

A simulação a eventos discretos como ferramenta de tomada de decisão na implementação de uma linha de montagem em uma indústria do setor automobilístico

Amanda Fernandes Xavier (UNIFEI) amandaxavier@unifei.edu.br
José Henrique Freitas Gomes (UNIFEI) ze_henriquefg@yahoo.com.br
Pedro Henrique Athanasio Delalibera (UNIFEI) pedrodelalibera@gmail.com
José Arnaldo Barra Montevechi (UNIFEI) montevechi@unifei.edu.br
Alexandre Ferreira Pinho (UNIFEI) pinho@unifei.edu.br

Resumo: A simulação é uma ferramenta de análise que apresenta grande relevância para o processo de tomada de decisões por gerar resultados e informações confiáveis. Neste trabalho empregou-se a simulação a eventos discretos como um fator decisivo para a implantação de uma nova linha de montagem de componentes elétricos em uma indústria do setor automobilístico. Dois leiautes foram propostos e o objetivo consistiu em avaliar qual configuração melhor atendia a demanda de produção diária exigida para a nova linha. O cálculo tradicional de tempo padrão foi incorporado ao estudo, visando considerar as quedas de rendimento do trabalho humano decorrentes da fadiga e monotonia do trabalho. Como software de simulação foi utilizado o PROMODEL® e a metodologia utilizada considerou fases importantes dentro de um estudo de simulação, como a construção e validação do modelo conceitual e a construção, verificação e validação do modelo computacional. Os resultados apontaram o leiaute 1 como a configuração mais adequada para atender a demanda de produção diária, contrariando as expectativas iniciais dos especialistas da empresa.

Palavras-chave: Simulação a eventos discretos; Linha de montagem; Indústria automobilística

1. Introdução

O emprego da simulação a eventos discretos como método de análise e solução de problemas tem aumentado nos últimos anos entre os vários tipos de organizações. Pelo fato de incorporar ao estudo a interdependência e a aleatoriedade dos fenômenos, elementos não considerados pelas técnicas tradicionais e que tornam os sistemas em estudo muito próximos da realidade, os modelos de simulação vêm sendo bastante empregados para a resolução de problemas complexos e no auxílio ao processo de tomada de decisões.

No atual mercado globalizado, muito se tem exigido das empresas no que diz respeito às respostas rápidas e flexibilidade para mudanças de cenários. Assim, o uso da simulação a eventos discretos torna-se interessante por permitir que os problemas sejam analisados sem interferir no sistema real. Isto contribui com o processo de tomada de decisões na medida em que a simulação faz com que soluções sejam encontradas de forma rápida e econômica quando comparadas com situações em que o sistema real é alterado.

Considerando a simulação computacional em sistemas de manufatura, Harrell *et al.* (2000) caracterizam esta ferramenta como um fator importante de planejamento gerencial. A simulação, portanto, pode ser empregada para a análise de métodos, implantação de leiautes, análise do impacto na variação do tamanho do lote de fabricação, controle da produção,

controle do estoque em processo, planejamento da cadeia de suprimentos, programação da produção, previsão de gastos, avaliação de cenários e várias outras situações.

Entre as aplicações citadas, o emprego da simulação na implantação de novos leiautes de produção é um aspecto de grande interesse industrial, na medida em que se pode conhecer, estudar, avaliar e prever o novo sistema antes deste entrar em funcionamento. Kellner *et al.* (1999) argumentam que, para estas situações, a simulação pode ajudar as pessoas a aceitar a irrealidade de suas expectativas iniciais com relação aos resultados esperados.

Diante deste contexto, este artigo tem o objetivo de utilizar a simulação a eventos discretos como um fator de tomada de decisão na implementação de uma nova linha de montagem de componentes elétricos em uma indústria do setor automobilístico. Dois leiautes foram propostos pelos especialistas da empresa e o objetivo da simulação é indicar qual entre as configurações propostas melhor se adéqua para a demanda de produção diária exigida para a nova linha. Como se trata de uma linha de montagem, foi observado que os processos empregados eram totalmente manuais. Assim, considerando algumas críticas existentes na literatura de que os modelos tradicionais de simulação não consideram adequadamente o comportamento do ser humano (BAINES *et al.*, 2004), foi incorporado neste estudo o cálculo tradicional do tempo padrão proposto por Barnes (1977), visando considerar as quedas de rendimento dos operadores causadas pela fadiga e monotonia do trabalho.

Com isso, foram criados dois cenários para cada leiaute proposto (o primeiro sem o cálculo do tempo padrão e o segundo com o cálculo do tempo padrão), sendo o objetivo final avaliar qual a situação que melhor se ajusta à demanda de produção diária exigida para a nova linha. Para atingir os objetivos propostos, os itens seguintes foram estruturados da seguinte forma: o item 2 apresenta a fundamentação teórica a respeito do emprego da simulação na implantação de novos sistemas produtivos e sobre a consideração do fator humano nos modelos de simulação; o item 3 detalha a metodologia de simulação utilizada neste artigo; o item 4 contém os resultados do estudo e o item 5 aborda as conclusões e considerações finais.

