadora e tempo ciclo de abastecimento da linha com embalagens (grandes e pequenas). Esta foi a etapa que exigiu maior relacionamento entre os participantes, com diversas reuniões para esclarecimento de dúvidas, validação do construção do modelo e análise de premissas e simplificações.

Na *Etapa 5*, os participantes verificaram a lógica do programa. Foram executados passo a passo os processos modelados, observando-se o fluxo e o relacionamento das atividades. A seguir, na *Etapa 6*, foram realizadas comparações dos dados de saída do modelo com os dados do sistema real. Esta foi a etapa mais difícil: mesmo com dados e lógica do modelo validados, não se conseguiu chegar, inicialmente, em dados factíveis de saída. Por exemplo, a simulação fornecia taxa de ocupação das máquinas de abastecimento de linha em torno de 30%, quando sabidamente tais máquinas beiravam os 85% de ocupação. A técnica utilizada para validação foi a observação das variáveis evento a evento (*trace*). Foram necessários oito encontros formais para a finalização da etapa, envolvendo validação *trace* e ajustes de programação.

A *Etapa 7* envolveu a determinação do período de *warm-up*, número de rodagens do modelo necessárias para cada cenário e análises estatísticas dos dados de saída. Em seguida, o modelo foi utilizado para efetivamente estudar a problemática simulada. Na *Etapa 8*, analisaram-se dados de saída compatíveis com o cenário atual (velocidade de produção de 35 carros/hora) e possíveis cenários futuros (40 e 45 carros/hora). A análise permitiu o dimensionamento dos volumes, recursos e eficiências de forma que o sistema, após a alteração do layout, fluísse sem o acúmulo de filas ou gargalos para a velocidade de produção atual. Procedeu-se então com a análise dos cenários futuros, a fim de antever que atividades não suportariam o aumento de volume e, então, estimar necessidades de redimensionamento. Na passagem do cenário atual para o cenário de 40 carros/hora, pôde-se observar acúmulo de embalagens em frente à linha das empilhadeiras do setor de montagens de sub-conjuntos e dos rebocadores de abastecimento da Montagem Geral (GA). O aumento de recursos estimado foi de apenas uma empilhadeira para o setor de sub-conjuntos e de um rebocador para a GA. Para o cenário de 45 carros/hora, constatou-se a necessidade por 2 novas empilhadeiras no novo armazém. Finalmente, na *Etapa 9*, o projeto foi documentado e realizou-se uma apresentação baseada em animação gráfica com a análise dos cenários e seus dimensionamentos.

A implementação do projeto está em andamento. O novo centro de armazenagem esta sendo construído e, até o final de 2006, será implementada a nova sistemática de trabalho e poder-se-á verificar a eficácia do estudo realizado. Para elaboração deste projeto, foi necessário um investimento de aproximadamente R\$ 30.000,00 (sem a aquisição dos softwares) e seis meses de tempo. Antes da simulação, uma estimativa empírica da empresa de logística previa a compra de pelo menos quatro tratores para transporte de materiais e que o número de carretas necessárias passaria de 23 unidades. Estes números foram estimados pela empresa tendo como base a experiência e cálculos de rotatividade de embalagens/peças, tempos conhecidos e estimados de atividades e carga de trabalho e eficiência dos operadores e máquinas. Porém, os dados da simulação indicaram demanda de apenas dois tratores e 18 carretas. Considerando o

custo médio de aquisição de tratores e carretas, pode-se inferir que o projeto de simulação gerou uma economia de aproximadamente R\$ 210.000,00 para a empresa.

6. Conclusões

O objetivo deste artigo era propor um método de desenvolvimento de projetos de simulação computacional capazes de prever o impacto causado por uma mudança do layout no abastecimento JIT de uma linha de produção na indústria automotiva. Para isso, empregou-se a metodologia da pesquisa-ação, através da identificação de metodologias de desenvolvimento de projetos de simulação computacional na literatura de referência e comparação de suas etapas. O método proposto foi validado com uma aplicação prática realizada numa empresa de logística prestadora de serviço de uma montadora do setor automotivo.

