

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA  
TESE DEFENDIDA POR LUIS FERNANDO  
TORRES..... E APROVADA  
PELA COMISSÃO JULGADORA EM 17/03/2011

  
.....  
ORIENTADOR

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

Luis Fernando Torres

**AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DA  
MANUFATURA ENXUTA EM UMA  
EMPRESA DO SETOR  
AUTOMOBILÍSTICO: UM ESTUDO DE  
CASO**

Campinas, 2011

27/2011

Luis Fernando Torres

# **AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DA MANUFATURA ENXUTA EM UMA EMPRESA DO SETOR AUTOMOBILÍSTICO: UM ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Área de Concentração: Materiais e Processos de Fabricação  
Orientador: Eugênio José Zoqui

Campinas, 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

T636a Torres, Luis Fernando  
Avaliação da aplicação da manufatura enxuta em uma empresa do setor automobilístico: um estudo de caso / Luis Fernando Torres. --Campinas, SP: [s.n.], 2011.

Orientador: Eugênio José Zoqui.  
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Custo de manufatura. 2. Manufatura. 3. Fluxo de valor. 4. Sistema Toyota de produção. I. Zoqui, Eugênio José. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

Título em Inglês: Evaluation of lean manufacturing application in a company of the automotive industry: a case study

Palavras-chave em Inglês: Cost of manufacturing, Manufacturing, Value stream, Toyota production system

Área de concentração: Materiais e Processos de Fabricação

Titulação: Mestre em Engenharia Mecânica

Banca examinadora: Antonio Batocchio, Hipolito Domingo Carvajal Fals

Data da defesa: 17/03/2011

Programa de Pós Graduação: Engenharia Mecânica

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO**

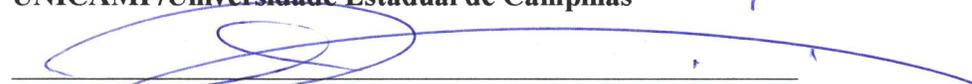
**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADEMICO**

**AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DA  
MANUFATURA ENXUTA EM UMA  
EMPRESA DO SETOR  
AUTOMOBILÍSTICO: UM ESTUDO DE  
CASO**

Autor: Luis Fernando Torres  
Orientador: Eugênio José Zoqui

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Eugênio José Zoqui, Presidente**  
UNICAMP/Universidade Estadual de Campinas

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Antonio Batocchio**  
UNICAMP/Universidade Estadual de Campinas

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Hipolito Domingo Carvajal Fals**  
Universidad do Oriente - CUBA

Campinas, 17 de Março de 2011.

Dedico este trabalho aos meus pais, Luis Carlos e Edna, pois, sem o incentivo que deles sempre recebi, não teria finalizado esta etapa tão importante de minha vida.

## **Agradecimentos**

Desejo expressar aqui meus mais sinceros agradecimentos a todos que estiveram ao meu lado durante a realização deste trabalho. Entre eles:

Primeiramente à Deus, pelas oportunidades a mim concebidas.

Aos meus pais Luis Carlos e Edna e ao meu irmão Luis Vanderlei, pelo amor sincero, agora e por todo sempre.

Ao Prof. Eugênio José Zoqui pela orientação nesta dissertação e, fundamentalmente, pelo apoio, amizade e compreensão, nas muitas vezes que não pude comparecer aos nossos encontros.

Aos professores Antonio Batocchio e Oswaldo Luis Agostinho pelas preciosas dicas durante a qualificação.

Ao amigo Adionil Fumagalli pela inspiração, motivação e ajuda.

A todos os professores da Faculdade de Engenharia Mecânica (FEM), que ajudaram de forma direta e indireta na conclusão deste trabalho.

*“Todas as batalhas na vida servem para ensinar-nos algo,  
inclusive aquelas que perdemos.”*  
*(Paulo Coelho)*

## Resumo

TORRES, Luis Fernando, Avaliação da Aplicação da Manufatura Enxuta em uma empresa do setor automobilístico: um estudo de caso, Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2011. 105p. Dissertação (Mestrado).

Este trabalho teve como objetivo avaliar a aplicação dos conceitos da Manufatura Enxuta em uma empresa do setor automobilístico. Esta aplicação se deu em duas áreas distintas da empresa, sendo uma delas uma máquina de forjar a quente, que apresentava aumento de demanda de 30% dos itens nela produzidos, e a outra uma família de peças reponsável por grande parte do faturamento desta empresa, que não atendia às necessidades do cliente em termo de performance de entrega, com alto nível de atraso. Foram utilizadas ferramentas como a Análise dos Sete Desperdícios, *Setup* Rápido, Sistema Puxado e Mapeamento do Fluxo de Valores, todas suportadas pela metodologia DMAIC de implantação. Após a implantação das melhorias sugeridas em *Workshops Lean* por times multifuncionais, ocorreu a medição dos resultados. Para ambos os casos estudados, os resultados foram satisfatórios, como aumento do OEE, redução do *Lead Time*, aumento do nível de produção e redução dos tempos médios de *setup*, porém com discretas diferenças. Desta forma, no decorrer desta dissertação são abordados os motivos pelos quais os resultados finais foram diferentes e também o motivo pelo qual o Estudo de Caso foi o modelo de estratégia de pesquisa adotado.

Palavras Chave: Manufatura Enxuta, Mapeamento de Fluxo de Valores, Área Gargalo, DMAIC, Desperdícios, Sistema Puxado, *Setup* Rápido.

## Abstract

TORRES, Luis Fernando, Evaluation of lean manufacturing application in a company of the automotive industry: a case study, Campinas: Faculty of Mechanical Engineering, State University of Campinas, 2011. 105p. Thesis (MSc).

This study aimed to evaluate the application of the concepts of lean manufacturing in a company of the automobile sector. This application was made in two different areas of the company, one was a hot forging machine, that there was a demand increase in 30% of the itens producedes on this machine, and the other was a family of parts responsible to much of the income from this company, that didn't attend the delivery performance requirements. For this study, some tools were used as the analysis of the Seven Wastes, Quick Setup, Pull System and Value Stream Mapping, all of them supported by DMAIC methodology. After the implementation of the suggested improvements from the workshops with multifuncional teams started to measure the results. For both studied cases, the results were satisfactory, as OEE increasing, *Lead Time* reduction, increased the production level and average setup time reduction, however with slight differences. Thus, throughout this dissertation examines the reasons why the final results were different and also why the case study was the model search strategy adopted.

*Key words:* Lean Manufacturing, Value Stream Mapping, Bottleneck Areas, DMAIC, Wastes, Pull System, Quick Setup.

## Lista de Ilustrações

Figura 1 Os Sete Desperdícios, adaptado de Shingo (1996). .....	16
Figura 2 Estrutura do Sistema Toyota de Produção, adaptado de Ohno (1997). .....	19
Figura 3 4P's, adaptado de Liker (2005). .....	20
Figura 4 Sistemática do Mapeamento do Fluxo de Valor (Rother e Shook, 2003). .....	23
Figura 5 Definição de Tempo de <i>Setup</i> . .....	24
Figura 6 Estágios de Redução do Tempo de <i>Setup</i> . .....	25
Figura 7 Isolamento dos postos de trabalho (Rother e Shook, 2003). .....	29
Figura 8 Fluxo Contínuo (Rother e Shook, 2003). .....	31
Figura 9 Sistema Empurrado de Produção .....	36
Figura 10 Sistema Puxado de Produção .....	37
Figura 11 Forma de Cálculo do OEE. ....	38
Figura 12 O ciclo PDCA e a metodologia DMAIC (adaptada de Werkema (2002) <i>apud</i> Ohosaku (2005)) .....	41
Figura 13 Plantas da Unidade Jundiaí/SP .....	49
Figura 14 Setor de Forjaria a Quente .....	51
Figura 15 Peças que compõem a Família Porcas de Roda .....	52

Figura 16 Quadro de Melhorias da Área Piloto.....	55
Figura 17 Histórico Mensal dos Motivos de Interrupções de Máquina.....	56
Figura 18 Funções durante o <i>setup</i> . ....	59
Figura 19 Desperdícios verificados durante o <i>setup</i> : (a) Operador realizando reparos na ferramenta, (b) Operador montando o conjunto de ferramentas, em outra máquina, de mesmo porte.....	60
Figura 20 Classificação das tarefas entre <i>setup</i> interno e <i>setup</i> externo.....	61
Figura 21 Comparativo dos tempos de <i>setup</i> (interno e externo).....	62
Figura 22 Movimentação do operador durante o <i>setup</i> .....	63
Figura 23 Classificação das tarefas entre <i>setup</i> interno e <i>setup</i> externo - com melhorias. ....	64
Figura 24 Comparativo dos tempos de <i>setup</i> (interno e externo) - com melhorias.....	64
Figura 25 Movimentação do operador durante o <i>setup</i> – com melhorias. ....	65
Figura 26 Comparativo dos tempos de <i>setup</i> . ....	67
Figura 27 Comparativo das médias mensais de produção. ....	69
Figura 28 Comparativo dos tempos médios de <i>setup</i> . ....	70
Figura 29 Comparativo da quantidade de dias em atraso no cliente interno.....	71
Figura 30 Comparativo do índice de OEE. ....	72
Figura 31 Mapeamento de Fluxo de Valores do Estado Atual – Família Porca de Rodas. ....	75
Figura 32 Comparativo do tempo das operações com o tempo <i>takt</i> – Família Porca de Rodas. ...	76