2. Fundamentação teórica

A simulação pode ser definida como a imitação de um sistema real, através de um modelo computacional, para avaliação e melhoria de seu desempenho (HARREL *et al.*, 2000). Para Law & Kelton (1991), a simulação é a importação da realidade para um ambiente controlado, em que seu comportamento pode ser estudado sob várias condições e sem a presença de riscos físicos ou grandes custos envolvidos. Sendo assim, para sistemas dinâmicos, complexos e componentes interativos, como os de manufatura, a simulação computacional é uma ferramenta bastante adequada (PIDD, 1998).

Segundo Banks (2000), a simulação envolve a criação de uma história artificial da realidade e, com base nela, são realizadas observações e inferências nas características de operação do sistema real representado. Este conceito da transformação da realidade em modelo e novamente dos resultados em realidade é ilustrado pela Figura 1.

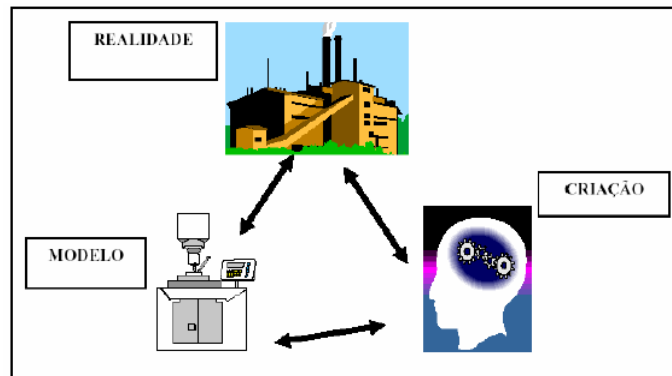


Figura 1 - Transformação da realidade em modelo

Fonte: Brighenti (2006)

Sargent (2004) afirma que um modelo de simulação deve ser desenvolvido para uma proposta específica e sua validade deve estar de acordo com esta proposta. Entretanto, quando o sistema real não existe, a simulação se torna uma ferramenta cognitiva, pois não há possibilidade de comparar os resultados com um sistema real (LONGO *et al.*, 2006). A fim de realizar a validação do modelo de simulação, Longo *et al.* (2006) afirmam que os resultados podem ser discutidos e analisados com especialistas, gestores e os próprios operadores. A grande vantagem, considerando que a linha de montagem ainda não existe, é a possibilidade de realizar análises virtuais tridimensionais de trabalho e linhas, testando diferentes cenários operatórios e propondo intervenções corretivas imediatas, garantindo economia de tempo e dinheiro.

Para Banks *et al.* (2005), o maior benefício da utilização da simulação em ambientes manufatureiros é a possibilidade de obter uma visão geral (macro) do efeito de uma pequena mudança (micro) no sistema. Os autores citam alguns benefícios da simulação: aumento de produtividade, redução do tempo que as peças ficam no sistema, redução dos estoques em processo, aumento das taxas de utilização de equipamentos e funcionários, aumento de entregas no tempo certo dos produtos aos clientes, redução das necessidades de capital, garantia de que o projeto do sistema proposto vai operar conforme o esperado.

Apesar de todos esses benefícios, alguns autores têm criticado os modelos tradicionais de simulação, argumentando que estes não consideram a influência do trabalho humano da forma como deveriam. Assim, os modelos tradicionais representam seus trabalhadores como simples recursos, o que se torna um problema quando os sistemas modelados apresentam um elevado grau de trabalho manual, tal como em uma linha de montagem (BAINES *et al.*, 2004).

Ilar (2008) argumenta que podem existir diferenças entre o desempenho previsto e o real. Isso ocorre quando há um alto grau de elemento humano, pois os modeladores tendem a considerar as pessoas de forma simplista, concentrando-se apenas na previsão, planejamento e posicionamento dos elementos tecnológicos do sistema.

Dessa forma, o elemento humano de um sistema de manufatura não pode ser pobremente respaldado, como não pode se esperar o comportamento humano tal qual o de uma máquina. O ser humano é inerente, instável, imprevisível e capaz de ação independente. O desempenho de um indivíduo apresenta variações dependendo de fatores como habilidade, treinamento, educação, fatores psicológicos, ambiente físico e organizacional (FURNHAM *et al.*, 1999).

Entretanto, apesar da crescente dependência da tecnologia, cresce a importância de fatores humanos, fundamentais para fornecer uma base realista para apoio à tomada de decisão (ILAR, 2008). Sendo assim, a inclusão de modelos de desempenho humano fornece uma oportunidade de fazer com que os projetistas fiquem cientes de sua importância e de seu impacto.

