MAPEAMENTO DE FLUXO DE VALOR E SIMULAÇÃO COMO FACILITADORES PARA O APRIMORAMENTO DA PRODUÇÃO EM EMPRESA DO SETOR AUTOMOTIVO

"Artigo para ser submetido ao periódico "Gestão e Produção"

Mateus Vanzetta ,(UFRGS),mateusvzt13@hotmail.com

Giovana Savitri Pasa, Drª(UFRGS), giovanapasa@producao.ufrgs.br

Resumo

Melhorias nos processos são buscadas diariamente na empresas, visando atingir níveis mais altos de eficiência de seus processos e maiores lucros, através da redução de seus custos. Para tanto, o presente artigo apresenta uma pesquiça-ação realizada numa empresa líder de mercado do setor automotivo, que procurava a redução do custo de fabricação de um de seus produtos, através da redução do número de operadores necessários para a fabricação da mesma. Realizando melhorias utilizando ferramentas de mapeamento de fluxo de valor, balanceamento de operações e troca de layout da linha e da planta, atingiu-se essa redução do número de operadores desejadas e conseqüente redução do custo de fabricação da peça.

Palavras-chaves: *Melhoria de processo, setor automotivo, troca de layout, balanceamento de operações, MFV, simulação.*

1 Introdução

Durante o passar dos anos a globalização trouxe inúmeras mudanças no setor automotivo, tornando significativa a adoção de novos padrões de produção e marcando fortes transformações nas formas de atuação e integração entre os meios produtivos.

Segundo a Fenabrave (Federação Nacional de Distribuidores de Veículos Automotores), depois de seguidas crises o setor automotivo, principalmente a crise de setembro de 2008, o setor vem se recuperando, tendo um aumento de vendas para o mercado interno em 2009 em relação ao mesmo período do ano anterior, impulsionadas pela ampliação do prazo do crédito e a isenção do IPI. Segundo a Anfavea (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores), a produção de veículos montados e desmontados, chamados de CKD foi de 322.547 unidades em maio de 2010, enquanto, no mesmo período

do ano anterior, foi de 269.535 unidades. Mesmo com o crescimento, todos os setores buscam cada vez maiores lucros.

Esse é o cenário atual do setor, que busca se adequar através da redução de custos e do aumento da eficiência. Segundo Ohno (1988), eficiência na indústria moderna é reduzir custo. Para Shingo (1996), num determinado período parado, a perda por um operador ficar ocioso será cinco vezes maior do que a perda com uma máquina parada. Então, com a intenção de redução de custos, é muito mais eficaz concentrar esforços sobre a redução da mão-de-obra, não importando quão baixa é a taxa de utilização dos equipamentos.

Como o custo de um operador parado é muito maior do que de uma máquina, deve-se buscar a maior utilização possível da mão-de-obra disponível ou, ainda, diminuir a mão-de-obra. Um dos modos de alcançar essa melhor utilização da mão-de-obra é através de adoção de manufatura celular, onde é possível atribuir um maior número de atividades para cada operador, conseguindo uma maior produtividade de operadores através das células (HYER; WEMMERLÖW, 2002).

Este artigo descreve uma pesquisa-ação realizada em uma empresa fornecedora de componentes automotivos, multinacional líder de mercado, presente em quatro continentes, em mais de vinte países, com mais de 52.000 colaboradores espalhados pelas plantas em todo o mundo. O objetivo deste foi identificar formas de aumentar a utilização da mão-de-obra através da implantação de células de manufatura. Buscou-se manter a qualidade atual, reduzindo os custos de produção da peças, propondo melhorias no processo e agregando mais valor ao produto, reduzindo desperdícios.

Para alcançar o objetivo proposto, foi realizada uma revisão teórica sobre mapeamento de fluxo valor para melhoria de processos, células de manufatura e simulação. Na sequência, realizou-se uma pesquisa-ação. Durante dezoito meses realizou-se observação direta, coleta de métricas de tempo e distância, elaboração de projeto de células e testes de desempenho através de simulação. A simulação do funcionamento das células permitiu prever uma diminuição no custo do produto manufaturado decorrente de uma maior utilização da mão-de-obra. Este resultado promoveu a ampliação do projeto para as demais células da fábrica, tornando a planta mais eficiente.

O artigo foi estruturado em cinco seções. A primeira seção trata da introdução, com a contextualização do assunto e apresentação da situação problema, justificativas e objetivos do artigo. A seção dois traz o referencial teórico. A seção três apresenta a metodologia utilizada a seção quatro trata dos resultados e discussões para continuações do trabalho e possíveis novos estudos. Finalmente, a seção cinco traz a conclusão.

2 **Referencial teórico**

2.1 Sistema Toyota de produção

Sistema de produção criada no Japão, nas indústrias da Toyota, com a filosofia de produzir mais com menos. O sistema Toyota de produção (STP) busca aumentar os lucros, buscando identificar e eliminar perdas. São sete perdas no total. i) perda por superprodução; ii) perda por transporte; iii) perda por processo; iv) perda por produtos defeituosos; v) perdas por movimentação; vi) perda por espera e vii) perda por estoque.

Para identificar perdas, deve-se buscar utilizar ferramentas do STP, como *Just-in-time* (produção na quantidade certa para o cliente, contra pedido), *Jidoka* (automação, transferindo atividades dos operadores para as máquinas), círculos de controle de qualidade (grupos de melhoria contínua), troca rápida de ferramentas (*setup* de ferramentas sendo realizadas rapidamente), *poka-yoke* (dispositivos para evitar falhas no processo), 5S (filosofia de limpeza, organização e disciplina para todos), TPM (prevenção para evitar quebras de máquinas) e *kanban* (cartões para organizar o a produção na fábrica). (SHINGO, 1996).

Através da busca da eliminação de perdas e de ferramentas de STP, busca-se melhorias nos processos.

2.2 Melhorias

Todos os processos e operações, mesmo quando são bem planejados e controlados, não permanecem estáticos no tempo; toda operação tem como melhorar. Entretanto, para melhorar os processos, o gerente ou responsável pelos processos e operações tem que conhecer o atual estado do seu processo, para ter a possibilidade de quantificar melhorias no mesmo através da comparação de medidas de desempenho (SLACK *et al.*, 2007). Para aprimorar os processos é preciso ter medidas de desempenho que permitam comparar o *status* inicial do processo e, através da melhoria contínua, verificar como o processo evoluiu. Cabe destacar que se deve buscar na melhoria uma evolução geral dessas medidas de desempenho. Em muitas empresas, só se buscam melhorias em algumas atividades, focalizando uma ou outra medida de desempenho, sem procurar saber como essa melhoria interfere em outros sistemas do processo (MESQUITA; ALLIPRANDINI, 2003).

Pode se atuar sobre duas maneiras: uma com a melhoria do produto, através da Engenharia do Valor, e outra através dos métodos de produção do ponto de vista da engenharia de produção. A segunda maneira, a busca por melhoria nos métodos, vem

responder sobre o modo como a fabricação de um produto pode ser desenvolvida. A resposta é: eliminando ou melhorando operações que não agregam valor ao produto e reduzindo transportes ou movimentação de materiais. Com relação aos transportes, é possível utilizar empilhadeiras, correias transportadoras e calhas que aumentem a velocidade, porém mantendo as distâncias de movimentação igual. Mas, ganhos reais são alcançados eliminando funções de transporte ao máximo, melhorando a eficiência da produção com o aprimoramento do *layout* dos processos. Transportes só aumentam os custos nunca agregam valor e podem corresponder a até 45% do custo com mão-de-obra. Mesmo quando o transporte é mecanizado, só há a transferência de mão de obra para a máquina. Para diminuir o transporte devem ser consideradas alterações de *layout*, por exemplo, através de processos sucessivos colocados lado a lado. Tais alterações podem reduzir tanto o tempo de ciclo, como o número de horas-homem trabalhadas. (SHINGO, 1996).