Figura 33 Mapeamento de Fluxo de Valores do Estado Futuro – Família Porca de Rodas. ....	78
Figura 34 Processo de criação da Célula de Montagem de Porcas de Roda: (a) Liberar área para a formação da Célula de Montagem de Porcas de Roda, (b) Reforma geral dos equipamentos e pintura conforme padrão da empresa estudada, (c) Transferência dos equipamentos da Planta 1 para a Planta 2 da empresa estudada. ....	80
Figura 35 Comparativo da produção média mensal da família Porcas de Roda. ....	81
Figura 36 Comparativo do <i>lead time</i> da família Porcas de Roda. ....	82
Figura 37 Comparativo dos dias em atraso no cliente externo da família Porcas de Roda. ....	83
Figura 38 Célula de Porcas de Roda, <i>layout</i> final. ....	84
Figura 39 Administração da Área Gargalo: (a) Planos de Ação, (b) OEE, Produção, Índices de Retrabalho e de Refugo. ....	85
Figura 40 Gestão Visual de Produção, Célula de Porcas de Roda: (a) visão geral, (b) trecho ampliado. ....	86
Figura 41 Quadro kanban, Célula de Porcas de Roda. ....	87
Figura 42 Comparativo das produções anuais da família Porcas de Roda. ....	88
Figura 43 Comparativo dos dias em atraso no cliente externo da família Porcas de Roda. ....	89
Figura 44 Comparativo do <i>lead time</i> da família Porcas de Roda. ....	90
Figura 45 Comparativo da quantidade de operadores, Célula Porcas de Roda. ....	91
Figura 46 Melhorias na Bancada de Trabalho, Célula de Porcas de Roda: (a) 2.007, desorganizada e sem identificações, (b) 2.008, todas as informações necessárias aos operadores, organizada e identificada, (c) 2.009, seguindo as cores padrão da empresa	

estudada, com o acréscimo de um pequeno aquário e seu " <i>Lean Fish</i> ". .....	92
Figura 47 Analogia didática aos conceitos da Manufatura Enxuta. ....	94

## Lista de Tabelas

Tabela 1 Exemplo de matriz inicial e solução final adotada para uma célula.....	27
Tabela 2 Modelo DMAIC de implantação.....	43
Tabela 3 Processos e Plantas da Unidade Jundiaí/SP.....	49
Tabela 4 Indicadores de desempenho adotados no sistema de manufatura estudado.....	50
Tabela 5 Metodologia DMAIC adotada.....	53
Tabela 6 Metas para a Máquina de Forjar.....	58
Tabela 7 Funções durante o <i>setup</i> .....	59
Tabela 8 Sugestões de Melhorias.....	66
Tabela 9 Novas metas para a máquina de forjar a quente.....	68
Tabela 10 Metas para a família de peças Porcas de Roda.....	79

## Lista de Abreviaturas

DMAIC	<i>Define, Measure, Analyse, Improve, Control</i>
FIFO	<i>First In First Out</i>
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
PCE	<i>Process Cycle Efficiency</i>
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Act</i>
PFA	<i>Production Flow Analysis</i>
PPM	Partes Por Milhão
SMED	<i>Single Minute Exchange of Die</i>

# SUMÁRIO

1 Introdução.....	1
1.1 Justificativas do Trabalho.....	2
1.2 Objetivos do Trabalho.....	2
1.3 Conteúdo do trabalho.....	2
2 Manufatura Enxuta – Um Breve Histórico.....	4
2.1 Surgimento, Evolução e Declínio da Produção em Massa.....	4
2.2 Ascensão da Produção Enxuta.....	6
2.3 Pensamento Enxuto.....	11
2.4 Princípios da Produção Enxuta.....	15
2.5 Mapeamento do Fluxo de Valor.....	21
2.6 <i>Setup</i> Rápido.....	23
2.7 Células de Manufatura.....	25
2.8 Células de Montagem.....	28
2.8.1 <i>Layout</i> Funcional.....	28
2.8.2 <i>Layout</i> em Linha.....	30

2.8.3 <i>Layout</i> Celular.....	32
2.9 Tempo <i>Takt</i> x Tempo de Ciclo .....	34
2.10 Nivelando o Volume de Produção – Sistema Puxado.....	35
2.11 OEE - <i>Overall Equipment Effectiveness</i> .....	38
2.12 Comentários Finais.....	39
3 Metodologia e Estratégia de Pesquisa.....	40
3.1 Introdução.....	40
3.2 Metodologia - O Modelo DMAIC de implementação .....	40
3.3 Estratégias de Pesquisa - Caracterização da Pesquisa.....	43
3.4 Comentários Finais.....	47
4 Estudo de Caso: Utilização dos Princípios do Sistema de Manufatura Enxuta em duas áreas gargalos de uma empresa do ramo automotivo.....	48
4.1 Apresentação da Empresa.....	48
4.1.1 Objeto de Estudo – Unidade Jundiaí, Estado de São Paulo.....	48
4.1.2 Definição do Problema e Oportunidades de Melhoria .....	51
4.2 Análise do Primeiro Objeto de Estudo .....	54
4.2.1 Análise das oportunidades de melhoria e definição de foco de atuação .....	54
4.2.2 Definição das metas para o trabalho .....	57
4.2.3 Realização das atividades de melhoria .....	58

4.2.4 Acompanhamento dos resultados após as atividades de melhoria.....	69
4.2.5 Comentários sobre os resultados atingidos.....	72
4.3 Análise do Segundo Objeto de Estudo .....	73
4.3.1 Formação de time multifuncional .....	73
4.3.2 Definição das metas para o trabalho .....	77
4.3.3 Realização das atividades de melhoria.....	79
4.3.4 Acompanhamento dos resultados após as atividades de melhoria.....	81
4.3.5 Comentários sobre os resultados atingidos.....	91
4.4 Considerações Finais.....	93
5 Conclusões e Trabalhos Futuros.....	96
Referências .....	98
APÊNDICE A – FORMULÁRIO DE OBSERVAÇÃO DOS 7 DESPERDÍCIOS DA ÁREA DE FORJARIA À QUENTE .....	104
APÊNDICE B – FORMULÁRIO DE OBSERVAÇÃO DOS 7 DESPERDÍCIOS DA CÉLULA PORCA DE RODAS.....	105

# 1 INTRODUÇÃO

Devido ao processo de globalização produtiva, as empresas passaram por um momento de incertezas e necessidades de constantes reduções de custos pelo fato de que o espaço de mercado passou a ser todo o mercado nacional e internacional. A necessidade de serem competitivas tem levado as empresas a se tornarem flexíveis e eficientes no atendimento a seus clientes. Defeitos e atrasos nas entregas são agora mazelas não mais aceitas pelos consumidores. A crescente exigência por parte dos clientes por produtos customizados tem provocado um litígio entre as empresas e o tradicional sistema de produção em massa, pois na grande maioria das vezes não consegue atingir as expectativas dos clientes (Pinedo, 2003).

Assim, esta crescente abertura do mercado fez com que os produtos fossem ofertados a preços mais competitivos, que provocou um crescente aumento na velocidade das inovações e com prazos de entregas cada vez menores, transferindo estas necessidades também aos fornecedores para buscarem instrumentos a fim de se tornarem mais competitivos.

Por esta necessidade, avanços significativos foram obtidos através desta abordagem, cujo conceito fundamental é o fluxo de valor de cada produto, visando a eliminação dos desperdícios, diminuindo o intervalo de tempo entre a colocação do pedido pelo cliente e a entrega do produto acabado (*lead time*). Surge então o conceito de Manufatura Enxuta (*Lean Manufacturing*), criada na *Toyota Motor Corporation*, onde, com o passar do tempo, deixou de ser exclusividade do setor automotivo, se difundindo em vários ambientes (indústria e serviços, por exemplo).

De acordo com Riezebos *et al* (2009), os princípios da Manufatura Enxuta têm habilitado organizações dos setores industriais e de serviços a melhorar significativamente seus níveis de competitividade. A aplicação dos princípios enxutos, derivados do Sistema Toyota de Produção, melhoram, simultaneamente os níveis de produtividade, qualidade e serviços aos clientes.

## **1.1 Justificativas do Trabalho**

O setor automobilístico brasileiro vem, nos últimos anos, em crescente expansão de mercado. Esta expansão, muitas das vezes, se dá sem prévio aviso, gerando, em seus fornecedores, grandes dificuldades de atendimento às necessidades de seus clientes.