Ficou evidente, com aplicação prática, que um projeto de simulação exige uma quantidade grande de informações e validações, sendo necessário seguir um método sistemático para condução de um projeto de simulação eficaz. A partir do método proposto foi possível desenvolver um projeto de forma organizada e bem sucedida, vista a estimativa de economia mencionada na apresentação dos resultados. Outro fator positivo constatado foi a integração dos envolvidos no projeto. O trabalho em grupo, além de gerar dados confiáveis para a simulação, envolveu todos não somente com o projeto, mas também com a empresa.

Referências

- BERGUE, L. X. **Análise das Potencialidades do uso da Ferramenta de Simulação Computacional em Operações Logísticas: Estudo de Caso em um Armazém Geral**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.
- BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Operation's management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 241-264, 2002.
- BORBA, G. S. **Desenvolvimento de uma Abordagem para Inserção da Simulação no Setor Hospitalar de Porto Alegre**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998.
- CARVALHO, E. G. Globalização e estratégias competitivas na indústria automobilística: uma abordagem a partir das principais montadoras instaladas no Brasil. **Gestão & Produção**, v. 12, n. 1, p. 121-133, 2005.
- CASSEL, R. A. **Desenvolvimento de uma Abordagem para a Divulgação da Simulação no Setor Calçadista Gaúcho**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996.
- ENEZ, A. H. **Simulação do Setor Automotivo, 2005**. Disponível em <http://www.belge.com.br>. Último acesso em 15 de junho de 2006.
- FERREIRA, L. P.; PEREIRA, G. A.; MACHADO, R. J. **Geração Automática de Modelos de Simulação de uma Linha de Montagem de Auto-Rádios**. Investigação Operacional, v. 25, n. 1, p. 37-62, 2005.
- GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. São Paulo. Atlas, 1991.
- GOGG, T. J.; MOTT, J. R. A. **Improve Quality e Productivity with Simulation**. Third Edition: JMI Consulting Group, 1996.
- HOLLOCKS, B. **A Well-kept secret? Simulation in Manufacturing Reviewed**. Or Insight, 1992.
- IGEA. **Análise Competitiva da Cadeia Produtiva Automotiva do Rio Grande do Sul, 2004**. Instituto Gaúcho de Estudos Automotivos. Disponível em <http://www.igea.gov.br>. Último acesso em 15 de junho de 2006.
- LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation Modeling and Analysis**. Third Edition. McGraw-Hill, 2000.
- LEAL, F. **Um diagnóstico do processo de atendimento a clientes em uma agência bancária através de mapeamento do processo e simulação computacional**. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá, 2003.
- MONTEVECHI, J. A. B.; DUARTE, R.; NILSSON, G. V., O Uso da Simulação pra Análise do Layout de uma Célula de Manufatura. **Revista Pesquisa e Desenvolvimento Engenharia de Produção**, No.1, p. 15-29, 2003.
- O'KANE, J. F.; SPENCELEY, J. R.; TAYLOR, R. Simulation as essential tool for advanced manufacturing

- technology problems. **Journal of Material Processing Technology**, v. 107, n. 1, p. 212-224, 2000.
- PIDD, M. **Computer Simulation in Management Science**. Grã-Bretanha, John Wiley & Sons, 1992.
- PRITSKER, A. B.; SIGAL, C. E.; HAMMESFAHR, R. D. J. **Papers, Experiences, Perspectives**. Estados Unidos da América, Donnelley & Sons, 1990.
- RITZMAN, L. P.; KRAJEWSK L. J., **Administração da Produção e Operações**. São Paulo: Pearson, 2004.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo. Atlas, 1997.
- THIOLLENT, M. **Metodologia da Pesquisa-Ação**, 12ª Edição. São Paulo: Cortez, 2003.
- VACCARO, G. L. R. **Modelo e Análises de Dados em Simulação**. Dissertação de Doutorado. Programa de Pós Graduação em Computação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999.
- WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A Máquina que Mudou o Mundo**. Rio de Janeiro: Campus, 1992.