2.3 Mapeamento de fluxo de valor

Para Rother e Shook (2003), mapeamento de fluxo de valor é uma ferramenta que utiliza lápis e papel para auxiliar a enxergar e entender o fluxo de material e informações na medida em que o produto segue seu fluxo de valor. Complementando, para Roldan e Miyake (2004), o mapeamento de fluxo de valor é uma ferramenta que busca auxiliar a implantação da manufatura enxuta, mapeando o processo produtivo (Mapa do Estado Atual), focalizando aquilo que o cliente final quer, identificando desperdícios, propondo melhorias no fluxo e, por fim, aprimorando o processo.

2.3.1 Mapa do estado atual

Inicia-se com o mapeamento do estado atual do processo. Neste, identificam-se as atividades, quem as realiza e os tempos de processamento e de espera incorridos, tanto durante a atividade, quanto entre as atividades. Utilizam-se símbolos ou ícones para representar os processos e os fluxos. Ainda, diz-se que a organização pode desenvolver os próprios símbolos, desde que mantenha a consistência dentro da empresa e que todos na organização saibam o significado deles. Após desenhar o mapa de fluxo atual da empresa, devem-se procurar as fontes de desperdício, ou seja, processos que não agregam valor ao cliente, e implantar um fluxo de valor num estado futuro, que pode se tornar uma realidade num pequeno espaço de tempo (ROTHER; SHOOK, 2003). Roldan e Miyake (2004) sugerem que nessa fase sejam chamados integrantes de diversos setores, para analisar o que poderia ser

economizado ou descartado, partindo então para um estado futuro, não existindo uma resposta única para a solução do problema.

2.3.2 Mapa do estado futuro

Depois de identificados os desperdícios, eles devem ser analisados para se buscar propostas de melhoria para eliminá-los, chegando numa proposta de mapa de estado futuro. As propostas de melhoria devem focar principalmente as atividades Sem Valor Agregado (SVA). Esse mapeamento traz soluções tanto em setores que utilizem processos, principalmente no setor de manufatura, quanto em outros processos, como o *forecast* numa indústria, onde se mapeou o fluxo de valor e se identificou desperdícios como esperas, áreas de gargalo, múltiplas interações entre áreas, retrabalho, comunicação deficiente, e, através da melhoria, aumentou o valor agregado do produto (ROLDAN;MIYAKE, 2004). Salgado *et al.* (2009) mapearam o fluxo para o processo de desenvolvimento de produtos (PDP) e conseguiram redução sobre o *lead time* e aumento da eficiência. Também foram obtidos resultados de identificação de desperdícios em processos administrativos.

2.4 Manufatura celular

A manufatura celular apóia-se no conceito de célula, onde estações de trabalho e pessoas estão próximas para processar um produto ou uma família de produtos (HYER;WEMMERLÖW, 2002). A célula é composta por equipamentos distintos, agrupados de acordo com a necessidade de seqüência de processamento (BRAGHIROLLI, 2009). Preferencialmente, os equipamentos na célula devem ser de fácil movimentação entre eles, permitindo rearranjos quando necessário. A célula em formato de “U“ reduz a movimentação dos trabalhadores, favorece o controle e permite um fluxo estável, mantendo o estoque intermediário constante (HYER; WEMMERLÖW, 2002). Além disso, os equipamentos nesse formato permitem a flexibilidade de aumentar e reduzir o número de operadores, de acordo com a variação da demanda (MONDEN, 1984).

2.4.1 *Layout* “U”

A célula em formato em “U” é uma das particularidades da manufatura celular. *Layout* em “U” é quando as máquinas e estações de trabalho são arranjadas em forma de “U”, utilizando a sequência das operações de acordo como roteiro de produção promovendo uma melhor comunicação entre trabalhadores, permitindo que esses desempenhem diferentes operações, facilitando balanceamento de produção usando auxílio visual e auxiliando a

aproximação da equipe de operadores, o que facilita a resolução de problemas (MILTENBURG, 1998; MILTENBURG, 2001a). O *layout* tipo “U” pode ser mais facilmente adaptado a mudanças, com redução do número de operadores alocados nos postos de trabalho e do tempo de ciclo, se comparado ao *layout* linear. A implantação de *layout* em “U”, busca entre outras coisas, a redução de distâncias de transportes e produtos, redução do ciclo de produção, redução de homem-hora de transporte, melhoria da movimentação do operador dentro da célula, melhor eficiência do operador, diminuição dos estoques intermediários e possibilidade da busca da produção contra pedido. Essa redução também foi possível através da utilização da entrega dos componentes nos lugares certos. (FOGLIATTO; LEMOS, 2003).

Para Miltenburg e Wijngaard (1994) outra característica do *layout* em “U” é que o número de estações é menor do que nas linhas tradicionais devido ao fato de permitir um maior agrupamento de tarefas. Com agrupamento de tarefas diminui o tamanho da célula de produção, como também o deslocamento dentro da célula, podendo aumentar eficiência, aumentando a utilização da mão-de-obra.

2.5 Utilização da mão-de-obra

Monden (1984) afirma que o *layout* em “U” facilita a flexibilidade do número de operadores de acordo com a demanda. Essa é uma das diversas características da manufatura celular: a flexibilidade em ajustar a produção à variação da demanda do cliente .Essa característica se deriva de três fatores para o atendimento da demanda: um *layout* adequado dos equipamentos (melhor se for utilizado o formato em U para facilitar uma variação no número de operadores), operadores multifuncionais e revisão das rotinas de operação (MONDEN,1984). A flexibilidade do número de operadores em uma célula segue uma linearidade, o que equivale a dizer que, se dois operadores produzem 50 peças em uma hora de produção dentro da célula de manufatura, um operador iria produzir a metade em uma hora de produção, ou seja, 25 peças por hora e três operadores em uma hora deveriam produzir 75 peças em uma hora de produção. Entretanto, isso é afirmado no campo teórico. Em muitos casos práticos não se consegue estabelecer essa linearidade. Isso se deve a três fontes de não-linearidade: i) desbalanceamento de operadores; ii) relação do tempo de operador e tempo de ciclo automático dos equipamentos e iii) a alteração nos deslocamentos (BRAGHIROLLI, 2009). Esses fatores que influenciam na não-lineriedade da mão-de-obra em relação à produção são muito comums, principalmente o desbalanceamento de operadores. Para Shingo (1996), balancear significa que quantidades iguais são produzidas em cada processo; isso envolve equilibrar as quantidades de produção e quantidade do posto. Já. para Slack *et at.*,

balancear significa utilizar um projeto detalhado para garantir uma alocação prudente de trabalho em cada processo. Então, não se pode reduzir ou aumentar o número de operadores somente de acordo com a variação de demanda. Deve-se rearranjar essa relação de operadores e demanda de modo que os recursos não sejam sobrecarregados (SOUZA; PIRES, 1999).

