



90
AÑOS

PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

Federación
Iberoamericana
de Ingeniería
Mecánica



8º CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ENGENHARIA MECANICA Cusco, 23 a 25 de Outubro de 2007

ANÁLISE DO ARRANJO FÍSICO DE UMA LINHA DE MONTAGEM EM UMA EMPRESA DO SETOR DE COMPONENTES AUTOMOTIVOS UTILIZANDO SIMULAÇÃO

Heráclito Lopes Jaguaribe Pontes*, Mamoru Carlos Yamada, Arthur José Vieira Porto

Universidade de São Paulo (EESC-USP), Av. Trabalhador Sancarlense 400, Cep: 13.566-590, São Carlos, SP, Brasil

*e-mail: hjpontes@sc.usp.br

RESUMO

Atualmente o mercado altamente competitivo faz com que as organizações tenham que conhecer muito bem seus processos produtivos e realizem análises para possíveis melhorias. Este trabalho tem como objetivo analisar o arranjo físico de uma linha de montagem de um componente automotivo. O trabalho utiliza a abordagem da simulação por meio do software Arena®. Para a realização da análise, utilizam-se os indicadores: tempo de atravessamento no processo produtivo e quantidade total de componentes produzidos. Inicialmente, é desenvolvido o mapeamento do processo produtivo seguido pela modelagem do arranjo físico atual da linha de montagem. Após a verificação e validação do modelo, são propostos dois cenários alternativos, indicando quais são as respostas do sistema a partir das alterações realizadas. Os dois cenários alternativos propostos obtiveram desempenhos melhores que o arranjo físico atual da linha de montagem. Os resultados obtidos mostraram que a simulação pode ser utilizada como base científica para a tomada de decisões sem interferir no sistema real.

Palavras-chave: Arranjo Físico, Linha de Montagem, Simulação, Arena.

INTRODUÇÃO

O cenário competitivo atual tem forçado as empresas a reduzir custos, melhorar qualidade e aumentar produtividade em suas operações. Com isso, repensar as estruturas de produção da organização passou a ser um fator imprescindível para a sobrevivência no mercado.

Para sobreviver nesse mercado competitivo, as indústrias fornecedoras de componentes para o setor automobilístico têm sido estimuladas a tornar suas linhas de montagens mais eficientes e flexíveis. Para isso, o estudo detalhado do arranjo físico da linha de montagem é de grande relevância, de forma que o seu mau dimensionamento pode gerar perdas por excesso de deslocamentos e operações. Por outro lado, o dimensionamento correto de operações e deslocamentos torna o arranjo físico fundamental para a sobrevivência da empresa no mercado, pois aumentam a flexibilidade e capacidade de produção.

A simulação é uma ferramenta bastante utilizada para análise e melhoria de arranjos físicos. Segundo Law e McComas (1999), uma das maiores aplicações da simulação está na manufatura. Dentre os benefícios que a simulação pode trazer destacam-se: análise da quantidade de maquinário e operadores, avaliação de desempenho e avaliação dos procedimentos operacionais. As medidas de desempenho mais utilizadas são quantidade de peças produzidas, tempo de atravessamento das peças e porcentagem de utilização dos funcionários e das máquinas.

O objetivo deste trabalho é, por meio da simulação com o *software* Arena®, realizar a análise do arranjo físico atual de uma linha de montagem em uma empresa do setor de componentes automotivos, assim como propor dois novos cenários alternativos, indicando quais são as respostas do sistema a partir das alterações realizadas.

A empresa em estudo trata-se de uma multinacional de médio porte, localizada no interior do estado de São Paulo que produz componentes para setor automotivo como componentes do sistema de transmissão. A empresa conta com um quadro de 250 funcionários trabalhando em 3 turnos e produzindo, em média, 5.200 peças por dia. Essa produção é comercializada para clientes de todo o mundo.

REVISAO BIBLIOGRÁFICA

Arranjo Físico

O termo arranjo físico refere-se à configuração de departamentos, de centros de trabalho e de instalações e equipamentos, com ênfase especial na movimentação, através do sistema, dos elementos aos quais se aplica o trabalho (STEVENSON, 1999). Segundo Slack *et al.* (2004), o arranjo físico de uma operação produtiva preocupa-se com a localização física dos recursos de transformação.