Fundamentada nestes acontecimentos é que se inicia a implantação de um Sistema de Manufatura Enxuta, que servirá como base para um Estudo de Caso, que é melhor descrito no item 3.3 desta dissertação.

## **1.2 Objetivos do Trabalho**

Com isto, este trabalho, baseado nos princípios da Manufatura Enxuta, utilizando-se da metodologia DMAIC, apresenta os seguintes objetivos:

- Explanar e demonstrar as ferramentas utilizadas para a remoção de áreas gargalo, utilizando-se dos conceitos da Manufatura Enxuta;
- Analisar as condições encontradas e detectar as soluções necessárias dentro dos requisitos de um Sistema de Manufatura Enxuta, com base em indicadores de desempenho, previamente adotados pela empresa estudada;
- Descrever com exemplos de um Estudo de Caso as soluções adotadas.

## **1.3 Conteúdo do trabalho**

A presente dissertação está estruturada em cinco capítulos, cujo conteúdo é apresentado a

seguir:

O Capítulo 1 apresenta uma introdução sobre a Manufatura Enxuta, os objetivos do trabalho e sua organização.

O Capítulo 2 mostra uma revisão bibliográfica que apresenta a ascensão e o declínio da Produção em Massa e relata o surgimento do Sistema de Produção Enxuta. São apresentados os princípios, as ferramentas e os passos para a implantação de um Sistema de Produção Enxuta.

O Capítulo 3 apresenta as principais ferramentas utilizadas nesta dissertação, baseadas na filosofia da Manufatura Enxuta, objetivando-se a eliminação dos desperdícios.

O Capítulo 4 descreve o Estudo de Caso para duas áreas distintas da empresa, sendo em uma máquina com perspectivas futuras de grande aumento de demanda em seus produtos e em uma família de produtos que se encontra atualmente em expansão.

O Capítulo 5 aborda, de forma didática, as conclusões da presente dissertação, sugerindo algumas recomendações para trabalhos futuros.

As Referências Bibliográficas utilizadas na elaboração desta dissertação são apresentadas após as conclusões desta dissertação.

O Apêndice A ilustra a identificação e mensuração dos desperdícios encontrados na máquina de forjar à quente, que serviu de base para a visualização e entendimento da necessidade de aplicação das técnicas de *Setup* Rápido .

O Apêndice B ilustra a identificação e mensuração dos desperdícios encontrados na família de produtos Porca de Roda, que serviu de base para o desenvolvimento dos trabalhos e eliminação dos gargalos.

## **2 MANUFATURA ENXUTA – UM BREVE HISTÓRICO**

O objetivo do presente capítulo é apresentar os elementos e razões que favoreceram a expansão da Manufatura Enxuta em ambientes de montagem para além das fronteiras das montadoras de automóveis.

Inicialmente são apresentados o surgimento e ascensão do Sistema de Produção em Massa, descrevendo ainda o seu declínio e, a seguir, são relatados os fatores que influenciaram a criação do Sistema Toyota de Produção. Posteriormente são apresentados os princípios da Manufatura Enxuta e como a aplicação de seus conceitos tem evoluído no tempo.

### **2.1 Surgimento, Evolução e Declínio da Produção em Massa**

As primeiras medidas para a transformação do Sistema de Produção Artesanal no Sistema de Produção em Massa ocorreram na linha de montagem de carros da Ford em 1903, consistindo na completa intercambiabilidade das peças, e na facilidade de ajustá-las (Womack, Jones e Roos, 1992).

Em 1908, quando Ford conseguiu a perfeita intercambiabilidade das peças, concluiu que um operador seria responsável por executar uma única tarefa, movimentando de um veículo ao outro na linha de montagem, reduzindo assim o ciclo de tarefa médio do operador de 5,14 para 2,3 minutos. Depois de algum tempo, Ford conseguiu perceber o problema trazido pela movimentação dos operadores na linha de montagem, pois o fato do operador andar, mesmo que apenas um ou dois metros, demandava tempo. De acordo com Fumagali (2001), a grande façanha de Ford veio então, na primavera de 1913, com a introdução da linha de montagem móvel, onde o carro se movimentava em direção ao operador que permanecia parado.

Tal inovação diminuiu o ciclo de trabalho de 2,3 para 1,19 minutos, sendo a diferença

resultado do tempo economizado pelo operador por ficar parado em vez de caminhar, e pelo ritmo de trabalho mais acelerado que a linha móvel podia propiciar. Em outras palavras, a linha de montagem móvel passou a marcar o ritmo de trabalho.

Ao enorme ganho de produtividade, seguiu-se uma inevitável redução de custos; e entre 1908 e 1920, o custo do modelo T caiu para 1/3 do que era antes (Georgetti, 2004). É como se hoje fosse possível a redução do preço de um carro de R\$ 30.000,00 para R\$ 10.000,00 somente por ganhos de produtividade.

O Sistema de Produção em Massa, adotado por Ford, orientou a indústria automobilística por mais de meio século, sendo adotado também em quase toda atividade industrial na Europa e na América do Norte.

Segundo Georgetti (2004), a produção em massa mudou a face do mundo e prosseguiu sua vitoriosa carreira até 1955, quando “as três grandes” automobilísticas americanas (Ford, GM e Chrysler) eram responsáveis pela produção de 95% das vendas mundiais fornecendo apenas 6 modelos principais, vendendo 7 milhões de unidades. Começa então a queda do modelo de produção em massa.

Esta estagnação do Sistema de Produção em Massa teria prosseguido indefinidamente, não tivesse uma nova indústria automobilística emergido do Japão. De acordo com Fumagali (2001), a verdadeira importância de tal indústria estava no fato de se tratar de uma mera réplica do agora venerável enfoque norte-americano para a produção em massa.

O Japão, após a Segunda Guerra Mundial, se apresentava com seu sistema industrial destruído, tendo que reorganiza-lo adotando o modelo da indústria norte-americana totalmente baseada no Sistema de Produção em Massa.

Porém, as técnicas adotadas pelas indústrias norte-americanas e européias no Sistema de Produção em Massa não eram compatíveis com a realidade econômica do Japão pós-guerra, pois a sua produção era voltada exclusivamente ao mercado interno, com uma capacidade muito limitada de absorção da produção, onde certamente o paradigma da Ford de “o que você produzir,

você vende” dificilmente se aplicaria.

A *Toyota Motor Corporation* precisava desenvolver uma maneira inteiramente nova de se produzir, que é então chamada de Produção Enxuta.

Este novo sistema de produção, ao contrário do Sistema de Produção em Massa com variação restrita de modelos, busca a produção de pequenas séries de numerosos modelos diferentes.

Assim como o Sistema de Produção em Massa, o Sistema Toyota de Produção está baseado no fluxo de produção. A diferença é que, enquanto Ford se preocupava com a estocagem de peças, Taiichi Ohno (um engenheiro mecânico e um dos diretores da Toyota nos anos 1940, considerado o criador do Sistema Toyota de Produção) eliminou o estoque (Ohno, 1997).

## **2.2 Ascensão da Produção Enxuta**

As razões que levaram Ohno a adotar este novo sistema, que foca também na eliminação dos estoques foram função do cenário econômico do Japão por volta de 1950. No final de 1949, houve um verdadeiro colapso de vendas, forçando a Toyota a dispensar grande parte de seus operários. Como resultado, em 1950, a Toyota produziu apenas 2685 automóveis ao ano, enquanto apenas a Ford, produziu uma média de 7000 automóveis por mês.

Ohno percebeu que mesmo aperfeiçoando o modelo de Ford da Produção em Massa, sua implantação jamais funcionaria no Japão, não se adaptando as reais condições japonesas. Ohno então deu um novo enfoque no sistema de produção.

O sistema tinha de produzir séries restritas de produtos diferenciados e variados (Ohno, 1997). Nesse sentido, ele era o inverso do modelo de produção adotado por Henry Ford. O problema fundamental deste sistema era o de ganhar produtividade em um cenário de manufatura

onde as quantidades a serem produzidas não aumentavam, contrariando o paradigma principal do Sistema de Produção em Massa, já citado anteriormente.

Aumentar o volume de produção nem passava pelas idéias de Ohno, pois não havia mercado para seus produtos. O que ele realmente queria e precisava era diminuir os custos e produzir diversos carros em pequenas quantidades.

Para isso, a realização de diversos *setups* se fazia necessária. Segundo Sugai (2007), convencionalmente o tempo de *setup* é “o tempo que leva da produção de um produto A até a produção de um produto B com qualidade”. Tal definição sublinha um elemento importante que é a consideração da qualidade esperada da produção, independente das atividades realizadas durante o *setup*. Dessa forma estão agregadas no tempo total de parada para *setup* as operações de ajustes, correções e testes até obter a produção de um “produto B com qualidade”.