2.6 Simulação

2.6.1 Definição e modelos

Segundo Santoro e Moraes (2000) *apud* Pritsker (1986), simulação de sistemas é o processo de se construir um modelo lógico-matemático de um sistema real e de experimentá-lo, normalmente com auxílio de um computador. Para a produção, o benefício geral de se aplicar a simulação é que permite ao engenheiro ou gerente aplicar uma visão sistêmica dos efeitos de alterações locais sobre o desempenho global do sistema de produção. A simulação auxilia também, na produção, em dimensionamento de recursos físicos e de mão-de-obra, em determinação de capacidade de produção e do tempo de ciclo, na identificação de gargalos e, por último, nas decisões operacionais (LAW; KELTON, 1991).

Braghirolli (2009), tomando como referência Law (2007) e em Banks, Carson e Nelson (1996), classificou os modelos de simulação em três dimensões:

a) Modelos de simulação estático e dinâmicos: quando o modelo representa um sistema que não se altera com o tempo, o modelo é estático, e, quando o tempo interfere, é dinâmico.

b) Modelo de simulação determinístico e estocástico: modelo que não tem nenhum elemento probabilístico é chamado determinístico, mas se o modelo contém incertezas é chamado de estocástico.

c) Modelo de simulação contínuo e discreto: quando mudanças no estado do modelo ocorrem instantaneamente e em momentos específicos no tempo, é um modelo discreto, mas se estas mudanças ocorrem a todo instante, e de forma contínua no tempo o modelo é chamado contínuo.

2.6.2 Implantação de modelos

Braghirolli (2009) diz que para um estudo de simulação seja bem sucedido, devem-se utilizar critérios. Braghirolli (2009) e Law (2007) utilizaram a seguinte estrutura para simulação: i) Primeiro passo: formular o problema e planejar o estudo; ii) Segundo passo: coletar dados e definir modelo conceitual; iii) Terceiro passo: validação do modelo conceitual; iv) Quarto passo: construir o programa computacional e verificar; v) Quinto passo:

realizar rodadas de teste; vi) Sexto passo: validar o modelo programado; vii) Sétimo passo: projetar os experimentos; viii) Oitavo passo: realizar as rodadas válidas; ix) Nono passo: analisar os dados de saída e x) Décimo Passo: documentar, apresentar e utilizar os resultados.

2.6.3 Aplicação de simulação para estudos em células

Para traduzir um modelo conceitual em modelo programado pode ser usado uma linguagem de programação (Pascal, Java e C++), linguagem de simulação (GPPS) ou ainda *software* de simulação (ProModel, Arena) (BRAGHIROLLI, 2009 apud LAW, 2007). Para seu estudo de caso, Santoro e Moraes (2000) utilizaram o *software* de simulação Arena por recomendação de especialistas e utilizando duas medidas de desempenho fornecidas pelo software: capacidade de produção, representada pelo volume de produção por período de tempo e o segundo tempo de ciclo, representado pela velocidade da produção. Utilizando tempos de ciclo de operação e capacidade como dados de entrada descobriu-se o valor ótimo de capacidade da célula e com a vantagem de utilizar 90% da capacidade célula. Também utilizando o software Arena, Almeida *et al*. (2006) balancearam células de produção numa fábrica de calçados. Utilizando os tempos de ciclo de operação como dados de entrada, analisou os índices de eficiência da célula e através de estudo taxa de ocupação dos recursos e tamanho de fila identificou gargalos e sugeriu um balanceamento, ganhando em capacidade de produção. No estudo de Braghirolli (2009), para verificar a lineariedade da mão-de-obra em células de manufatura foi utilizado simulação para criar cenários alternativos, buscando ver se com o aumento do número de operadores a produção aumentava linearmente. Entretanto, foi visto que a medida de desempenho de ocupação do operador ficou muito elevada, e o modelo de simulação não previa o desgaste físico do operador, comprovando a não-lineariedade da mão-de-obra, por motivos discutidos anteriormente.

3. Procedimentos metodológicos

Para alcançar o objetivo de identificar formas de aumentar a utilização da mão-de-obra através da implantação de células de manufatura, foi realizada uma pesquisa-ação cujos passos são descritos a seguir.

3.1 Caracterização da empresa

A empresa onde foi desenvolvido o estudo é uma multinacional francesa líder de mercado, que tem como produtos diversos componentes automotivos. A unidade onde foi realizado o estudo fica localizada na região sul do país, cujos atuais produtos são gerenciadores de motores, eletroválvulas e sensores de velocidade, tendo como clientes o mercado interno e externo. A empresa utiliza células de montagem tanto multi-modelos como células de fabricação de modelos únicos e está disposta a um estudo para troca de *layout*. Sensores de velocidade fazem a interface do motor, fornecendo uma freqüência de acordo com a velocidade do veículo. A partir dessa freqüência, todos os dispositivos que dependem da informação da velocidade do veículo são acionados. Eletroválvulas atuam no motor do carro para gerenciar o consumo de combustível do veículo, transferindo indicadores de média de consumo do carro, por exemplo.

3.2 Determinação do produto a ser estudado

O produto escolhido para o estudo foi um sensor de velocidade, o sensor FIAT 5068. O estudo sobre esta célula de produção se justificou devido a este sensor ser o produto de maior faturamento da unidade, em torno de 35% do faturamento mensal da empresa, além de ter o segundo maior volume de produção diária, em torno de 3500 peças ao dia. Também se justificou devido ao produto ter tido uma mudança na engenharia, introduzindo uma operação a mais e um operador a mais, aumentando o custo do produto sem agregar valor para o cliente.

3.3 Classificação do estudo

Pela facilidade do pesquisador em acesso aos dados dos processos, além do envolvimento no desenvolvimento das ações para mudança no processo, o procedimento utilizado foi pesquisa-ação, que se caracteriza pelo pesquisador e o pesquisado atuando junto na solução do problema proposto(GIL, 1999). A pesquisa-ação fornece aos pesquisadores e outros envolvidos meios para responder com maior segurança e conhecimento aos problemas em cenários que vivem , em particular sob a ação transformadora (THIOLLENT, 1998). O próprio pesquisador coletou as métricas necessárias para a pesquisa, que teve objetivo explicativo; buscou-se coletar dados que identificassem o porquê da ocorrência de um determinado fenômeno e tomar decisões a partir dos dados coletados e estudados. Forma

utilizados tanto dados quantitativos (indicadores coletados), como também qualitativos, através de entrevistas.

3.4 Mapeamento e modelagem da produção antes da introdução das células

Para o mapeamento do processo foi necessário primeiramente formular o problema do estudo. Nesta etapa o pesquisador definiu o problema através de um *brainstorming* com os responsáveis dos setores de Qualidade, Engenharia, Logística e Métodos & Processos da empresa e analisando indicadores industriais da célula que será realizada o estudo. Esses indicadores refletem a produtividade da célula. Depois de definido o problema foi necessário entender o processo e definir as operações. Isso foi realizado através da observação do processo, entrevista com os operadores e com o coordenador de produção que descreveram o processo juntamente com a validação das operações pelo setor de Métodos & Processos da empresa. Ao final disso foi analisada a folha de instrução de fabricação do produto, para verificar se todos os processos de fabricação haviam sido contemplados.

3.5 Mapeamento de fluxo de valor do estado atual

Para formalizar o processo, foi utilizada a ferramenta de mapeamento de fluxo de valor atual, proposta por Rother e Shook (2003). A ferramenta de mapeamento foi escolhida por ser de fácil entendimento demonstrando claramente as etapas do processo, quem as realiza, tempos, e tempo de ciclo de cada posto. Nessa etapa foi necessário seguir o fluxo do material para a fabricação deste a programação da produção até saída do produto pronto para o cliente, observando e anotando os postos de trabalho, e como já foi dito, através de entrevistas e observação foi definido os processos. Para o mapeamento de fluxo valor atual, foi necessário obter dados de tempo de ciclo de operação, tempo disponível, demanda do cliente, estoques de produtos, distância percorrida pelos componentes, número de operadores em cada posto e *takt time* da célula. O modo como foram obtidos esses dados será explicado na seção 3.6.2 do presente artigo.