Para Mason (1989), o arranjo físico de uma planta é um objeto tradicional da engenharia de produção que joga com relações especiais e sensíveis. Um arranjo físico tem muitas implicações práticas e estratégicas. De acordo com Gaither e Frazier (1999) alguns objetivos dos arranjos físicos são fornecer suficiente capacidade de produção, reduzir o custo de manuseio de materiais, garantir espaço para as máquinas de produção, permitir elevada utilização e produtividade da mão-de-obra, das máquinas e do espaço, permitir facilidade de manutenção e atingir os objetivos com o menor investimento de capital.

Conforme Slack *et al.* (2004), se o arranjo físico está mal dimensionado, pode levar a padrões de fluxo excessivamente longos ou confusos, estoque de materiais, filas formando-se ao longo da operação, inconveniências para os clientes, tempos de processamento desnecessariamente longos, operações inflexíveis, fluxos imprevisíveis e altos custos.

Há uma grande quantidade de trabalhos na literatura relacionados a arranjo físico para o setor de manufatura. Alguns pesquisadores como Jajodia *et al.* (1992), Heragu (1992) e Stevenson (1999) estudam a reorganização de arranjo físico. Para Stevenson (1999) os principais motivos para a reorganização de arranjo físico são: a ineficiência das operações, acidentes ou riscos à integridade física e à segurança, mudanças no projeto de produtos ou serviços, introdução de novos produtos ou serviços, mudanças no volume de produto ou na composição de produtos, mudanças nos métodos ou no equipamento, mudanças de requisitos ambientais ou outros de ordem legal, e problemas relacionados com o moral dos funcionários.

Linha de Montagem

De acordo com Askin e Standridge (1993), uma linha de montagem é um conjunto de estações de trabalho posicionadas sequencialmente, normalmente interligadas mediante um sistema contínuo de movimentação de materiais, e projetada para montar componentes e realizar qualquer operação necessária à obtenção de um produto acabado.

Uma linha de montagem é uma linha de produção formada por estações de trabalho sequenciadas, onde tarefas de montagem de um produto são realizadas. Os produtos são montados de acordo com a sua movimentação pela linha,



sendo cada estação responsável pela execução de uma parcela do trabalho total. A prática mais utilizada em uma linha de montagem é a colocação de uma carcaça ou parte básica do produto, pronta para receber outros materiais à medida que o processamento ocorre, no início da linha em intervalos regulares. Cada carcaça passa por sucessivas estações onde trabalhadores adicionam componentes até a construção total do produto (GROOVER, 2000).

Simulação

Simulação computacional ou simulação é o processo de projetar um modelo lógico matemático de um sistema real e fazer experimentos deste sistema no computador (PRITSKER, 1986). Complementam Harrel e Tumay (1997) afirmando que a simulação é uma atividade por meio da qual se pode tirar conclusões sobre o comportamento de um dado sistema pelo estudo do comportamento do seu modelo correspondente, no qual as relações de causas e efeitos são as mesmas ou similares do sistema real.

Conforme Shannon (1998), simulação consiste no processo de desenvolver um modelo de um sistema real e realizar experimentos com este modelo com o propósito de entender o comportamento do sistema e/ou as evoluções das várias estratégias para a operação do sistema. Bertrand e Fransoo (2002) apontam que, apesar da qualidade científica dos resultados da simulação ser menor que a da análise matemática, sua relevância científica é alta. A variedade de modelos científicos na qual a simulação é capaz de trabalhar é maior que uma análise matemática. Eles apontam que a simulação é utilizada em casos onde os modelos ou problemas são muito complexos para uma análise matemática formal.

A simulação possibilita aos tomadores de decisão das empresas que identifiquem algumas questões peculiares ao chão de fábrica como: o lead-time, a identificação dos gargalos no fluxo de material com a localização das máquinas que os geram, o tamanho dos estoques amortecedores, a verificação das taxas de utilização dos operários e das máquinas, o espaço físico necessário, o volume de produção, dentre outras (ROHRER e BANKS, 1998).