3. Metodologia

Como metodologia de análise foi escolhida a metodologia utilizada por Montevechi *et al.* (2007), por esta apresentar passos bem definidos e devidamente sequenciados para que a simulação proporcione resultados com grande confiabilidade. No entanto, com o objetivo de incorporar ao estudo a influência do fator humano sobre o processo, a metodologia escolhida foi devidamente adaptada para o presente trabalho. A Figura 2 apresenta as etapas seguidas neste estudo de simulação.

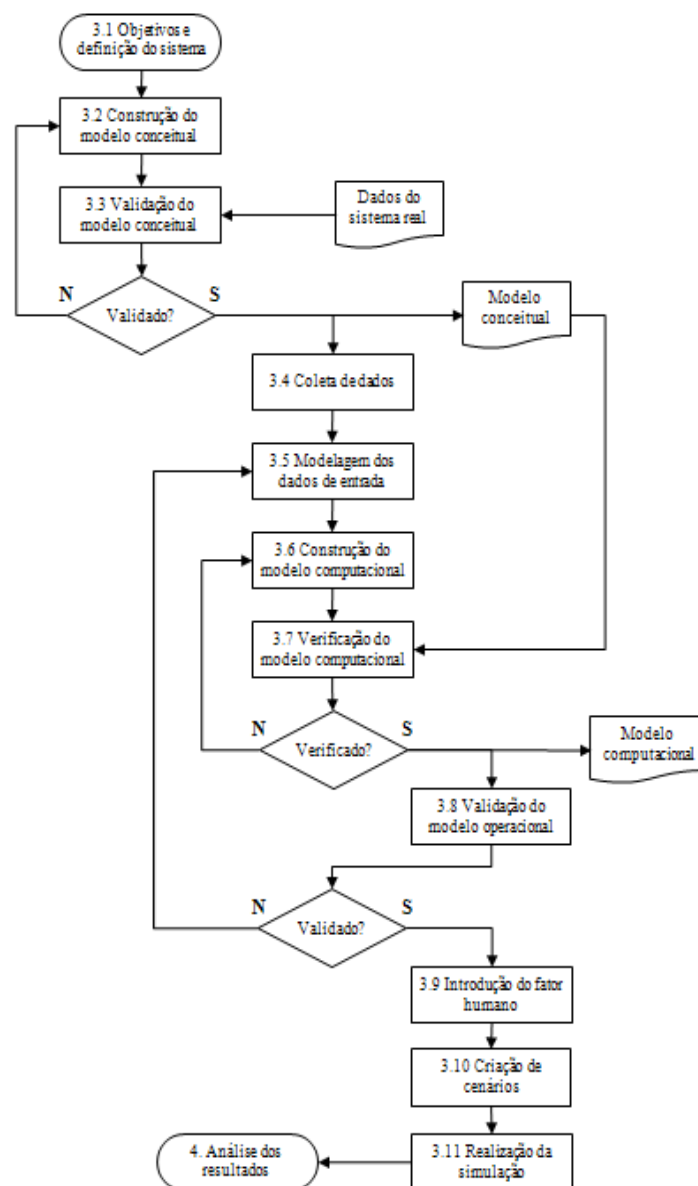


Figura 2 – Metodologia empregada para o estudo de simulação

Fonte: Adaptada de Montevechi *et al.* (2007)

3.1. Objetivos e definição do sistema

O objetivo da simulação é indicar qual entre os leiautes propostos é o mais adequado para atender à demanda diária de produção exigida para a nova linha. Além disso, deseja-se analisar a influência do elemento humano sobre o processo e como isso pode afetar a produção devido a variações do rendimento dos operadores ao longo do dia.

3.2. Construção dos modelos conceituais

O modelo conceitual constitui uma primeira idéia do sistema que se pretende estudar. É um modelo teórico que apresenta a lógica na qual o sistema real funciona e, por isso, seu correto desenvolvimento é fundamental para que o modelo computacional possa ser corretamente construído. Para a criação dos modelos conceituais, foi empregada a técnica de mapeamento de processos.

Vilella (2000) afirma que a técnica de mapeamento constitui uma ferramenta gerencial e analítica que possibilita melhoria nos processos existentes ou implanta uma nova estrutura voltada para os processos. Para Montevechi *et al.* (2007), o mapeamento de processos facilita a validação do modelo conceitual junto aos especialistas.

A Figura 3 apresenta o mapeamento dos processos utilizados para representar os modelos conceituais dos leiautes estudados para a nova linha de montagem da empresa.