3.6 Simulação situação atual

Para a etapa de simulação foi utilizado o método proposto de Law (2007) que também foi utilizado por Braghirolli (2009). Essa estrutura é composta de dez passos descritos abaixo.

3.6.1 Primeiro passo da simulação: formular o problema e planejar o estudo

Como foi citado o problema foi definido através de entrevista com todos os responsáveis dos setores da empresa envolvidos na fabricação do produto, *brainstorming* e indicadores de produtividade.

3.6.2 Segundo passo da simulação: coletar dados e definir modelo conceitual

O modelo conceitual foi o processo mapeado no mapeamento de fluxo de valor atual. Os dados necessários foram obtidos entre vários setores da empresa. Os tempos de ciclo das operações foram obtidos pelo setor de cronoanálise da empresa. Através de uma folha de coleta padrão, vinte tomadas de tempo de cada operação foram coletadas. Utilizando a média dos dados coletados, foi definido o tempo de ciclo da operação. Essa média será multiplicada por 1.15, pois a empresa utiliza como padrão eficiência de 85 % para cada operação. O tempo disponível foi definido pelo responsável pelo sistema de produção da empresa. Nessa etapa foram identificadas paradas padrão da célula e seus referentes tempos. Os tempos dessas paradas padrão foram retiradas do tempo disponível da célula e assim definido o tempo disponível para produção. A distância percorrida pelos materiais dentro da planta foram coletadas pelo responsável de sistema de produção da empresa. Foi utilizada uma trena digital para essa coleta de distância, observando o material se deslocando pela planta até se tornar o produto acabado. A demanda do cliente foi obtida através do setor de logística da empresa, através do plano mestre de produção da empresa, que prevê a demanda diária necessário do cliente. O *takt time* foi obtido dividindo o tempo disponível pela demanda assim descobrindo em quanto tempo deve sair uma peça da célula para atender a demanda do cliente. O *lead time* será definido pelo tempo que um produto demora para ser fabricado, movendo-se por todo o processo produtivo, ou um fluxo de valor, desde o começo até o fim.

3.6.3 Terceiro passo da simulação: validação do modelo conceitual

A validação deve ser realizada para ver se o modelo conceitual está coerente com as operações da célula e a seqüência em que elas são realizadas. O pesquisador comparou as operações obtidas no mapeamento de fluxo de valor atual com as instruções de fabricação, que contém todas as etapas da fabricação, modo correto de fabricação, como também a seqüência delas, confeccionadas pelo setor de Métodos & Processos da empresa. Se estiverem coerentes, será considerado validado o modelo.

3.6.4 Quarto passo da simulação: construir o programa computacional e verificar

O software de simulação escolhido e utilizado pelo pesquisador foi o Arena 7.0, pela facilidade de acesso ao software, facilidade de uso e ter estudos de simulação realizados nessa plataforma.

3.6.5 Quinto passo da simulação: realizar rodada de teste

Nessa etapa o pesquisador realizou-se rodadas no programa computacional e verificou se o programa operou sem apresentar erros na sua lógica.

3.6.6 Sexto passo da simulação: validar o modelo programado

Para a validação do modelo programado o pesquisador apresentou o modelo para o setor de métodos e processos e verificou os dados de saída do programa se estão coerentes com os dados de entrada das operações através de uma análise quantitativa dos resultados de taxa de ocupação das operações e com o tamanho de fila entre elas.

3.6.7 Sétimo passo da simulação: projetar os experimentos

Nessa etapa o pesquisador definiu os parâmetros em que o modelo deve ser realizado, os tempos de ciclo das operações, tempo de espera do processamento, o número de repetições do modelo. Os tempos de ciclo utilizados foram os dados coletados na etapa 3.4.1. O tempo de espera entre os postos foram a diferença de tempo entre as operações em seqüência. A duração da rodada foi definida como a demanda diária do produto. Foi considerado que não há estoque no início do turno, ou seja, não tem estoque em processo no início do turno.

3.6.8 Oitavo Passo da Simulação: Realizar as Rodadas Válidas

Nessa etapa o pesquisador forneceu ao programa os dados coletados na etapa 3.4.1 referentes a produção do produto em estudo.

3.6.9 Nono passo da simulação: analisar os dados de saída

Os dados de saída analisados foram à taxa de ocupação e taxa de fila de cada modelo, estoques intermediários, buscando identificar o gargalo do processo, operações que podem ter tarefas agregadas e possíveis melhorias do processo.

3.6.10 Décimo passo da simulação: documentar, apresentar e utilizar os resultados

Os dados de saída do programa foram utilizados para analisar as operações e onde tem possibilidade de melhoria de fluxo, analisando as taxas de ocupações dos diversos postos de trabalho, buscando baixas taxas de utilização para buscar agregar novas tarefas onde fosse possível.

3.7 Mapeamento de fluxo de valor do estado futuro

Após o mapeamento de fluxo de valor atual da célula, foi necessário fazer o mapeamento de fluxo de valor futuro, cenário que se quer alcançar com as melhorias. Através das melhorias buscou-se reduzir principalmente o número de operadores, problema que originou o estudo. Essa redução foi buscada com as melhoria, buscando-se reduzir um operador na linha, aumentar a taxa de ocupação dos postos de trabalho, reduzir o *lead time* e as distâncias de movimentação, assim como o tempo de movimentação de materiais, pela mudança de layout.

3.8 Simulação com proposta de melhorias

Tendo como base o cenário fornecido pelo mapa de fluxo de valor futuro, foi realizado uma nova simulação no Arena, para demonstrar a taxa de ocupação que cada posto teria, após a redução de um operador, diminuição do *lead time*. Foi realizada a simulação partindo do sétimo passo da simulação. Foi necessária essa nova simulação para convencimento da diretoria da empresa a realizar investimento nas melhorias propostas.

3.9 Melhorias no processo

Analisando os dados de saída do mapeamento de fluxo e da simulação o pesquisador propôs melhorias, buscando eliminar desperdícios, focando principalmente melhorias de movimentação, eliminando deslocamentos de materiais e de operadores desnecessários. As melhorias de movimentação foram implantadas principalmente através de uma mudança de *layout* e adoção de dispositivos para facilitar a movimentação de material dentro do processo. Outra melhoria proposta foi em relação ao balanceamento das operações. Essa melhoria foi implantada através da adoção da célula em “U”. Utilizou-se um projeto realizado no software gráfico Autocad 2010 LT, que permite visualizar o posicionamento dos postos de trabalho, antes de realizá-los. Foram propostas melhorias nos postos de trabalho, para que fosse

possível agregar tarefas nos postos em que foi verificado através da simulação no Arena que a ocupação do posto for menor que os demais postos, mas sem sobrecarregar o operador. Cada proposta de melhoria foi descrita pelo pesquisador e validada pelo setor de Métodos e Processos, Qualidade, Engenharia e Diretoria. As propostas de melhorias que forem validadas serão implantadas pelo pesquisador, junto com empresas terceirizadas.