As vantagens da simulação são citadas por Banks (1998), Banks *et al.* (1996), Kelton *et al.* (1998), e Centeno e Carrillo (2001) são relacionadas abaixo:

- Modelos mais realistas: maior liberdade na construção do modelo;
- Processo de modelagem evolutivo;
- Uma vez criado, um modelo pode ser utilizado inúmeras vezes para avaliar projetos e políticas propostas;
- Os modelos de simulação podem ser quase tão detalhados quanto os sistemas reais; novas políticas e procedimentos operacionais, regras de decisão, fluxos de informação, podem ser avaliados sem que o sistema real seja perturbado;
- Perguntas do tipo “e se?” (“*what if?*”): em diversos casos, em lugar de buscar uma solução, o objetivo resume-se em tornar mais claras as possíveis consequências de um conjunto de decisões;
- Aplicação a problemas mal-estruturados;
- Grande flexibilidade: a simulação aplica-se aos mais variados problemas;
- Aquisição de visão sistêmica;
- Exploração de possibilidades.

Os mesmos autores citam também algumas desvantagens da simulação:

- A modelagem e a análise da simulação podem ser dispendiosas em termos de recursos financeiros e de tempo;
- A construção de modelos requer treinamento especial;
- A programação de um modelo de simulação pode se tornar altamente dispendiosa e desgastante se os recursos computacionais não forem apropriados;
- Os resultados da simulação são, muitas vezes, de difícil interpretação;
- Pode ser usada inapropriadamente, por exemplo, quando uma solução analítica é factível.

ESTUDO DE CASO

Descrição do estudo de caso

Este trabalho foi realizado numa empresa multinacional do setor de componentes automotivos de médio porte com aproximadamente 250 funcionários e com uma produção de aproximadamente 5.200 peças por dia, que comercializa para clientes de todo o mundo. Os principais produtos da linha de montagem em estudo são os componentes do sistema de transmissão automotiva.

A necessidade de realização desse trabalho surgiu a partir da constatação, pelos responsáveis pela linha de montagem, que o arranjo físico atual necessita de uma reorganização para diminuir o tempo de atravessamento dos produtos e aumentar a capacidade de produção.

Inicialmente, para a familiarização e descrição detalhada das atividades da linha de montagem, foi utilizada a técnica do mapeamento de processo, ver Figura 1. Esta técnica foi utilizada por ser uma ferramenta analítica e de comunicação que possibilita o entendimento e melhoria do processo. A linha de montagem é composta de várias estações de trabalho manuais e automáticas, interligadas por um transportador acumulativo (esteira). O produto é montado sobre um paletê e em cada estação de trabalho são colocados componentes. As operações automáticas são realizadas com a parada do paletê nas estações de trabalhos. As operações manuais são realizadas de duas formas: com o paletê parado na estação de trabalho e com o paletê em movimento durante o deslocamento de uma operação para outra.

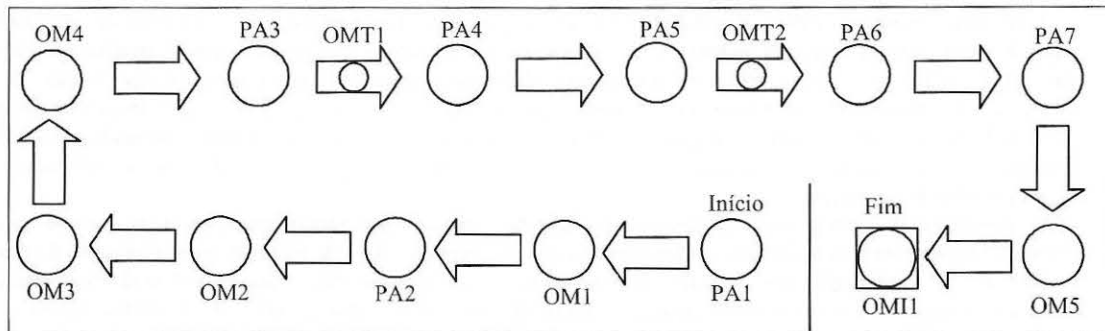


Fig. 1: Mapeamento da linha de montagem

Tabela 1: Resumo das atividades descritas no mapeamento da linha de montagem

Símbolo	Significado	Total
	Operações	12
	Transportes	10
	Operação com Transporte	2
	Operação com Inspeção	1

Uma descrição detalhada da linha de montagem de acordo com Figura 1:

- **Posto Automático 1 (PA1):** Posiciona rebites no lado esquerdo do paletê.
- **Operação Manual 1 (OM1):** Um operador posiciona o revestimento no lado esquerdo do paletê, retira o subconjunto do lado direito e posiciona-o no lado esquerdo sobre os rebites e o revestimento já montado.
- **Posto Automático 2 (PA2):** Posiciona rebites do lado direito do paletê.
- **Operações Manuais 2 (OM2), 3 (OM3), 4 (OM4):** Em cada operação, um operador monta o componente de acordo com o tipo de produto que estiver em fabricação.
- **Posto Automático 3 (OM3):** Posiciona revestimento no lado direito do paletê.
- **Operação Manual com Transporte 1 (OMT1):** Um operador monta o componente de acordo com o tipo de produto que estiver em fabricação com o paletê em movimento.
- **Posto Automático 4 (PA4):** Posiciona rebites maciços no lado direito do paletê.
- **Posto Automático 5 (PA5):** Posiciona molas de revestimento no lado direito do paletê.
- **Operação Manual com Transporte 2 (OMT2):** Um operador posiciona disco de torção no lado direito do paletê e libera para a prensagem com o paletê em movimento.
- **Posto Automático 6 (PA6):** Prensa simultaneamente o conjunto e o subconjunto montados no paletê.
- **Posto Automático 7 (PA7):** Grava a laser a identificação do produto.
- **Operação Manual 5 (OM5):** Um operador retira o produto acabado do paletê, posiciona o produto na máquina de medição. Faz medições de características funcionais do produto. O operador retira o produto que foi mensurado e disponibiliza o mesmo para a próxima operação.
- **Operação Manual com Inspeção 1 (OMI1):** Um operador faz exame visual detalhado do produto, identificando erros e direcionando o produto para o retrabalho ou para expedição.

Coleta de dados e informações

Para o desenvolvimento do modelo inicial de simulação foi realizada a coleta de dados na linha de montagem. Foram realizadas visitas à empresa para observação do funcionamento da linha de montagem e para realizar entrevistas com os responsáveis pelo processo produtivo, assim como os responsáveis pela manutenção. O razão para as entrevistas foi compreender melhor os detalhes relacionados à linha de montagem e às possíveis paradas por falhas e manutenção e a duração dessas paradas.

As principais informações e dados coletados que serviram como base para o desenvolvimento do modelo inicial foram: tempos de cada operação (operação manual e posto automático); velocidade do transportador e comprimento de cada segmento do transportador; tempo entre paradas e o tempo de reparo das máquinas.

Desenvolvimento do modelo de simulação inicial

O próximo passo realizado foi o desenvolvimento do modelo da linha de montagem atual, que foi chamado de Modelo Inicial. Na construção do modelo inicial buscou-se codificar o modelo conceitual em um conjunto de instruções lógicas que imitassem comportamento do sistema real. Essas instruções possuem um formato específico, de acordo com a ferramenta computacional utilizada.

O *software* utilizado para o desenvolvimento do modelo inicial foi o Arena®. O Arena® é uma flexível e poderosa ferramenta de simulação desenvolvida pela Rockwell Software Corp, que permite ao usuário criar modelos de simulação animados que representam precisamente um sistema. Módulos de desenvolvimento são disponibilizados para construção do modelo e módulos customizados podem ser criados para necessidades específicas (ALI *et al.*, 2005). Na modelagem foram utilizados diversos blocos dos principais templates do Arena: *Basic Process* (*create, dispose, process, decide, assign, record, resource, entity*); *Advanced Process* (*failure, hold*); *Advanced Transfer* (*access, convey, exit, conveyor, segment*).

Para o desenvolvimento do modelo inicial foram utilizados o tempo das operações (operações manuais e automáticas) e as distâncias entre as operações, ver Tabelas 2 e 3. Para os tempos das operações manuais utilizou-se um desvio padrão de 10% do tempo da operação. Os tempos dos postos automáticos foram considerados determinísticos. Foram reproduzidos também detalhes significantes da linha de montagem:

- Operação da linha de montagem em 3 turnos de 8 horas cada turno;
- A velocidade do transportador (esteira) de 200 mm/s;
- Parada da linha de montagem de 1200 segundos por turno para a realização de manutenção;
- Posto Automático 1 (PA1), 2 (PA2) e 4 (PA4): paradas de 600 segundos por turno;
- Posto Automático 3 (PA3): paradas de 300 segundos por turno;
- Posto Automático 5 (PA5) e 7 (PA7): paradas de 60 segundos por turno;
- Posto Automático 6 (PA6): paradas de 120 segundos por turno.