O Sistema de Produção em Massa é direcionado à produção de poucos produtos e em altos volumes. Ohno, com a ajuda de Shingo, através do aperfeiçoamento de sua técnica de troca rápida de ferramentas (SMED - *Single Minute Exchange of Die* – “Troca de Matrizes em menos de 10 minutos”) na seção de estampagem, constitui um bom exemplo do desenvolvimento do novo sistema de produção idealizado por Ohno. Assim, após adquirir um pequeno número de prensas norte-americanas de segunda mão no final dos anos 40, e uma seqüência exaustiva de experiências, Ohno conseguiu, no final da década de 50, reduzir o tempo necessário para trocar moldes de um dia para surpreendentes três minutos, eliminando ainda a necessidade de especialistas nas trocas de moldes.

Durante este processo de melhoria contínua, Ohno fez uma descoberta inesperada para todos, exceto para ele. Ele conseguiu provar que o custo por peça prensada era menor na produção de pequenos lotes, do que no processo de lotes maiores. Para Fumagali (2001), existem duas razões para tal fenômeno:

- i) produzir em lotes menores elimina os custos de manutenção dos grandes estoques de peças acabadas, tão comuns no Sistema de Produção em Massa;
- ii) os erros aparecem quase que imediatamente.

Estes dois fatores fizeram com que o pessoal da seção de estampanaria se preocupasse mais com a qualidade, e eliminasse o desperdício de peças defeituosas descobertas somente no momento de serem utilizadas, onde muitas eram detectadas vários dias depois. Porém, para que o sistema todo funcionasse, era preciso além de uma força de trabalho qualificada, uma força de trabalho motivada.

Ficou evidente, durante a década de 80, que as características existentes no Japão, responsáveis por instigar Ohno na busca de novas soluções, espalharam-se pelo mundo. Com as mudanças de mercado, o requisito básico para atender as necessidades desse mercado consumidor passou a ser a fabricação de muitos produtos em pequenos volumes. Assim, a obtenção da flexibilidade operacional foi o principal elemento que Ohno trabalhou através do Sistema Toyota de Produção.

Dessa necessidade surgiu o que Ohno chamou de “espírito Toyota”. Desse espírito Toyota, surgiu o termo Manufatura Enxuta, onde a filosofia é se produzir mais com cada vez menos e em séries diversas de produtos.

O termo Manufatura Enxuta originou-se de um programa do *Massachusetts Institute of Technology*, denominado *International Motor Vehicle Program*, que examinou as práticas de gerenciamento e aumento de produtividade utilizadas nas indústrias fabricantes de motores automotivos em 52 linhas de montagem, envolvendo 14 países.

Segundo Black (1998), o sistema de produção é muito mais amplo que sistema de manufatura, que abrangeria apenas os processos combinados. Já os sistemas de produção incluem o cliente, o mercado, as finanças, a engenharia de projeto, a pesquisa e desenvolvimento, o planejamento e controle da produção e compras.

Como uma das principais ferramentas do Sistema Toyota de Produção, Ohno desenvolveu o *Just in Time*, no início da década de 60. Segundo Shingo, estas palavras significam “no momento certo, oportuno”.

O *Just in Time* tem por finalidade estabelecer o fluxo contínuo (ou sincronizado) de

produtos e/ou serviços pelo processo produtivo através do fornecimento de produtos no tempo, local, qualidade, quantidade e custo desejadas pelo cliente (Souto, 2000).

Womack, Jones e Roos (1992) dão outra ênfase ao termo *Just in Time*, onde, segundo eles, o sistema de manufatura tem como objetivo permitir respostas rápidas aos clientes através da flexibilidade de volume e mix, manufaturando produtos de qualidade a um baixo custo.

Para a utilização do conceito do *Just in Time*, Ohno fez uso dos cartões kanban. Ohno pretendia converter o grande grupo de fornecedores e fábricas de componentes num único sistema, comparável a *Highland Park*, de Henry Ford. Para tanto, determinou que a produção das peças em cada etapa se restringiria a necessidade imediata da etapa seguinte. Os sistemas kanban têm função dupla:

- i) fixam o número de kanbans para regular o fluxo e conservar o estoque mínimo,
- ii) promovem um controle visual para executar essa função com precisão.

Por estas características, a implementação prática da ferramenta kanban se tornaria difícil, pois reduziria drasticamente todos os estoques existentes. Assim, se uma pequena fração do sistema de produção falhasse, o sistema inteiro pararia. Segundo Fumagali (2001), neste problema reside o seu ponto forte. Removendo os estoques excessivos, que funcionam como bolsões de proteção, faz com que cada membro do vasto processo de produção se preocupe em prever problemas, antes que se tornem graves a ponto de parar todas as etapas subsequentes.

Ohno obteve êxito em sua implementação porque conseguiu a perfeita junção de todas as áreas que compõem um Sistema de Produção, partindo desde o planejamento de produtos até o atendimento ao consumidor.

Vale ressaltar que a Produção Enxuta reúne o melhor da produção artesanal (produção em pequenos lotes) e da produção em massa (repetibilidade dos processos e intercambiabilidade das peças). Com isso, a produção enxuta apresenta a capacidade de reduzir o custo unitário e aumentar a qualidade, e tudo isso com uma variedade de produtos crescentes e um trabalho cada vez mais estimulante.

Porém, existe sempre o conflito entre produtividade e o respeito humano. É a linha que divide o fato de produzir cada vez mais com cada vez menos respeitando os trabalhadores enquanto seres humanos.

Reside aí um dos fundamentos do Sistema Toyota de Produção. Para a perfeita aplicação de seus conceitos, é preciso que haja uma relação maior de comprometimento entre fabricante e fornecedor, assim como a alta gerência e o chão-de-fábrica.

Ohno, diferentemente de Ford que deparou-se com condições que lhe favoreceram desenvolver o Sistema de Produção em Massa, deparou-se com situações completamente diferentes. Devido ao excesso de desperdícios de material e tempo, a Toyota não tinha fundos para a compra de materiais e peças essenciais à fabricação de seus automóveis.

Este problema se dava pelo processo de produção existente na Toyota nos anos de 1949 e 1950, onde, segundo o próprio Ohno, durante os primeiros 20 dias do mês acumulavam-se estoques de peças e produtos em estágio de produção, para nos últimos 10 dias do mês dar início à montagem dos veículos.

Esta situação esboça bem a teoria de Shingo (1996), onde, segundo o autor, a maior fonte de desperdícios é o excesso de produção. Shingo explica sua teoria ao citar que, trabalhando deste modo, as máquinas estão sempre ocupadas, consumindo matéria-prima, energia e recursos humanos (operadores). O material produzido em excesso deve ser estocado ocupando áreas, além do que os defeitos são descobertos muito tempo depois de produzidos. Em outras palavras, os pedidos urgentes devem esperar as máquinas acabarem de fabricar o que já está em produção.

Segundo Shingo (1996), o Sistema Toyota de Produção é a antítese da produção em grandes lotes e não da produção em massa, pois, segundo o autor, mesmo quando a quantidade total de um pedido for grande, os pedidos podem ser atendidos em pequenas quantidades, sem a geração de estoques.

Ohno (1997) afirma que o Sistema Toyota de Produção, ou Manufatura Enxuta, tem como objetivo aumentar a eficiência da produção pela eliminação consistente e completa de

desperdícios ao longo de toda a cadeia de produtos, denominada *muda* em japonês.

Porém Shingo (1996) apresenta outra definição. Para ele, o Sistema Toyota de Produção é um sistema que visa a total eliminação das perdas, procurando-se pelo desperdício que geralmente não é notado porque se tornou aceito como uma parte natural do trabalho diário.

Sobre *Just in Time*, Monden (1998) afirma que se os conceitos forem aplicados em toda a empresa, o inventário desnecessário será eliminado, liberando assim as áreas de estocagem.

Para Shingo (1996), o *Just in Time* se apresenta apenas como uma estratégia para a produção sem estoques, onde os custos decorrentes de inventário serão diminuídos e a taxa de giro de capital aumentará substancialmente, sendo que a eliminação implacável dos estoques não é em si o objetivo final, mas sim a redução de custos.

O Sistema Toyota de Produção consiste num método racional de fabricação de produtos pela completa eliminação de desperdícios, com o propósito de reduzir custos (Monden, 1998).

Melhorar a qualidade dos produtos, o tempo de entrega, a pontualidade de entrega e a flexibilidade operacional terão certamente impacto nos padrões internos de competitividade da empresa, mas a influência da redução dos custos no processo do sistema de manufatura é imediata e direta, sendo responsável por parte significativa do desempenho da empresa (Slack, 1993).

### **2.3 Pensamento Enxuto**

Segundo Womack e Jones (2004), os princípios que deram origem ao Sistema Toyota de Produção podem ser interpretados como Pensamento Enxuto, aproximando-se cada vez mais de oferecer ao cliente o que ele realmente deseja. Os autores propõem um conjunto de cinco passos (princípios) para o Pensamento Enxuto, a saber:

O ponto de partida para o Pensamento Enxuto é o valor. Este valor só pode ser definido pelo cliente final. E só é significativo quando expresso em termos de um produto específico que atenda as necessidades específicas do cliente, a um preço específico, em um momento específico.