3.10 Coleta de novos indicadores e simulação após melhorias realizadas

Para avaliar os impactos das propostas de melhoria no processo, foi necessário coletar os novos dados de tempo de ciclo de operação, tempo disponível, demanda do cliente, estoques dos produtos, distância percorrida pelos componentes, *takt time* da célula e *lead time* da célula. O procedimento foi igual à descrição da seção 3.6.2. Após coletados os novos dados da célula, os indicadores foram comparado com o mapa de fluxo de valor do estado atual para verificar se houve melhoria nos valores demonstrados na ferramenta de mapeamento de fluxo de valor. Junto com essa nova coleta de indicadores foi realizada uma simulação em Arena do estado futura da célula de produção, partindo do sétimo passo em diante, conforme a proposta de Law (2007), citada anteriormente. Seguindo esses passos, e comparando os dados de saída do programa com os dados da simulação com propostas de melhoria para verificar se as taxas de ocupação dos postos estavam parecidas com a simulação anterior.

Depois de obtidos os resultados, houve a apresentação deles e as conclusões do estudo e propostas para estudos futuros.

4. Resultados e discussões

Os resultados e conclusões foram retirados do estudo sobre a célula que produz sensores de velocidade 5068.

4.1 Formulação de problema e mapeamento de fluxo de valor atual da célula

A célula de Sensor de Velocidade 5068 era composta de 10 operações sendo realizadas por 9 operadores. Os tempos de cada operação não eram balanceados, e a produção da célula não era puxada (o posto seguinte definia quanto o posto anterior deveria produzir). Desta forma cada posto produzia toda a capacidade possível e as ordens de produção eram mandadas para todas as operações gerando estoques intermediários representado pelo símbolo △ como se pode ver no Mapeamento de Fluxo Valor Atual da Célula (figura 1).

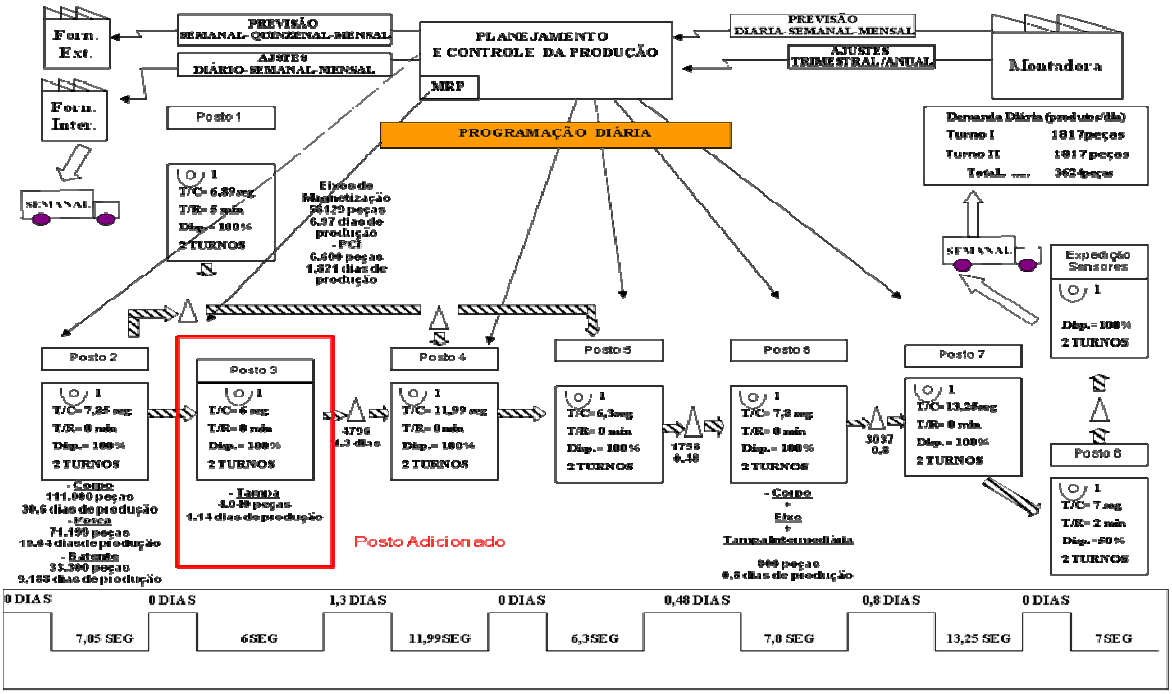

Figura1 – Mapeamento de fluxo de valor atual da célula Sensor de Velocidade 5068

Os tempos de operações descritos no Mapeamento de Fluxo Atual (figura 1) foram obtidos através da coleta de 20 tempos de operação. Uma vez que a variabilidade dos tempos foi pequena, foi escolhida a média dos tempos como o tempo padrão de cada operação. A situação problema foi a adição da operação de posto 3 que elevou o número de operadores de 8 operadores para 9 operadores elevando o custo da peça em 11,1 % por peça produzida. O valor na produção anual gerava uma diferença significativa nos custos da célula.

4.2 *Layout* atual célula do sensor de velocidade 5068

Para a realização da troca e melhoria de *layout* foi necessário primeiramente coletar as métricas de todos os postos de trabalho e a distância percorrida pela peça dentro da fábrica. Havia facilidade da coleta dessas métricas, pelas bancadas serem retangulares. Após coletar essas métricas foi necessário desenhar a célula no software gráfico Autocad 2010 LT (figura 2) para verificar a atual situação da célula, a distância que o material se deslocava até chegar na célula e dimensionar o futuro *layout* da célula.

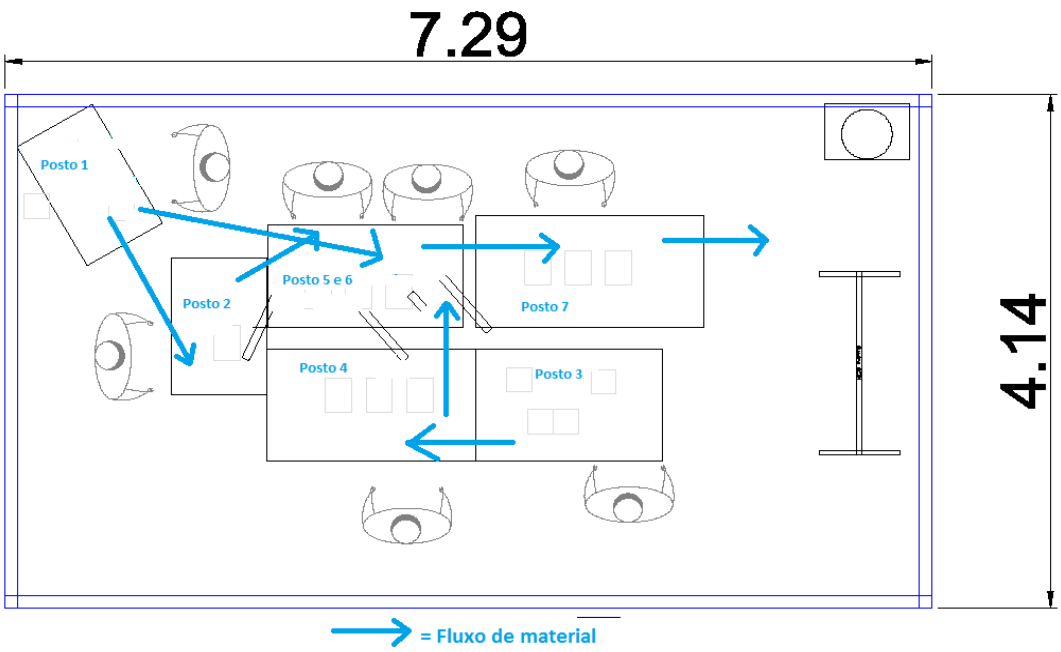

Figura 2 – *Layout* atual, com operadores e fluxo de produção

Como se pode ver na figura 2 a célula de produção tinha um fluxo cruzado de material, e uma dificuldade para alimentar os postos sem interferência para o operador. O material circulava pela célula através de calhas de acrílico. O deslocamento de material do almoxarifado até a célula era de 117 metros.