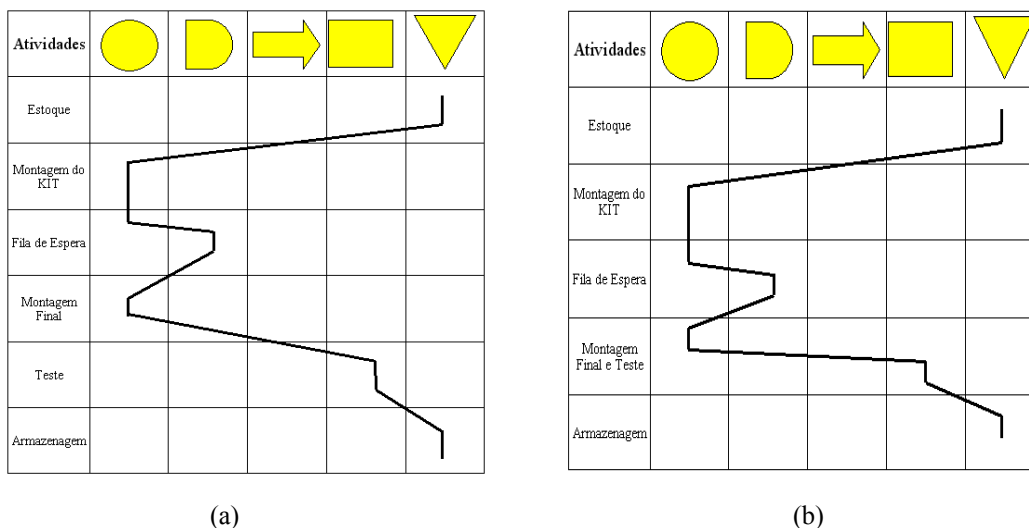


Figura 3 - Mapeamento dos processos: (a) leiaute 1; (b) leiaute 2

A Figura 3a mostra que o primeiro modelo analisado é constituído por três operações principais. Inicialmente é realizada uma montagem preliminar de um kit dos componentes. Esse kit segue para uma fila de espera onde aguarda a montagem final, a qual caracteriza a segunda operação. Logo após a montagem final, o produto é testado e os itens aprovados estão prontos para seguirem para o cliente.

O segundo leiaute considerado pela empresa (Figura 3b) apresenta uma simplificação em relação ao modelo anterior. Neste segundo modelo, as operações de montagem final e teste do produto são realizadas conjuntamente, deixando a linha com apenas duas operações necessárias para obter o produto final. Assim, inicialmente é montado o kit, este segue para uma fila de espera e em seguida é realizada a montagem final junto com o teste do produto.

3.3. Validação dos modelos conceituais

Os modelos conceituais foram apresentados para as pessoas da empresa envolvidas com a implementação da nova linha para que a lógica dos modelos fosse comparada com os leiautes analisados. Com isso, foi observado que os mapas conceituais representavam fielmente os fluxos dos leiautes propostos.

3.4. Coleta de dados

Após a criação dos modelos conceituais, o passo seguinte consistiu em obter as informações necessárias para a construção dos modelos computacionais. Para o estudo em questão, tais informações se resumiram basicamente aos tempos de montagem e aos tempos de teste da nova linha. Como a linha ainda não se encontrava em funcionamento, as informações foram obtidas através de ensaios conduzidos por especialistas de cronoanálise da empresa. Assim, os dados foram coletados e fornecidos por esses especialistas, após medirem os tempos de montagem e de teste através de ensaios de laboratório, realizados no início de um dos turnos de oito horas de trabalho programados pela empresa.

3.5. Modelagem dos dados de entrada

Com os dados em mãos, foi necessário um tratamento estatístico dos mesmos com o intuito de adequá-los para serem inseridos nos modelos computacionais. Através do software estatístico MINITAB®, os tempos foram analisados para verificar qual a distribuição de probabilidades que melhor os representava. A representação dos dados através de distribuições de probabilidades é necessária para conferir aleatoriedade ao sistema computacional e fazer com que este reproduza precisamente o sistema real. A Tabela 1 indica os resultados da análise estatística, mostrando que a distribuição que melhor representa os tempos de processamento corresponde à distribuição normal, por apresentar altos valores para o “*P-value*” e baixos valores para o coeficiente de Anderson-Darling.

3.5. Modelagem dos dados de entrada

Com os dados em mãos, foi necessário um tratamento estatístico dos mesmos com o intuito de adequá-los para serem inseridos nos modelos computacionais. Através do software estatístico MINITAB®, os tempos foram analisados para verificar qual a distribuição de probabilidades que melhor os representava. A representação dos dados através de distribuições de probabilidades é necessária para conferir aleatoriedade ao sistema computacional e fazer com que este reproduza precisamente o sistema real. A Tabela 1 indica os resultados da análise estatística, mostrando que a distribuição que melhor representa os tempos de processamento corresponde à distribuição normal, por apresentar altos valores para o “*P-value*” e baixos valores para o coeficiente de Anderson-Darling.