Tabela 2: O tempo das atividades do modelo inicial

Tempos das Atividades	
Atividades	Tempo(s)
PA1	8,7
OM1	5,6 ± 0,56
PA2	8,5
OM2	8,4 ± 0,84
OM3	5,2 ± 0,52
OM4	8,2 ± 0,82
PA3	8,7
OMT1	8,2 ± 0,82
PA4	9,0
PA5	8,0
OMT2	3,1 ± 0,31
PA6	3,0
PA7	3,2
OM5	16,0 ± 1,6
OMI1	10,1 ± 1,01

Tabela 3: A distância entre as atividades do modelo inicial

Distância entre Atividades	
Atividades	Distância (mm)
PA1 para OM1	780
OM1 para PA2	760
PA2 para OM2	760
OM2 para OM3	1.480
OM3 para OM 4	4.780
OM4 para PA3	2.300
PA3 para OMT1	980
OMT1 para PA4	1.020
PA4 para PA5	1.800
PA5 para OMT2	1.700
OMT2 para PA6	2.280
PA6 para PA7	6.300
PA7 para OM5	1.500
OM5 para OMI1	1.320

Verificação e Validação

Uma das etapas mais importantes da simulação é a verificação e validação. Se o modelo não refletir o sistema real, as saídas do modelo vão influenciar negativamente na qualidade da decisão. A ideia principal da verificação é assegurar que o sistema real está sendo representado pelo modelo inicial. A validação tem como objetivo garantir que o modelo inicial está representando com acuracidade o sistema real. Segundo Sargent (1998), existem inúmeras técnicas de validação, como técnicas estatísticas ou procedimentos matemáticos, testes de hipótese, intervalos de confiança, comparação com outros modelos, testes degenerativos, validade do evento, condição extrema, validação por meio de dados históricos, validade interna, validação multi-estágio, gráficos operacionais, testes de duração, entre outros.

A verificação e validação do modelo inicial desenvolvido foram realizadas em diversas etapas, envolvendo pessoas familiarizadas com o processo e dados históricos. Ao final do desenvolvimento do modelo, com todos os fatores considerados, obteve-se um modelo com capacidade de produção e tempo de atravessamento do produto muito próxima do sistema real.

Experimentação

Após a verificação e validação do modelo inicial, realizou-se o desenvolvimento dos modelos propostos. Nessa etapa foram inseridas variações no modelo inicial para observação do comportamento do sistema. É importante ressaltar que nessa etapa não se procura a melhor alternativa, mas sim avaliar possíveis impactos causados por alterações no sistema. Foram desenvolvidos dois cenários com variações diferentes que foram chamados de Modelo Proposto 1 e Modelo Proposto 2.

Para cada modelo simulado (Modelo Inicial, Modelo Proposto 1, Modelo Proposto 2) foram realizadas 30 replicações de 1 dia cada replicação com 10 minutos de preparação da linha (*Warm-up*). As variações realizadas nos dois modelos propostos foram as seguintes:

- Modelo Proposto 1: observou-se no modelo inicial que a operação manual 5 (OM5) está com um tempo de operação muito alto tornando-se um gargalo para o sistema como um todo. Nesse modelo, propõe-se automatizar a OM5 da seguinte forma: em um posto automático retira-se o produto final do lado esquerdo do palete, realiza-se a medição das características funcionais e grava-se a laser a identificação do produto. A distância entre as atividades continua a mesma do modelo inicial, mas o tempo da OM5 cai de $(16 \pm 1,6)$ segundos para 11,8 segundos.
- Modelo Proposto 2: após o desenvolvimento do modelo proposto 1 observou-se que o tamanho da linha de montagem poderia influenciar negativamente o tempo de atravessamento dos produtos e a capacidade de produção do sistema. Nesse modelo foi proposto um rearranjo na linha de montagem com diversas mudanças em relação ao modelo inicial. Com o rearranjo realizado a distância total da esteira passou de 27.760mm, no modelo inicial, para 23.800mm, no modelo proposto 2, ver Tabelas 4 e 5. Com isso, o comprimento da linha de montagem foi reduzido em 16,64%. A seguir tem-se uma descrição detalhada do modelo proposto 2:
 - **Posto Automático 1 (PA1):** Posiciona rebites no lado esquerdo do palete.
 - **Operação Manual 1 (OM1):** Um operador posiciona o revestimento no lado esquerdo do palete, retira o subconjunto do lado direito e posiciona-o no lado esquerdo sobre os rebites e o revestimento montado anteriormente.
 - **Posto Automático 2 (PA2):** Posiciona rebites do lado direito do palete.
 - **Operação Manual 2 (OM2):** Um operador monta componentes variados, dependendo do tipo de produto que estiver em fabricação.
 - **Posto Automático 3 (PA3):** Posiciona revestimento no lado direito do palete.
 - **Operação Manual 3 (OM3):** Um operador monta componentes variados, dependendo do tipo de produto que estiver em fabricação.
 - **Operação Manual 4 (OM4):** Um operador monta componentes variados, dependendo do tipo de produto que estiver em fabricação.
 - **Posto Automático 4 (PA4):** Posiciona rebites maciços no lado direito do palete.
 - **Operação Manual com Transporte 1 (OMT1):** Um operador monta o componente de acordo com o tipo de produto que estiver em fabricação com o palete em movimento.
 - **Posto Automático 5 (PA5):** Posiciona molas de revestimento no lado direito do palete.
 - **Operação Manual com Transporte 2 (OMT2):** Um operador posiciona disco de torção no lado direito do palete e libera para a prensagem com o palete em movimento.

- **Posto Automático 6 (PA6):** Prensa simultaneamente o conjunto e o subconjunto montados no palete.
- **Posto Automático 7 (PA7):** Retira o produto final do lado esquerdo do palete, realiza a medição das características funcionais e grava a laser a identificação do produto.
- **Operação Manual com Inspeção 1 (OMI1):** Um operador faz exame visual detalhado do produto, identificando erros e direcionando o produto para o retrabalho ou para expedição.

Tabela 4: O tempo das atividades do modelo proposto 2

Modelo Proposto 2	
Tempos das Atividades	
Atividade	Tempo (s)
PA1	8,7
OM1	5,6 ± 0,56
PA2	8,5
OM2	8,4 ± 0,84
PA3	8,7
OM3	5,2 ± 0,52
OM4	8,2 ± 0,82
PA4	9,0
OMT1	8,2 ± 0,82
PA5	8,0
OMT2	3,1 ± 0,31
PA6	3,0
PA7	11,80
OMI1	10,1 ± 1,01

Tabela 5: A distância entre as atividades do modelo proposto 2

Modelo Proposto 2	
Distância entre Atividades	
Atividade	Distância (mm)
PA1 para OMI1	900
OM1 para PA2	980
PA2 para OM 2	700
OM2 para PA3	1.300
PA3 para OM3	700
OM3 para OM4	4.420
OM4 para PA4	840
PA4 para OMT1	920
OMT1 para PA5	720
PA5 para OMT2	1.900
OMT2 para PA6	1.980
PA6 para PA7	7.120
PA7 para OMI1	1.320

Discussão dos Resultados

A discussão dos resultados é realizada com base em dois indicadores de desempenho utilizados como referência na empresa em estudo que são:

- Tempo de atravessamento: é o tempo transcorrido desde a entrada do componente na linha de montagem até a conclusão da última operação constante no roteiro de produção. No cálculo deste tempo foram considerados os tempos das operações, dos transportes e das esperas.
- Quantidade de Produzida ou Capacidade de Produção: consiste na quantidade de produção por período de tempo. Neste trabalho utilizou-se para análise a produção por dia da linha de montagem.

A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos para os três modelos: Modelo Inicial, Modelo Proposto 1 e Modelo Proposto 2.

Tabela 6: Resultados Obtidos

Arranjo Físico	Tempo de Atravessamento (s)	Quantidade Produzida (unidades/dia)
Modelo Inicial	6.677	5.212
Modelo Proposto 1	4.266	7.068
Modelo Proposto 2	3.136	7.272

- Comparação do modelo inicial com o modelo proposto 1: a automatização realizada gerou melhorias significantes para a linha de montagem. O tempo de atravessamento melhorou em 36,11% e a quantidade produzida aumentou em 35,61%.
- Comparação do modelo inicial com o modelo proposto 2: os resultados obtidos mostraram grandes avanços em relação ao modelo inicial nos indicadores de desempenho e na redução do tamanho da linha de montagem. O tempo de processamento reduziu aproximadamente 53,03% e a quantidade de produzida aumentou em 39,52%.
- Comparação do modelo proposto 1 com o modelo proposto 2: os resultados apresentaram melhoria nos dois indicadores de desempenho utilizados (Tempo de Atravessamento 26,49 % e Quantidade Produzida 2,89%).