4.3 Simulação da situação atual da célula

A simulação foi realizada no software Arena. Em cada operação foram utilizados os tempos de média que aparecem na figura 1. Na simulação buscou-se simplesmente a taxa de ocupação de cada operação. As simulações realizadas com o pacote Arena foram realizadas de acordo com a metodologia proposta. Como uma apresentação detalhada da simulação não é o escopo do trabalho, somente foi mostrado os dados de saída do software, através da taxa de ocupação da célula. A célula deveria produzir 257 peças por hora (considerado como número de repetições) para atender a meta diária da montadora de 3624 peças. É necessário verificar a disponibilidade de cada operação para se descobrir a taxa de ocupação. Após realizadas as simulação foram constatadas as taxas de ocupação de cada posto (tabela 1).

	Tempo / operação	Disponibilidade	Produção possível	Taxa de ocupação
Posto 1	6,89	50%	261,248186	99%
Posto 2	7,85	100%	458,598726	56%
Posto 5	6,3	100%	571,428571	45%
Posto 6	7,8	100%	461,538462	56%
Posto 3	6	100%	600	43%
Posto 4	11,99	100%	300,250209	86%
Posto 7	13,25	100%	271,698113	95%
Posto 8	5	50%	360	72%

Tabela 1 – Taxa de ocupação dos postos da célula antes das melhorias

Conforme mostra os resultados as operações do posto 1 e posto 7 tem taxa de ocupação elevadas, não podendo ter tarefas agregadas. No restante poderiam ser realizadas modificações para agregar tarefas.

4.4 Mapeamento do fluxo de valor futuro

Através das propostas de melhoria, buscou-se o mapa de fluxo de valor sugerido (figura 3). O objetivo das melhorias foi a redução do número de operadores, dos 9 atuais voltando para os 8, voltando o custo de fabricação da peça ao valor original. Com essas mudanças buscou-se reduzir o *lead time* da célula de 2,58 dias para 2,08 dias. As melhorias que foram realizadas foi a união do posto 3 e 4, podendo a operação ser realizada pelo mesmo operador.

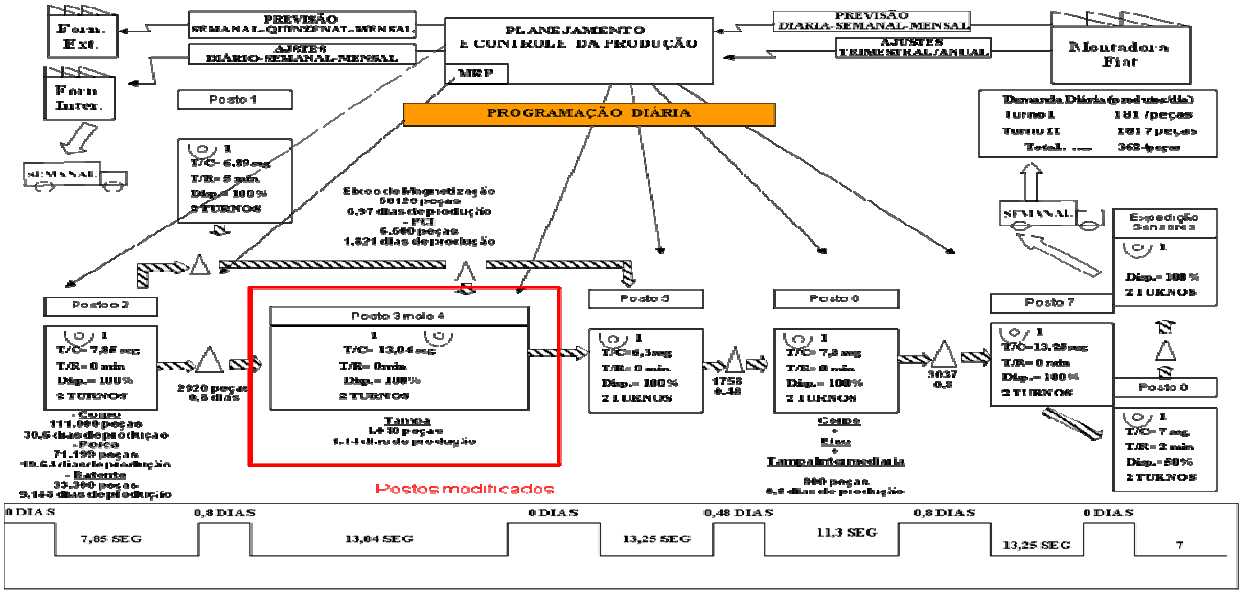

Figura 3 – Mapa de fluxo de valor do estado futuro

4.5 Simulação com proposta de melhorias

Utilizando o software de simulação Arena, calcularam-se as novas taxas de ocupação (tabela 2). Em cada posto o tempo de ciclo utilizado foram os tempos propostos no mapa de fluxo de valor futuro. Analisando as taxas de ocupação, verificou-se se as taxas de ocupação não passariam os 100 %, atendendo a demanda do cliente de 3624 peças por dia. Essa simulação foi utilizada para convencer a diretoria que as melhorias poderiam reduzir o número de operadores, sem afetar o cliente, conseguindo a verba necessária para as melhorias.

	Tempo / operação	Disponibilidade	Produção possível	Taxa de ocupação
Posto 1	6,89	50%	261,2482	99%
Posto 2	7,85	100%	458,5987	56%
Posto 5	6,3	100%	571,4286	45%
Posto 6	7,8	100%	461,5385	56%
Posto 3 mais posto 4	13,04	100%	276,0736	93%
Posto 7	13,25	100%	271,6981	95%
Posto 8	5	50%	360	72%

Tabela 2 – Taxa de ocupação dos postos da célula com propostas de melhoria

4.6 Melhoria no processo

Após ter mapeado o fluxo de valor do estado atual, deveria se buscar fazer melhorias no processo que poderiam ser de fácil implantação buscando atingir o mapa de fluxo de valor do estado futuro.

4.6.1 *Layout* futuro

Partindo das dimensões das bancadas do *layout* atual, simularam-se situações no Autocad buscando encaixar a célula de forma a melhorar o fluxo do material, e adequando a célula para que fosse possível agregar tarefas para um operador realizar duas operações ao mesmo tempo. Havia uma restrição de espaço, não podendo a célula ter mais de 4 metros de largura e 7 metros de comprimento, ainda tendo que ser colocada no formato de “U”. Para resolver o problema, foram retiradas da célula as bancadas do posto 3 e do posto 4, que foram utilizados para formar uma célula auxiliar, que alimenta o posto 5, sem interferir no fluxo da célula, possibilitando colocar as demais bancadas no formato desejado (figura 3) e melhorando os fluxos de material dentro da célula. O formato de “U” possibilitou que os 4 metros de comprimento fossem atendidos, devido aos operadores ficarem na parte interna da célula. A troca de *layout* não foi somente das bancadas, mas sim da célula como um todo.

Pela célula ter uma produção muito significativa, teve-se a preocupação de aproximar a célula o máximo possível do almoxarifado, tendo uma redução da movimentação do material de 117 metros para 52 metros.