Distribuição de probabilidade	Leiaute 1						Leiaute 2			
	Montagem do kit		Montagem final		Teste		Montagem do kit		Montagem final e teste	
	P-value	AD	P-value	AD	P-value	AD	P-value	AD	P-value	AD
Normal	0,779	0,218	0,703	0,239	0,789	0,215	0,779	0,218	0,333	0,379
Lognormal	0,779	0,218	0,703	0,239	0,786	0,216	0,779	0,218	0,333	0,379
Exponencial	0,003	4,326	0,003	4,428	0,003	4,235	0,003	4,326	0,003	4,477
Weibull	0,250	0,298	0,250	0,311	0,500	0,271	0,250	0,298	0,165	0,532
Gama	0,250	0,252	0,250	0,279	0,250	0,246	0,250	0,252	0,250	0,412
Logística	0,250	0,250	0,250	0,280	0,250	0,251	0,250	0,250	0,250	0,388
Loglogística	0,250	0,249	0,250	0,279	0,250	0,251	0,250	0,249	0,250	0,384

Tabela 1 – Identificação da melhor distribuição de probabilidade para os tempos de processamento

3.6. Construção dos modelos computacionais

O software de simulação escolhido para a geração dos modelos computacionais foi o PROMODEL®. A justificativa para a escolha deste software se dá em função do mesmo apresentar uma linguagem de programação orientada para objeto, o que facilita o processo de construção dos modelos. Além disso, a interface gráfica do software contribui para o processo de verificação dos modelos computacionais e análise dos resultados simulados.

Além dos tempos de montagem coletados junto à empresa e da lógica de processamento apresentada pelos modelos conceituais, as outras informações necessárias para o desenvolvimento dos modelos computacionais foram: número de operadores da linha, número de bancadas de montagem do kit, número de mesas de montagem final, número de mesas de teste, capacidade da fila de espera entre a montagem do kit e a montagem final, demanda diária de produção, taxa de refugos da empresa e programação dos turnos (horários de início, término e paradas programadas).

Com isso, os modelos computacionais foram construídos e apresentaram o formato mostrado pelas Figuras 4 e 5.