Uma grande melhoria deste modelo está relacionada com a redução na distância total de movimentação do material, aproximando postos de trabalho com grandes relações de afinidade, reduzindo deslocamentos desnecessários.

CONCLUSÕES

Os dois modelos propostos tiveram desempenhos melhores que o arranjo físico atual da linha de montagem. No modelo proposto 1 é realizada somente a automatização de uma operação manual e essa mudança acarreta ganhos significativos tanto no tempo de atravessamento como na quantidade produzida. No modelo proposto 2, a linha de montagem passa por um grande rearranjo de operações. O resultado desse rearranjo é uma diminuição considerável do comprimento da linha de montagem, assim como melhoria nos indicadores de desempenho utilizados. Como conclusão pode-se dizer que o modelo proposto 1 é um primeiro passo a ser tomado para a melhoria da linha de montagem e o modelo proposto 2 é o passo seguinte para tornar a linha de montagem mais compacta, assim evitando excesso de deslocamentos.

Os resultados obtidos neste trabalho mostraram que a simulação pode ser utilizada como base científica para a tomada de decisões sem interferir no sistema real. O estudo realizado permitiu também que as diversas pessoas envolvidas no projeto de melhoria da linha de montagem discutissem aspectos relevantes do sistema.

REFERÊNCIAS

1. M. A. Law e M.G Mccomas. Simulation of. Manufacturing Systems. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, pp. 56-59, 1999.
2. W.J. Stevenson. Production and Operations Management. New York: WCB/McGraw Hill, 1999.
3. N. Slack *et al.* Operations Management. New Jersey: Prentice-Hall, 2004.
4. E.R. Mason. Plant Layout requirements for the factory of the future. AIPE Facilities Management. Operation and Engineering, vol.16, pp. 32-35, 1989.
5. N. Gaither e G. Frazier. Production and operations management. South-Western College Publishing. 8.ed 1999.
6. S. Jajodia *et al.* Class: computerized layout solutions using simulated annealing, International Journal of Production research, vol.30 no.1, 1992.
7. S.S. Heragu. Recent models and techniques for solving the layout problems, European Journal of Operational Research, vol.57, pp.136-44, 1992.
8. R.G. Askin e C.R. Standridge. Modeling and Analysis of Manufacturing Systems, New York, John Wiley & Sons, 1993.
9. M.P. Groover. Automation, production, and computer-integrated manufacturing. New Jersey, Prentice-Hall. 2.ed., 2000.
10. A. A. B. Pristker. Introduction to Simulation and SLAM II. New York, John Wiley & Sons, 1986.
11. C. Harrel; K. Tumay. Simulation made easy. IIE Solutions, pp.39-41, 1997.
12. R.E. Shannon. Introduction to the art and science of simulation. In: Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference. pp.07-14, 1998.
13. J.W.M. Bertrand e J.C. Fransoo. Modeling and Simulation: Operations management research methodologies using quantitative modeling. International Journal of Operations & Production Management, v.22, n.2, pp. 241-264, 2002.
14. M. Rohrer, e J. Banks. Required Skills of a Simulation Analyst. IEE Solutions, pp.18-30, 1998.
15. J. Banks. Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and practice. New York: John Wiley & Sons, 1998.
16. J. Banks et al. Discrete-event system simulation. 2.ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1996.
17. W. D. Kelton, *et al.* A. Simulation with arena. New York: WCB/McGraw Hill, 1998.
18. M.A. Centeno e M. Carrillo. Challenges of introducing simulation as a decision making tool, Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference, pp.17-21, 2001,
19. S. A. Ali *et al.* Intelligent modeling and simulation of flexible assembly systems, Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference, pp.1350-1358, 2005.
20. R.G. Sargent. Verification and validation of simulation models, Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference. pp.121-130, 1998.