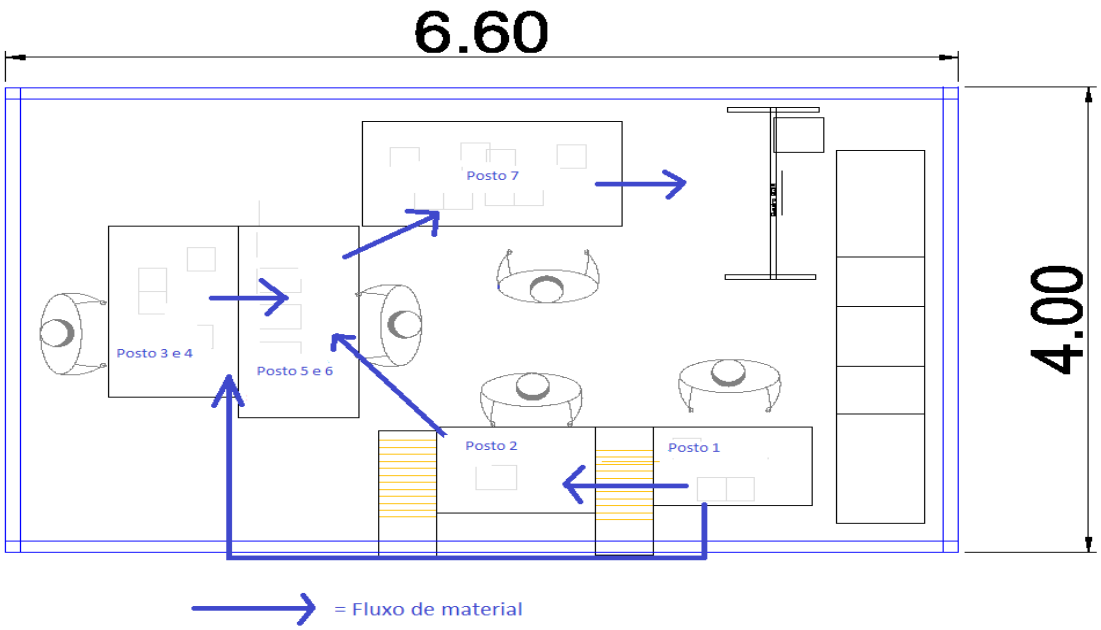

Figura 3 – *Layout* futuro, com operadores

4.6.2 Melhoria no processo

Como já foi visto nas taxas de ocupação, todos os postos de trabalho poderiam ter operações agregadas, com exceção do posto 1 e posto 7, que já tinham taxa de ocupação elevadas. O principal foco era tentar eliminar a operação de posto 3, que originou o estudo por ter elevado o custo da peça. Analisando a operação foi possível identificar operações comuns entre o posto 3 e posto 4. Em ambos o operador posicionava a peça em uma base para realizar a operação. No posto 3, acontecia o remanche de forma automática (fixação do PCI (CHIPS) na peça), fazendo com o operador esperasse o tempo de ciclo da máquina. A operação do posto 4 de forma manual, onde o operador colocava a peça numa base semelhante ao do remanche e soldava manualmente 4 PCI (CHIPS) nas peças simultaneamente. A melhoria foi criar um posto de trabalho onde a mesma base seria usada para ambas as operações. Em vez de 4 bases, foram confeccionadas 6 bases. Dessa forma, o operador abastecia as bases. Estas bases eram conduzidas ao remanche (realizado automaticamente) para, em seguida, realizar as soldas manuais do PCI (CHIPS).

Outra proposta de melhoria foi unir os postos 5 e posto 6. Em ambas as soldas o operador alimentava com peças e acionava a soldas através de bimanuais (dispositivos para segurança acionados pelas mãos simultaneamente). Foi reduzido o tempo de solda sem

interferência na qualidade da solda e criados dispositivos de segurança que impediam a solda ser acionada com o operador numa área imprópria. Foram utilizadas barreiras ópticas para isso, que impediam o operador de colocar as mãos durante o processo. Caso os operadores ultrapassassem com as mãos a área delimitada pela barreira, a solda US (ultrasônica) na funcionava.

4.7 Coleta de novos indicadores e simulação após melhorias realizadas

Quando essas melhorias foram realizadas novas tomadas de tempos de operação para calcular as taxas de ocupação no ARENA. Os resultados são apresentados na tabela 3.

	Tempo / operação	Disponibilidade	Produção possível	Taxa de ocupação
Posto 1	6,89	50%	261,2482	99%
Posto 2	7,85	100%	458,5987	56%
Posto 5 mais posto 6	11,7	100%	307,6923	84%
Posto 3 mais posto 4	11,5	100%	302,525	85%
Posto 7	13,25	100%	271,6981	95%
Posto 8	5	50%	360	72%

Tabela 3 – Taxa de ocupação dos postos após melhorias

Como se pode verificar as melhorias aumentaram as taxas de ocupação dos postos, entretanto essas taxas de ocupação não ultrapassaram a taxa de ocupação do posto 7, que era o posto mais demorado, com a taxa de ocupação mais alta, que podia comprometer a não realização da meta diária. Dessa forma foi atendida a demanda do cliente.

Com as melhorias houve redução de 9 operadores para 7 operadores na célula, acaretando uma redução de 22,2 % no custo da peça. O custo da peça ficou menor que o original.

O *lead time* da célula com as mudanças caíram de 2,58 dias para 1,48 dia, por causa da redução dos estoques intermediários.

A movimentação de material caiu de 117 metros para 52 metros.

5. Conclusões

O presente trabalho buscou na literatura estudos feitos sobre utilização de *layout* em formatos de “U”. Através de simulações buscou-se adotar esse novo *layout* e buscar as vantagens que esse novo *layout* poderia oferecer. Através da sua adoção foi possível

balancear as operações de uma célula de fabricação de sensores de velocidade e buscar o objetivo principal do trabalho, que foi de realizar melhorias na célula e buscar a redução do número de operadores necessários para produzir os sensores e conseqüente redução do custo de produção e aumento do lucro ao vender a peça.

Utilizando a ferramenta de mapeamento de fluxo de valor, foi possível mapear o processo de fabricação da peça, sendo possível visualizar mais facilmente os postos de trabalho, número de operadores utilizados em cada posto para realizar as operações, estoques intermediários. Partindo de um estado atual da célula, foi coletado indicadores de métrica de tempo de operação (média de vinte tomadas de tempo) e distância percorrida pelo material, para buscar simular melhorias na célula e analisar os impactos dessas mudanças antes de realizá-las, assim como a taxa de ocupação de cada posto. Depois de concluídas essas mudanças, foi realizada uma nova coleta de métricas de distância e tempo para analisar os efeitos das mudanças e um novo mapeamento de fluxo de valor da célula, verificando o novo número de operadores, o novo número de postos de trabalho para depois analisar a nova taxa de ocupação dos postos de trabalho.

O principal resultado das melhorias, foi a redução do número de operadores da célula de 9 operadores para 7 operadores, reduzindo o custo da peça em 22,2 %, resultado da junção dos postos, decorrentes da melhorias realizadas, como a junção dos postos 5 e 6 (solda de PCI e remanche) e sincronização e diminuição dos tempos de operação dos postos 3 e 4 (postos de solda, possibilitando serem realizadas pelo mesmo operador. A linearidade da mão-de-obra, que sugere que haja uma proporção de produção de acordo com o número de operadores da célula não foi atendida. A produção da célula continuou a mesma, mesmo com a redução do número de operadores. Isso ocorreu devido a duas das três fontes de não-lineariedade, que forambalanceamento de operadores e relação do tempo de operador e tempo de ciclo automático dos equipamentos.