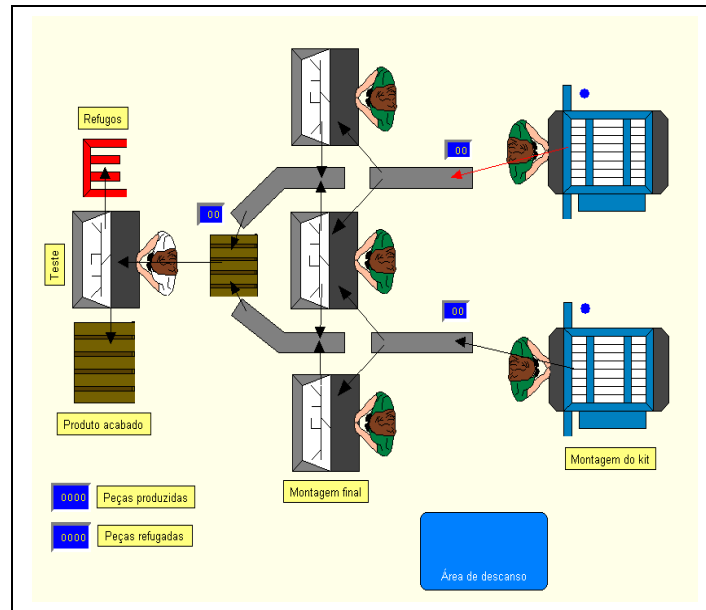


Figura 4 – Modelo computacional referente ao leiaute 1

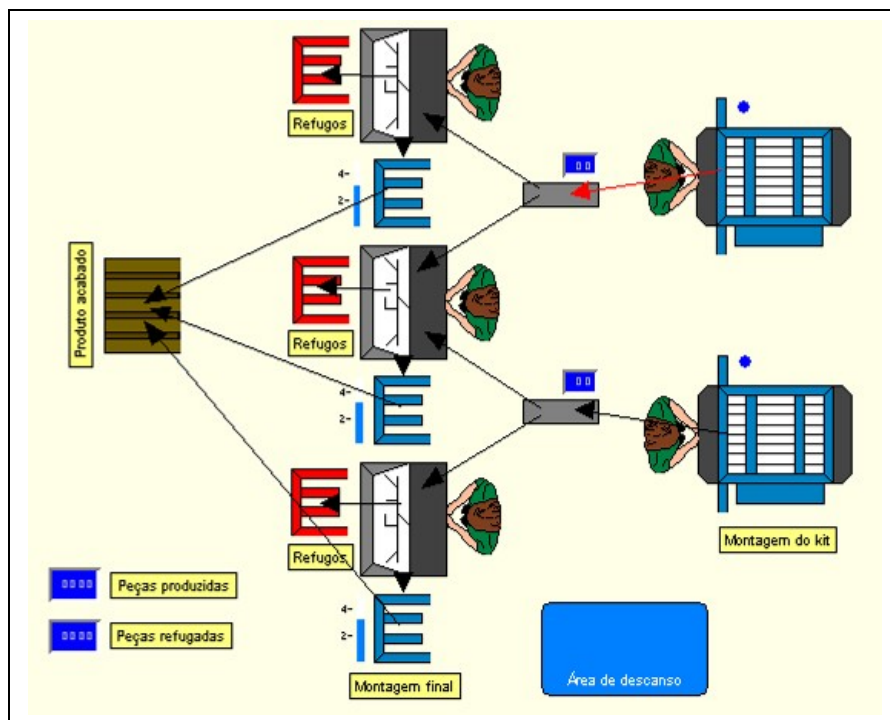


Figura 5 – Modelo computacional referente ao leiaute 2

3.7. Verificação dos modelos computacionais

A verificação dos modelos computacionais foi realizada ao longo do processo de construção dos mesmos e, dessa forma, à medida que os erros fossem identificados, eram imediatamente corrigidos. Nessa etapa, vale destacar a importância da animação para o processo de verificação, pois o acompanhamento da animação permite identificar possíveis erros de programação e onde tais erros estão ocorrendo. Além disso, algumas variáveis foram criadas e alguns indicadores foram inseridos nos modelos para observar se algumas restrições do sistema estavam sendo respeitadas. Entre esses indicadores estão os contadores da capacidade máxima das filas de espera entre a montagem do kit e a montagem final, os

contadores de peças produzidas e peças refugadas e os indicadores de capacidade dos suportes de peças no segundo leiaute. Finalmente, após a construção dos modelos computacionais, foi executada uma simulação de teste em que se acompanhou a animação do processo ao longo de todo o turno de oito horas de trabalho programado e assim pode-se verificar se os modelos funcionavam conforme o esperado.

3.8. Validação dos modelos computacionais

Vários métodos de validação de modelos computacionais são apresentados por Sargent (2004). Entre esses métodos estão a validação face a face, validação de dados históricos, validação interna, validação em múltiplos estágios, validação preditiva e outros.

Para os modelos apresentados neste trabalho, destaca-se que a linha de montagem em que a simulação foi empregada ainda não se encontrava em funcionamento e que a simulação foi empregada como ferramenta para auxiliar a tomada de decisão quanto ao leiaute mais adequado para o novo processo. Diante disso, não é possível validar os modelos construídos através da comparação com o sistema real, dado que este ainda não havia sido implantado. Assim, entre os métodos apresentados por Sargent (2004), foi escolhida a validação face a face para os modelos deste trabalho. A validação face a face é definida pelo autor como o ato de perguntar ou apresentar aos indivíduos com amplo conhecimento sobre o sistema se o modelo e seu comportamento encontram-se satisfatórios.

Os modelos computacionais desenvolvidos foram então apresentados para os especialistas da empresa responsáveis pela implantação da nova linha. Foi então observado que os modelos computacionais apresentavam o comportamento esperado da nova linha e isto permitiu validar os modelos computacionais.

3.9. Introdução do fator humano

Alguns autores têm apresentado críticas quanto aos modelos tradicionais de simulação, argumentando que estes não consideram adequadamente a influência do elemento humano sobre o processo. Como consequência, os modelos tradicionais de simulação acabam apresentando resultados superestimados. De acordo com Baines *et al.* (2004), a influência do fator humano é pouco explorada nos modelos de simulação. As pessoas acabam sendo consideradas como elementos pseudo-tecnológicos, esperando que se comportem de forma semelhante a um item de um equipamento. Isto acaba fazendo com que os modelos não representem a realidade da forma como deveriam.

Observando a linha de montagem analisada neste trabalho, observa-se que os resultados esperados são diretamente afetados pela presença das pessoas, já que os processos são manuais. Algumas perdas de eficiência ao longo do processo devem ser consideradas, para que os resultados da simulação se aproximem dos resultados do processo real. Assim, a metodologia de cálculo do tempo padrão proposta por Barnes (1977) foi introduzida nos modelos de simulação, com o objetivo de acrescentar aos modelos algumas quedas no rendimento do processo causadas pela presença de fadiga e monotonia das operações.

A Tabela 2 apresenta os abonos por fadiga, monotonia do trabalho e tolerâncias pessoais obtidos através da metodologia de cálculo do tempo padrão proposta por Barnes (1977).

Leiaute 1			Leiaute 2	
Montagem do kit	Montagem final	Teste	Montagem do kit	Montagem final e teste

Fator eficiência	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Fadiga mental	1,80%	1,80%	1,80%	1,80%	1,80%
Fadiga física	5,40%	5,40%	5,40%	5,40%	5,40%
Abono por monotonia	1,50%	1,50%	2,10%	1,50%	1,50%
Tolerâncias pessoais	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%
Abono total	13,70%	13,70%	14,30%	13,70%	13,70%

Tabela 2 – Resultados do cálculo do tempo padrão para as operações de montagem

A Tabela 2 indica que os tempos médios das operações de montagem e teste obtidos na fase de coleta de dados devem sofrer um acréscimo de 13,7% em todas as operações, com exceção do tempo de teste do leiaute 1, o qual deve ser acrescido de 14,3%. Após esses acréscimos, chega-se ao tempo padrão das operações, considerando as perdas de eficiência ao longo do processo em função de quedas de rendimento por fadiga e monotonia do trabalho e também considerando uma tolerância de 5% em função do comportamento instável do ser humano.