O segundo passo é a identificação da cadeia de valor, que é um conjunto de todas as ações específicas necessárias para se levar um produto específico a passar pelas tarefas de desenvolvimento, de gerenciamento da informação e da transformação física.

O terceiro passo é fazer o valor fluir pela cadeia produtiva sem interrupções. Um conceito essencial nesta etapa é a definição do tempo *takt*, que sincroniza e define a velocidade, ou ritmo da produção, de forma a se trabalhar na velocidade de venda desejada pelo cliente. Consiste na divisão do tempo disponível para produção pela demanda do cliente.

O quarto passo é a produção puxada, onde um processo inicial não deve produzir um bem ou serviço sem que o cliente deste processo o solicite. Isto significa ter condições de projetar, programar e produzir exatamente o que o cliente quer. A produção passa a ser requisitada pela demanda real do cliente.

À medida que as empresas passarem a especificar valor com exatidão, identificarem a cadeia de valor como um todo, conseguirem com que o valor possa fluir continuamente, e deixarem que seus clientes puxem o valor da empresa, haverá significativa redução dos desperdícios e o cliente será melhor atendido.

Então a doutrina da Produção Puxada pode ser resumida como: não faça nada até que seja necessário e, então, faça tudo muito rápido (Campos, 2000).

O quinto e último passo é a perfeição, que decorre do fato de que os outros quatro interagem entre si, de modo que o processo nunca tenha fim. Após uma detalhada análise dos processos sobre a ótica destes cinco princípios, se pode obter a redução de custos e prazos (Silva, 2003).

Segundo Rother e Shook (2003), o Mapeamento do Fluxo de Valor é uma importante

ferramenta para se visualizar qual o caminho do produto numa empresa, desde os fornecedores até o cliente final, mostrando de forma clara quais são os principais pontos a se trabalhar inicialmente e identificar os maiores desperdícios.

O maior fator que conduz à perfeição é a transparência. A transparência permite que todos ao longo da cadeia produtiva (fornecedores, distribuidores, clientes, funcionários), possam ver tudo o que está ocorrendo, e, assim, se torna mais fácil descobrir meios de se criar valor, tendo-se em mente sempre que o valor deve ser dado pela voz do cliente (Georgetti, 2004).

A afirmação de Shingo (1996), de que para a melhora do sistema produtivo deve-se buscar a eliminação dos desperdícios e que a eliminação dos desperdícios está na raiz do sistema, baseia-se na convicção de que o lucro de uma empresa está associado à diferença entre o preço de venda e o custo para a produção deste produto, que pode ser expresso por: (Preço de Venda – Custo = Lucro).

Nota-se coerência entre a afirmação de Georgetti (2004) e a “equação” proposta por Shingo (1996), onde o preço realmente deve ser especificado pelo cliente, e não pelo produtor.

Para Monden e Jones (1998) e Black (1998) embora a redução de custos seja a principal meta do Sistema Toyota de Produção, ele tem que alcançar três outras submetas para garantir o seu objetivo original. Estas submetas são o Controle de Produção (que envolve a capacidade do sistema de adaptar-se às flutuações diárias e mensais da demanda em termos de quantidade e variedade), a Qualidade Assegurada (garantir que cada processo será suprido somente com itens bons) e o Respeito à condição humana (o Sistema Toyota de Produção fundamenta-se na utilização dos recursos humanos para atingir seus objetivos). Monden e Jones (1998) propõem implementar cada um dos elementos para que este tenha características do Sistema Toyota de Produção:

- Aplicação de kanban no sistema produtivo;
- Nivelamento da produção;
- Eliminação de desperdícios
- Padronização de operações;

- Melhoria Contínua;
- Uso do *layout* celular e operador multifuncional, e
- Controle da qualidade.

Porém Black (1998), propõe esta implementação em 8 passos:

- Formar células de manufatura e de montagem;
- Implementar um sistema de troca rápida de ferramenta;
- Integrar o controle de qualidade implementando o controle da qualidade;
- Integrar a manutenção preventiva / confiabilidade dos equipamentos;
- Nivelar e balancear a montagem final;
- Integrar o controle de produção (conectar as células via kanban);
- Integrar o controle de estoques (reduzir os estoques em processo);
- Estender os passos anteriores aos fornecedores.

O interesse pelo Sistema Toyota de Produção tornou-se crescente após 1990 com a publicação por Womack, Jones e Roos (1992) do livro *A máquina que mudou o mundo*. O livro realizou um *benchmark* da indústria automotiva, encontrando números fortemente contrastantes entre as fábricas ocidentais e suas concorrentes japonesas. Constatou-se que a produtividade japonesa chegava a ser até 50% maior que a ocidental, gerando metade dos defeitos detectados por veículo. Assim, o termo Pensamento Enxuto (ou *lean thinking*) popularizou-se, passando a identificar um sistema que consome menos recursos e consegue gerar o mesmo resultado que o sistema de produção em massa, oferecendo simultaneamente maior diversidade ao consumidor final (Womack e Jones, 1998).

Assim, o termo se difundiu, pois combina as vantagens dos sistemas de produção artesanal e em massa, explicando ainda que Produção Enxuta é Enxuta pois utiliza menores quantidades de tudo em comparação com a produção em massa: metade dos esforços dos operários na fábrica, metade dos investimentos em ferramentas, metade de horas de planejamento para desenvolver novos produtos. Requer também bem menos de metade dos estoques

atuais no local de fabricação, além de resultar em bem menos defeitos e produzir uma maior e sempre crescente variedade de produtos (Ohno, 1997).

Quando uma empresa consegue transmitir para cada operador os conceitos de Mentalidade Enxuta e os Sete Desperdícios da Manufatura, a empresa está conseguindo que os operadores entendam também o conceito do Fazer Certo da Primeira Vez, buscando sempre a qualidade e atribuindo a si próprio as responsabilidades do seu posto de trabalho.

## **2.4 Princípios da Produção Enxuta**

A Manufatura Enxuta pode ser definida como uma estratégia de modernização das organizações que visa sua adequação à nova realidade industrial e requer mudanças graduais para atingir padrões mundiais de competitividade, ou, ainda, como um conjunto de técnicas que buscam a melhoria constante do desempenho dos sistemas produtivos (Jacon, Maestrelli e Batocchio, 2005).

Como já mencionado anteriormente, Ohno (1997) afirma que o Sistema Toyota de Produção, ou Manufatura Enxuta, tem como objetivo aumentar a eficiência da produção pela eliminação consistente e completa de desperdícios ao longo de toda a cadeia de produtos, denominados *muda* em japonês.

Além do excesso de produção, citado algumas vezes nesta dissertação, existem ainda seis tipos de desperdício (Shingo, 1996), mostrados na figura 1 e descritos a seguir:

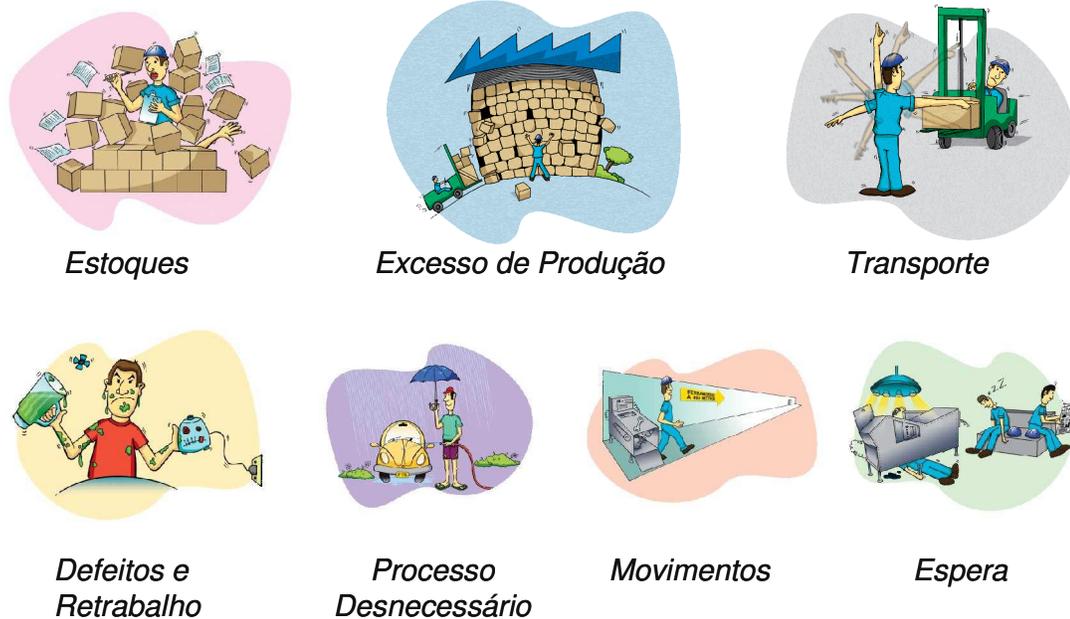


Figura 1 Os Sete Desperdícios, adaptado de Shingo (1996).