A troca do lugar do *layout* da linha, tanto do seu formato, quanto do seu posicionamento dentro da fábrica, acarretou numa redução da movimentação do material de 117 metros para 52 metros. Como a produção diária da célula é a segunda maior da empresa, a célula foi aproximada do almoxarifado, reduzindo a movimentação dos materiais. A adoção do *layout* no formato em “U” trouxe facilidade de comunicação entre operadores e redução dos estoques intermediários. O lead time caiu de 2,58 dias para 1,48 dias devido a redução dos estoques intermediários.

A utilização de simulação em Arena foi restringida somente a obter taxa de ocupação dos postos, podendo fornecer outros dados para estudos futuros. Entretanto foi de grande

utilidade para convencimento dos envolvidos do sucesso das melhorias, sem afetar o cliente. Os mesmos resultados poderiam ser obtidos em outros softwares de simulação. Poderia ser obtidos também no Microsoft Office Excel, entretanto o convencimento seria dificultado. O software gráfico Autocad 2010 LT agregou mais ao trabalho, para simular como ficaria o novo *layout*, devido a restrições de espaço na planta e a mudança afetar todos os setores da empresa.

Através desses resultados deve-se buscar a implantação de melhoria de *layout* e redução de mão-de-obra em outras células da planta.

ALMEIDA et *al.*,; *Utilização da Simulação em ARENA 7.0 no Auxílio ao Balanceamento da Célula de Montagem de uma Fábrica de Calçados, XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Fortaleza, CE, 2006.*

ALVES, R.; SILVA, L.C.; SILVA, S.R.S; RODRIGUES, V.; LIMA, R.M.R; *Mudança do Arranjo Físico para Adequação da Capacidade Produtiva sob a Óptica da Produção Enxuta, XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção ,Rio de Janeiro, RJ, 2008.*

BARNES, R. M.; *Estudo de Movimentos e de Tempos*. 6ª ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1977.

BRAGHIROLLI, L.F.; *Estudo da Linearidade da Produção em Células da Manufatura Através de Simulação a Eventos Discretos Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGEP. Porto Alegre. Dissertação (Mestrado),* 2009.

CONCEIÇÃO, S.V.; Otimização *do Fluxo de Materiais Através da Manufatura Celular,* Revista Produção, v.15, n.2, p 235-250, agosto 2005.

DAVIS, M. M.; AQUILANO, N. J.; CHASE, R. B.; *Fundamentos da administração da produção.* 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

FERNANDES, F.C.F.; DALALIO, A.G.; *Balanceamento e Rebalanceamento de linhas de Montagem Operados pro Grupos de Trabalho Autogenciados, Revista* Gest. Prod., São Carlos, v.7, n.3, p 378-398, dezembro 2000.

GERHARDT, M.P.; FOGLIATO, F.S; CORTIMIGLIA, M.N.; *Metdologia para balanceamento de linhas de montagem multi-modelos em ambientes de cutomização em massa ,* Revista Gest. Prod., São Carlos, v. 14, n. 2, p267-279,agosto 2007.

GHINATO, P.; *Elementos para a Compreensão de Princípios Fundamentais do Sistema Toyota de Produção: "Automação" e "Zero Defeitos"*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGEP. Porto Alegre. Dissertação (Mestrado), 1994.

GIL, A.C. *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social*. 5.ed., São Paulo: Atlas, 1999.

GODINHO FILHO et *al.*,; *Estudo do efeito de programas de melhoria contínua em variáveis do chão de fábrica na relação entre tamanho de lote de produção e lead time,* Revista Gestão e Produção, v.17,n.1, p. 137-148, 2010.

GOMES, J.E.N.; OLIVEIRA, J.L.P.; ELIAS, S.J.B.; BARRETO, A.F.; ARAGÃO, R.L.; *Balanceamento de Linha de Montagem na Indústria Automotiva - Um Estudo de Caso, Produção Enxuta,* XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Rio de Janeiro, RJ, 2008.

HYER, N. ; WEMMERLÖV, U.; *Reorganizing the Factory*. New York: Productivity Press, 2002.

LAW, A.M; *Simulation Modeling and analysis. ed. 4, New York: McGraw-Hill, 2007.*

LAW, A.M; e KELTON W.D.;*Simulation Modeling and analysis. ed. 4, New York: McGraw-Hill, 1991.*

LEMOS, F.O; FOGLIATTO, F.S.*; Implantação de Layout Tipo "U" na Linha de Produção de uma Empresa de Pequeno Porte, XVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção,Ouro Preto,MG, 2003.*

LOPES et *al.*,; *Mapeamento de Fluxo de Valor como Ferramenta para Mudança de Sistema Produtivos, XI SIMPEP,* SIMPEP, Bauru, SP, 2004.

MILTENBURG, J; WIJNGAARD, J; The U-line balancing problem. *Management Science*. Vol. 40,p. 1378-1388, 1994.

MILTENBURG, J. (1998) - Balancing U-lines in a multiple U-line facility. *European Journal of Operational Research*. Vol.109, p. 1-23,1998.

MILTENBURG, J. (2001a) - U-shaped production lines: A review of theory and practice. *International Journal of Production Economics*. Vol. 70, p. 201-214,2001.

MILTENBURG, J. (2001b) - One-piece flow manufacturing on U-shaped production lines: a tutorial. *IIE Transactions*. Vol.33, p. 303-321, 2001.

MESQUITA, M; e ALLINPRADINI, D.H; *Competências essenciais para melhoria de produção: estudo de caso em empresa da industria de autopeças,* Revista Gestão e Produção, v.10, n.1, p. 17-33, 2003.

MONDEN, Y; *Sistema Toyota de Produção,* Instituto de Movimentação de Materiais, São Paulo. 1984.

OHNO, T. *O Sistema Toyota de produção – além da produção em larga escala*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1988.

ROTHER, M; SHOOK, JOHN; *Aprendendo a Enxergar – Mapeando o Fluxo de Valor para Agregar Valor e Eliminar o Desperdício, v1.3,* Lean Enterprise Institute, 2003.

ROLDAN, F; MIYAKE, D.I; *Mudanças de Forecast na Indústria Automobilística: Iniciativas para a Estruturação dos Processos de Tomada de Decisão e Processamento da Informação, Revista* Gest. Prod., São Carlos, v.11, n.3, p 413-427, dezembro 2004.

SANTORO, M.C; MORAES, L.H; *Simulação de Uma Linha de Montagem de Motores,* Revista Gest. Prod., São Carlos, v.7, n.2, p 338-351, dezembro 1999.

SHINGO, S. *O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia de Produção*. 2. ed., Porto Alegre: Bookmark, 1996.

SIMÕES, A.L.P; COSTA, C.M; LEMOS, F.O.; *Aprimoramento de Layout Produtivo como Habilitador de Eliminação de perdas: Estudo de Caso em uma Célula com Layout de Montagem com Layout em "U".* XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção ,Foz do Iguaçu, PR, 2007.

SLACK et al.; *Administração da produção.* São Paulo: Atlas, 2007.

SOARES, J.P.M; JARDIN, S.B; LEMOS, F.O. *Proposta para Racionalização de Recursos em Células de Manufatura: Estudo em Caso em uma Empresa Automotiva.* XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção ,Salvador, BA, 2009.

SOUZA, F.B.; PIRES, S.R.I.; *Análise e Proposições sobre o Balanceamento e Uso de Excesso de Capacidade em Recursos Produtivos,* Gest. Prod., São Carlos, v.6, n.2, p 111-126, agosto 1999.

THIOLLENT, M. *Metodologia da pesquiça-ação.* São Paulo: Cortez, 1985.