3.10. Criação de cenários

Com a introdução do cálculo do tempo padrão nos modelos de simulação, foram criados dois cenários para cada um dos leiautes analisados. O primeiro cenário contém os tempos medidos pelos especialistas da empresa e o segundo cenário apresenta os tempos-padrão calculados anteriormente.

3.11. Realização da simulação

Somente após a correta execução de cada uma das etapas anteriores é que a simulação propriamente dita pôde ser realizada para verificar o comportamento de cada leiaute em cada cenário estipulado. Com isso, foram então realizadas dez simulações para cada cenário. Os resultados obtidos estão apresentados e analisados no item seguinte.

4. Resultados

Conforme apresentado nas etapas anteriores, o objetivo da simulação neste estudo é identificar qual entre os leiautes propostos é o mais adequado para atender a demanda de produção diária exigida para a nova linha de montagem. A demanda exigida pelo cliente, neste caso, corresponde a 1200 unidades por dia. A Figura 6 apresenta os volumes de produção diários obtidos com a simulação dos dois leiautes e em cada cenário analisado.

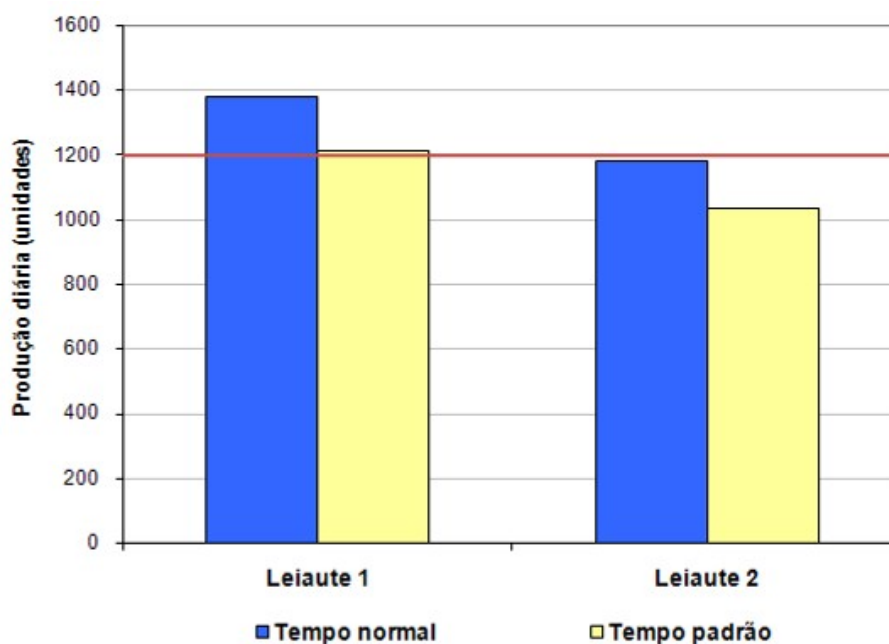


Figura 6 – Volume de produção diária dos leiautes simulados

Pela Figura 6 observa-se que o segundo leiaute não atende à demanda diária de 1200 unidades nos dois cenários. O leiaute 1 sob a condição de tempo normal obteve uma produção de 1.378 unidades. No entanto, este primeiro cenário não considera as quedas de rendimento que acontecem em função da existência de fadiga e de monotonia do trabalho. O cenário considerando o tempo padrão, o qual leva em consideração tais quedas de rendimento, apresentou, para o leiaute 1, um volume produzido de 1.215 unidades. Esta informação permite concluir que o primeiro leiaute, sob a consideração de perdas de eficiência devido à presença do elemento humano, consegue atender a demanda exigida ultrapassando-a em poucas unidades, indicando que a meta de produção é alcançada sem gerar muito estoque. A Tabela 3 apresenta a média, o desvio-padrão e o intervalo com 95% de confiança para os volumes produzidos em cada cenário simulado.

		Média	Desvio padrão	Limite inferior	Limite superior
Leiaute 1	Tempo normal	1378	3,7	1376	1381
	Tempo padrão	1215	2,6	1213	1217
Leiaute 2	Tempo normal	1180	4,1	1177	1183
	Tempo padrão	1036	3,2	1034	1038

Tabela 3 – Resultados da simulação

Operador	Leiaute 1		Leiaute 2	
	Tempo normal	Tempo padrão	Tempo normal	Tempo padrão
Montador kit 1	78%	72%	65%	65%
Montador kit 2	77%	84%	70%	70%
Montador final 1	98%	98%	98%	98%
Montador final 2	98%	98%	98%	98%
Montador final 3	98%	98%	98%	98%
Operador de teste	87%	87%	-	-

Tabela 4 – Carga de trabalho dos operadores

A Tabela 4 apresenta a carga de trabalho dos operadores durante o período simulado, indicando que os montadores finais encontram-se ocupados durante praticamente todo o tempo. Isto permite concluir que o gargalo do sistema, em ambos os leiautes, corresponde à operação de montagem final. Assim, esta operação deve ser tratada com maiores cuidados, já que o volume de produção depende do seu comportamento.