Os desperdícios mostrados na figura 1 são descritos assim:

- i) Desperdício de Superprodução (excesso de produção): como já mencionado anteriormente é considerado como a maior fonte de desperdícios. Produzir muito e muito cedo. Provém, em geral, de problemas e restrições do processo produtivo, tais como altos tempos de preparação de equipamentos, induzindo à produção de grandes lotes; incerteza da ocorrência de problemas de qualidade e confiabilidade de equipamentos, levando a produzir mais do que o necessário; falta de coordenação entre as necessidades (demanda) e a produção, em termos de quantidades e momentos; grandes distâncias a percorrer com o material, em função de um arranjo físico inadequado, levando à formação de lotes para movimentação, entre outros. Desse modo, a Manufatura Enxuta sugere que se produza somente o que é necessário no momento e, para isso, que se reduzam os tempos de *setup*, que se sincronize a produção com a demanda, que se compacte o *layout* da fábrica, e assim por diante.
- ii) Desperdício de transporte: encaradas como desperdícios de tempo e recursos, as atividades de transporte e movimentação devem ser eliminadas ou reduzidas ao máximo, através da elaboração

de um arranjo físico adequado, que minimize as distâncias a serem percorridas. Além disso, custos de transporte podem ser reduzidos se o material for entregue no local de uso.

iii) Desperdício de material esperando no processo: resulta na formação de filas que visam garantir altas taxas de utilização dos equipamentos. A sincronização do fluxo de trabalho e o balanceamento das linhas de produção contribuem para a eliminação deste tipo de desperdício.

iv) Desperdício de movimentação nas operações: aqui, justifica-se a importância das técnicas de estudo de tempos e métodos, pois a Produção Enxuta é um enfoque essencialmente de "baixa tecnologia", apoiando-se em soluções simples e de baixo custo, ao invés de grandes investimentos em automação. Ainda que se decida pela automação, deve-se aprimorar os movimentos para, somente então, mecanizar e automatizar. Caso contrário, corre-se o risco de automatizar o desperdício.

v) Desperdício de processamento: é comum que os gerentes se preocupem em como fazer algo mais rápido, sem antes questionar se aquilo deve realmente ser feito. Nesse sentido, torna-se importante a aplicação das metodologias de engenharia e análise de valor, que consistem na simplificação ou redução do número de componentes ou operações necessários para produzir determinado produto. Qualquer elemento que adicione custo e não valor ao produto é candidato a investigação e eliminação.

vi) Desperdício de produzir produtos defeituosos: produzir produtos defeituosos significa desperdiçar materiais, disponibilidade de mão de obra, disponibilidade de equipamentos, movimentação de materiais defeituosos, armazenagem de materiais defeituosos, inspeção de produtos, entre outros.

vii) Desperdícios de estoque (inventário): significam desperdícios de investimento e espaço. A redução dos desperdícios de estoque deve ser feita através da eliminação das causas geradoras da necessidade de manter estoques. Eliminando-se todos os outros desperdícios, reduz-se, por consequência, os desperdícios de estoque. Isto pode ser feito reduzindo-se os tempos de preparação de máquinas e os *lead times* de produção, sincronizando-se os fluxos de trabalho,

reduzindo-se as flutuações de demanda, tornando as máquinas confiáveis e garantindo a qualidade dos processos.

Aqui vale uma observação de que, recentemente, foram incorporados aos 7 Desperdícios, o oitavo desperdício, que é o Desperdício de Capital Intelectual (o não aproveitamento da capacidade intelectual dos funcionários na identificação de oportunidades de melhoria, independentemente de sua função dentro da organização), o nono desperdício, que é o Desperdício de Subaproveitamento de Material (ocorre quando se tenta eliminar os desperdícios que não se enquadram nos Sete Desperdícios iniciais), e também o décimo desperdício, que é o Desperdício de Não Gerenciar as Percepções (as percepções de cada pessoa envolvida em um determinado projeto são diferentes, e, deveriam ser divididas com todos os membros do projeto).

Para Womack e Jones (2004), a avaliação destes desperdícios pode ser uma forma de se fazer cada vez mais com cada vez menos (menos esforço humano, menos equipamentos, menos tempo) e, simultaneamente, aproximar-se cada vez mais de oferecer aos clientes o que eles realmente desejam.

A produção enxuta, ou Sistema Toyota de Produção, é sustentada por dois pilares de conceitos. Um deles, o *Just in Time*, já mencionado no decorrer desta dissertação, onde seu objetivo não é apenas eliminar desperdícios, mas também eliminar as operações que não agregam valor, além de garantir que os componentes necessários à montagem de um produto, só cheguem à esta montagem no momento necessário e na quantidade necessária, estabelecendo-se assim um fluxo contínuo.

O outro pilar do sistema Toyota de Produção é a autonomia (Ohno, 1997). Este termo foi difundido por Ohno que, na indústria têxtil, cada operador era responsável por certa quantidade de teares. Ohno conseguiu esta ampla utilização dos operadores desenvolvendo um sistema onde, caso as máquinas não trabalhassem corretamente, elas mesmas se desligariam. Ou seja, a autonomia tem como objetivo impedir a fabricação de produtos defeituosos e parar automaticamente o funcionamento do equipamento em caso de anormalidades, permitindo que a situação seja investigada. A autonomia tem ainda como objetivo separar o homem da máquina,

permitindo que ele opere diversas máquinas simultaneamente (Fumagali, 2001). A estrutura então do Sistema Toyota de Produção, ou Manufatura Enxuta é mostrada na figura 2.



Figura 2 Estrutura do Sistema Toyota de Produção, adaptado de Ohno (1997).

Segundo Spear e Bowen (1999), o Sistema Toyota de Produção é altamente eficiente pois trabalha com quatro regras básicas, a saber:

- i) Todo trabalho deve ser altamente especificado em relação ao conteúdo, seqüência, tempo e resultado desejado;
- ii) Toda relação cliente-fornecedor deve ser direta, inequívoca no envio de solicitações e recebimento de respostas, tipo sim/não;
- iii) O caminho percorrido por cada produto ou serviço deve ser simples e direto;
- iv) Qualquer melhoria deve ser realizada pelos envolvidos na atividade que está sendo melhorada, de acordo com uma metodologia “científica” e com orientação de um especialista na metodologia.

Para melhor estruturar todo este novo sistema de gestão enxuto, Liker (2005) divide o Sistema Toyota de Produção em 14 princípios e, em seguida, em 4 categorias, buscando sua simplificação, o que chamou de 4 P’s (Filosofia, Processos, Pessoas e Parceiros e, Solução de Problemas), conforme mostra a figura 3.

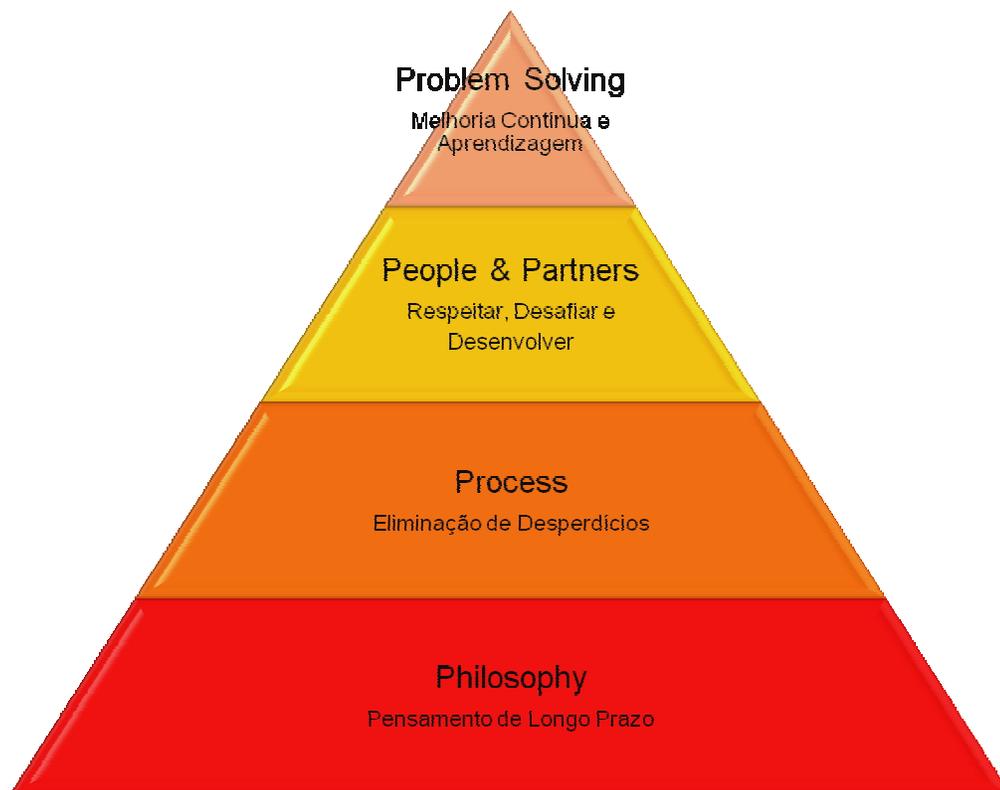


Figura 3 4P's, adaptado de Liker (2005).