5. Conclusões

A simulação é uma ferramenta de análise que vem ganhando destaque nos últimos anos pelo fato de proporcionar informações importantes para o processo de tomada de decisão. Entretanto, os modelos tradicionais de simulação vêm sendo criticados por não considerar adequadamente a presença do fator humano, o que faz com que a simulação não represente a realidade da forma como deveria.

Neste trabalho, empregou-se a simulação a eventos discretos como ferramenta de decisão na implementação de uma nova linha de montagem de uma indústria do setor automobilístico. Dois leiautes do novo sistema foram avaliados com o objetivo de identificar qual a configuração que melhor atendia a demanda diária de 1200 peças. Foi incorporado no estudo o cálculo do tempo padrão para que as perdas de rendimento do trabalho humano ao longo processo fossem consideradas. A metodologia empregada no estudo de simulação envolveu os passos de definição do problema, construção dos modelos conceituais, validação dos modelos conceituais, coleta e preparação dos dados, desenvolvimento dos modelos computacionais, verificação e validação dos modelos computacionais, incorporação das perdas de rendimento devido à presença de trabalho humano, execução da simulação e análise dos resultados.

A simulação dos cenários em cada leiaute analisado mostrou que o segundo leiaute não atendia a demanda diária em ambas as condições de tempo normal e tempo padrão. Por outro lado, foi verificado que o primeiro leiaute foi capaz de atender a demanda exigida em ambos os cenários, o que permite concluir que esta é a melhor configuração para a linha analisada. Este resultado contrariou as expectativas iniciais dos especialistas da empresa, os quais julgavam o segundo leiaute mais apropriado, por este conter um menor número de operadores e uma operação a menos na linha. Entretanto, a análise destes especialistas não deve ter considerado a aleatoriedade e a interdependência das operações, o que acabou gerando resultados diferentes. Diante de tais resultados, fica evidente a relevância da simulação para o processo de tomada de decisão, já que a empresa poderia tomar decisões erradas caso não possuísse as informações que foram geradas por esta ferramenta de análise. Além disso, foi observado que o gargalo do sistema correspondia à operação de montagem final, sugerindo que maiores atenções devem ser dadas para esta operação.

Referências

- BAINES, T.; MASON, S.; SIEBERS, P. O. & LADBROOK, J. *Humans: the missing link in manufacturing simulation?* Simulation Modelling Practice and Theory, Vol. 12, n. 7/8, p. 515-526, 2004.
- BANKS, J. *Introduction to simulation*. Winter Simulation Conference, Orlando, USA, 2000.
- BANKS, J.; CARSON II, J. S.; NELSON, B. L. & NICOL, D. M. *Discrete event system simulation*. 4rd Ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2005.
- BARNES, R. M. *Estudo de movimentos e de tempos: Projeto e medida do trabalho*. São Paulo: Edgard Blucher, 1977.
- BRIGHENTI, J. R. N. *Simulação e otimização de uma linha de manufatura em fase de projeto*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Brasil, 2006.

-
- FURNHAM, A.; FORDE, L. & FERRARI, K. *Personality and work motivation*. Personality and Individual Differences, Vol. 26, n.6, p. 1035-1043, 1999.
- HARREL, C. R.; GHOSH, B. K. & BOWDEN, R. *Simulation using ProModel®*. New York: McGraw-Hill, 2000.
- ILAR, T. P. E. *A simplified modeling approach for human system interaction*. Winter Simulation Conference, Miami, USA, 2008.
- KELLNER, M. I.; MADACHY, R. J. & RAFFO, D. M. *Software process simulation modeling: Why? What? How?* Journal of Systems and Software, Vol. 46, n. 2/3, p. 91-105, 1999.
- LAW, A. M. & KELTON, W. D. *Simulation modeling and analysis*. 2nd Ed. New York: McGraw Hill, 1991.
- LONGO, F.; MIRABELLI, G. & PAPOFF, E. *Effective design of an assembly line using modeling & simulation*. Winter Simulation Conference, Monterey, USA, 2006.
- MONTEVECHI, J. A. B.; PINHO, A. F.; LEAL, F. & MARINS, F. A. S. *Application of design of experiments on the simulation of a process in an automotive industry*. Winter Simulation Conference, Washington, USA, 2007.
- PIDD, M. *Modelagem empresarial*. Porto Alegre: Bookman, 1998.
- SARGENT, R. G. *Validation and verification of simulation models*. Winter Simulation Conference, Washington, USA, 2004.
- VILLELA, C. S. S. *Mapeamento do processo como ferramenta de reestruturação e aprendizagem organizacional*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, 2000.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao NEAAD (Núcleo de Estudos Avançados para Auxílio à Decisão), FAPEMIG, CNPq, CAPES e à empresa PadTec pelo apoio a esta pesquisa.