Liker (2005), descreve de forma sucinta as atividades de cada um dos 4P's, como segue:

- i) **Filosofia (*Philosophy*):**
  - i.1) basear todas as decisões administrativas em uma filosofia de longo prazo, mesmo em detrimento de metas financeiras de curto prazo.
- ii) **Processo (*Process*):**
  - ii.1) criar um fluxo de processo para trazer os problemas à tona;
  - ii.2) utilizar sistemas de puxar para evitar a superprodução;
  - ii.3) nivelar a carga de trabalho (produção nivelada);
  - ii.4) parar quando houver problema de qualidade (autonomação);
  - ii.5) padronizar tarefas para melhoria contínua;
  - ii.6) usar controle visual para que os problemas não passem despercebidos;
  - ii.7) usar somente tecnologia confiável totalmente testada.

- iii) Funcionários e Parceiros (*People and Partners*):
  - iii.1) desenvolver líderes que vivenciem a filosofia;
  - iii.2) respeitar, desenvolver e desafiar o pessoal e as equipes;
  - iii.3) respeitar, desafiar e auxiliar os fornecedores.
- iv) Solução de Problemas (*Problem Solving*):
  - iv.1) aprendizagem organizacional contínua através do kaizen;
  - iv.2) ver por si mesmo para compreender a situação;
  - iv.3) tomar decisões lentamente, através de consenso, considerando completamente todas as opções; implementa-las com rapidez.

## **2.5 Mapeamento do Fluxo de Valor**

Para criar um fluxo que agregue valor, é preciso se ter uma visão de todo o processo envolvido. Mapear ajuda a enxergar e focar no fluxo com uma visão de um estado ideal ou melhorado (Rother e Shook, 2003).

Segundo Kocakülâh *et al* (2008), o Mapeamento do Fluxo de Valores é uma maneira visual de representar os fluxos de informação e material na produção de produtos, criando uma maneira simples para que os gerentes possam ver o fluxo de valor.

De acordo com Calado (2006), um importante aspecto na produção enxuta consiste no mapeamento do fluxo de valor que é uma prática que permite o aprendizado concreto dos conceitos, práticas e ferramentas enxutas, além de prover idéias e sugestões para a melhoria de uma família de produtos. Isso possibilita visualizar um fluxo de produção contínuo, através da minimização de interrupções e eliminação de ações que não agregam valor. Definem-se o fluxo de processo e o fluxo de informações de maneira sistêmica e aprende-se a enxergar por outro ângulo o sistema produtivo, porém se faz necessário o domínio das técnicas do *Just in Time* e

Sistema Puxado para se obter um bom mapa do estado futuro.

O Mapeamento de Fluxo de Valores pode também ser aplicado a produtos de grande importância para a empresa (produto mais significativo), não ficando restrito apenas à famílias de produtos.

De acordo com os Princípios Enxutos, o objetivo principal da Produção Enxuta é o fluxo de valor enxuto desde a matéria-prima ao produto acabado, o que significa levar em consideração quadros mais amplos e não sistemas isolados, buscando melhorar o todo. Para se criar o fluxo de valor enxuto, a técnica mais apropriada e importante é o mapeamento do fluxo de valor, uma ferramenta extremamente simples e difundida mundialmente que compreende o mapeamento do fluxo de material e, também, o mapeamento do fluxo de informação, tão importante quanto o fluxo de material (Rother e Shook, 2003).

Para tanto se faz necessário a criação do mapa do estado atual, que é conseguido seguindo-se a trilha de produção de uma família de produtos de porta a porta da empresa, do consumidor ao fornecedor, desenhando os fluxos de material e informação. Em seguida, elaborase o mapa de estado futuro de como o seu valor deveria fluir, segundo fluxos futuros melhorados de material e informação. Faz-se necessária ainda a preparação de um plano de implementação, descrevendo como se planeja chegar ao estado futuro e implementa-lo o mais rápido possível. Assim que ocorrer a implantação, um novo mapa deverá ser desenhado (melhoria contínua), havendo sempre um mapa de estado futuro em implantação. A importância de se iniciar o mapeamento do Fluxo de Valor, tanto do estado atual, quanto do estado futuro, pelo posto mais próximo ao consumidor é pelo fato de se classificar as definições de valor de um produto à partir da ótica do cliente. Caso contrário, corre-se o risco de melhorar um fluxo de valor que fornece eficientemente para o consumidor final algo que ele efetivamente não deseja.

Assim que se consegue enxergar o fluxo completo na fábrica, pode-se mudar o nível de amplitude, focalizando para mapear cada etapa individual em um tipo de processo, ou ampliando para abarcar o fluxo de valor externo à planta estudada. O mapa do fluxo de material é responsável por mostrar onde está ocorrendo estoque. Já o mapa de fluxo de informação mostra

os movimentos de materiais que são empurrados pelo produtor, e não puxados pelo cliente.

Ainda segundo Rother e Shook (2003), a aplicação prática do mapeamento do fluxo de valor deve seguir as etapas apresentadas na figura 4.

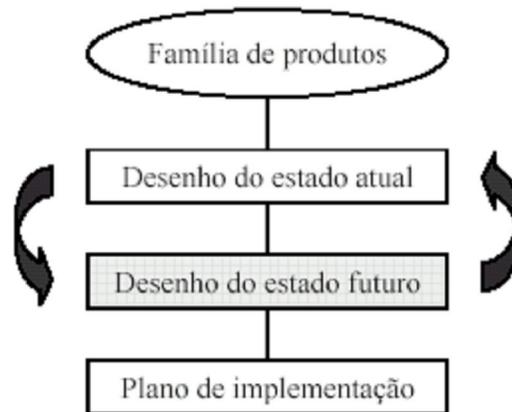


Figura 4 Sistemática do Mapeamento do Fluxo de Valor (Rother e Shook, 2003).

As informações do estado atual devem ser coletadas durante uma caminhada junto aos fluxos reais de material e informação, visando identificar os principais pontos com problemas. Os dados que farão parte do mapa do estado atual devem ser estes coletados diretamente no fluxo percorrido, evitando-se a utilização de dados padrão. O objetivo do mapeamento é entender o fluxo por inteiro, onde são notadas as deficiências, limitações e, principalmente, as oportunidades de melhorias.

## 2.6 Setup Rápido

De acordo com Sugai (2007), há diversas traduções para o termo *setup*, porém a mais adequada no âmbito da engenharia de fabricação é “preparação”. Como decorrência disso, “tempo de *setup*” será o “tempo de preparação”. O *setup* abrange todas as atividades necessárias para preparar um equipamento a fim de iniciar a produção de um produto diferente, implicando

em alguns casos na interrupção da produção. Para estabelecer o seu início e o seu fim, convencionalmente o tempo de *setup* é “o tempo que leva da produção de um produto A até a produção de um produto B com qualidade”, conforme ilustra a figura 5.



Figura 5 Definição de Tempo de *Setup*.

A principal técnica para a redução dos tempos de *setup* é a classificação das atividades realizadas durante o *setup* em:

- *Setup* Interno (I): são as ações que obrigatoriamente devem ser realizadas com a máquina parada (não produzindo), e,
- *Setup* Externo (E): são as ações que podem ser realizadas com a máquina em funcionamento (produzindo), quer seja antes ou depois do *setup*.

Após esta classificação, deve ser feita a separação das atividades Internas e Externas, buscando continuamente a transformação das atividades Internas em atividades Externas, de forma a também reduzir o tamanho do lote de produção, como mostra a figura 6.

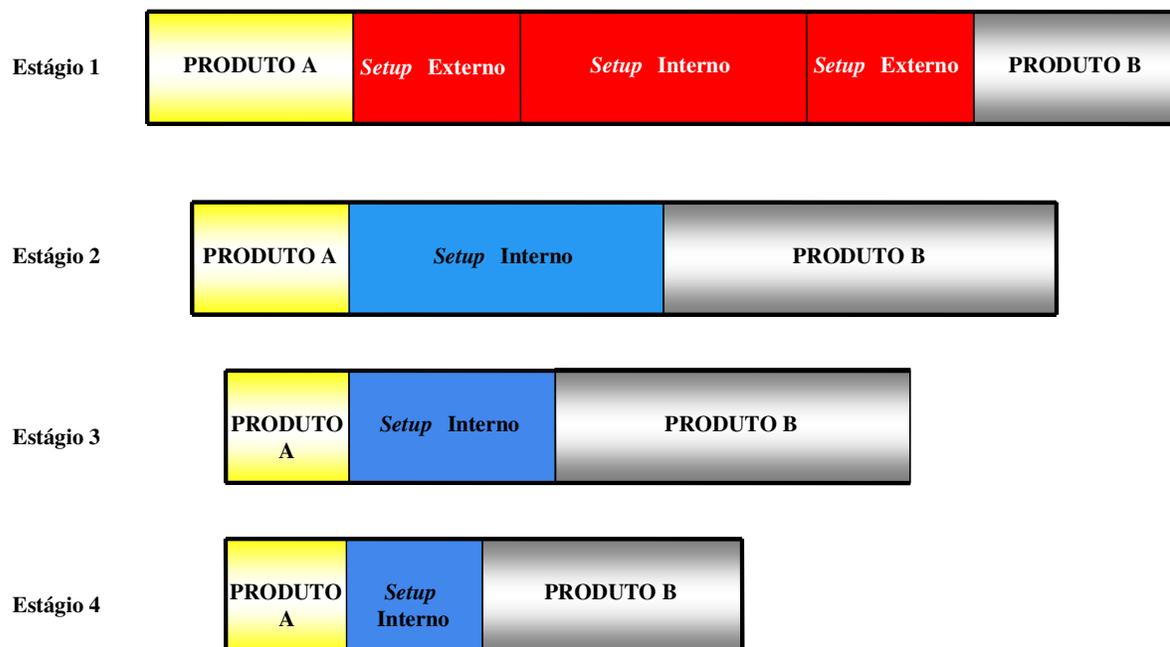


Figura 6 Estágios de Redução do Tempo de *Setup*.

Note-se que estes estágios citados são o início de um processo de melhorias que busca a redução dos tempos de *setup* visando aumento de flexibilidade e produtividade, agregando maior valor aos produtos.

## 2.7 Células de Manufatura

A célula de manufatura é um *layout* onde diferentes tipos de equipamentos executam operações diferentes em uma seqüência determinada. Ou seja, trata-se de um conjunto de máquinas dispostas em um só local para desenvolver o processo produtivo de forma inteira e por completo.

Uma das vantagens das células de manufatura é permitir o fluxo contínuo e o emprego flexível da mão de obra por meio do trabalho multifuncional.

O sistema celular de manufatura é identificado, segundo Ahi *et al* (2009), como uma técnica para melhorar a produtividade e eficiência na área produtiva pela redução dos tempos de

*setup*, *lead time*, inventário, tamanho de lote, manuseio de materiais, custos de ferramentas, custos com mão de obra e custos com equipamentos.

Para Thorn (1996), outras vantagens da produção por células de manufatura são a ampliação da flexibilidade nos processos (quando comparado com o Sistema de Produção em Massa), a facilidade para se isolar e resolver problemas, a redução e controle de custos, a redução de prazos ou aumento da produção, a melhoria da qualidade, o controle de perdas, a eliminação de refugos, a focalização de novos critérios de projeto e a mudança de práticas dos trabalhadores.

Segundo Rabelo (2004), as empresas obtiveram melhoras significativas com a adoção das células de manufaturas, entretanto o poder sobre a propriedade do trabalho ainda não está totalmente resgatado. É preciso estabelecer maior poder aos trabalhadores, surgindo então o conceito de equipes em células autogerenciáveis, sob uma nova abordagem de como organizar o trabalho em equipes.

Um dos formatos de uma célula de manufatura é o formato em U. É um arranjo compreendido por diversas máquinas agrupadas de acordo com a seqüência de um determinado processo, posicionadas em forma de U a fim de permitir que os trabalhadores possam se deslocar dentro da área de trabalho para operar mais de uma máquina durante o ciclo de fabricação de uma dada peça ou produto.

O uso de manufatura celular para a montagem de componentes, como um projeto de *layout*, visa melhorar a eficiência e a produtividade da manufatura. Para implementar manufatura celular, peças são agrupadas em famílias baseadas em suas similaridades; as máquinas são agrupadas em células para reduzir o movimento intracelular das peças. Para confeccionar estas células é sugerido o uso de matrizes organizadas por máquinas X peças, facilitando a visualização de quantas células são necessárias e qual o melhor agrupamento (Cheng *et al*, 1998). Esta técnica é conhecida com PFA (*Production Flow Analysis*), como pode ser observado na tabela 1:

Tabela 1 Exemplo de matriz inicial e solução final adotada para uma célula.

		Peças				
		1	2	3	4	5
Máquinas	1	0	1	0	1	1
	2	1	0	1	0	1
	3	0	1	0	1	1
	4	1	0	1	0	0

		Peças				
		1	2	3	4	5
Máquinas	2	1	1	0	0	1
	4	1	1	0	0	0
	1	0	0	1	1	1
	3	0	0	1	1	1

O maior problema em linhas de montagem é o balanceamento da linha – balanceamento da carga de trabalho entre os operadores ao longo da linha. As operações de montagem devem ser configuradas para exigir a mesma quantidade de tempo na média e qualquer mudança causará variação no tempo de processamento e taxa de produção. Extensos reprojatos das estações e métodos podem ser requeridos para alcançar um bom balanceamento. Isso geralmente aumenta a flexibilidade da célula (Fumagali, 2001). Tanto a mobilidade dos operadores quanto a multifuncionalidade são as chaves para o projeto de células flexíveis de montagem (Black e Schroer, 1993).

Em manufaturas modernas, a flexibilidade do sistema é essencial para responder às freqüentes mudanças de modelos e mix de produção.

Estrada (2000) enfatiza que uma completa compreensão dos conceitos enxutos obtém resultados superiores ao tradicional Sistema de Produção em Massa.

Para Silva (2003), o Pensamento Enxuto detalha e fornece subsídios teóricos para a mudança de um processo, explicando “O que fazer” e “Como fazer”.

Segundo Lima e Lobo (2002), a implantação de um sistema enxuto não envolve somente o *layout*, mas um conjunto de elementos interdependentes, visando atingir os objetivos de redução do tempo de ciclo e do estoque em processo, da melhoria da qualidade e da redução de custos.

A produção enxuta é um sistema integrado de princípios, práticas operacionais e ferramentas que habilitam e orientam a busca pelo que agrega valor ao consumidor, não se

apoiando em modelos teóricos, mas em práticas e resultados de organizações produtivas de grande desempenho, criando assim o conjunto de técnicas que compõem o padrão enxuto (Jacon, Maestrelli e Batocchio, 2005).

## **2.8 Células de Montagem**

O planejamento do arranjo físico de uma instalação envolve decisões sobre a forma como os recursos serão dispostos e como deverão ser distribuídos os centros de trabalho. Uma preocupação básica está presente em todo o processo de arranjo físico: melhorar a movimentação do trabalho através do sistema quer esta movimentação esteja relacionada ao fluxo de pessoas ou de materiais. O princípio do *layout* celular é o formato em U, onde a entrada e saída de materiais estão na mesma posição (Mondem, 1984). Partindo deste princípio, será feita uma breve comparação entre os *layouts* funcional, em linha e celular, analisando as disposições dos equipamentos e o fluxo das peças.

### **2.8.1 Layout Funcional**

No *layout* funcional, comumente a alimentação de material ocorre pelo lado direito do posto do operador e a saída de material se dá pelo lado esquerdo. O deslocamento das peças é feito através de pequenas caixas (lotes), uma vez que existe certa distância entre os postos de trabalho. Normalmente, neste tipo de *layout*, existem postos de trabalho que realizam a mesma operação. Esta presença de operações paralelas dificulta a localização do posto exato que ocasionalmente esteja gerando defeitos nos produtos, que tem seu custo aumentado, uma vez que, caso o defeito seja percebido na última operação da montagem, todo o lote deverá ser inspecionado, as peças boas deverão ser separadas das que apresentam o defeito, e estas deverão

ser retrabalhadas.

Neste formato de *layout* nota-se ainda que, em função da utilização de caixas aumenta-se o tempo de atravessamento, que leva em consideração o tempo necessário para se processar uma caixa de peças, o tempo de se preparar a célula (*setup*) e processar outros itens da família e o tempo de transporte da caixa para o local de utilização, mais qualquer tempo de espera ou atraso. Entende-se por esperas de lote o fato de que a primeira peça não pode ser transportada para o próximo posto até que a última peça do lote seja produzida. Assim, lotes menores reduzem os tempos de espera de lote. (Fumagali, 2001).

Neste formato de *layout* verifica-se também o isolamento do operador em relação às demais etapas em função do posicionamento dos postos, bem como do método de alimentação, impedindo-o de trabalhar em mais de um posto e de se comunicar com os demais operadores. Outro fator importante a ser observado é o fato de operador utilizar a mão direita para retirar o material da caixa para prosseguir com sua operação, mostrado na figura 7.

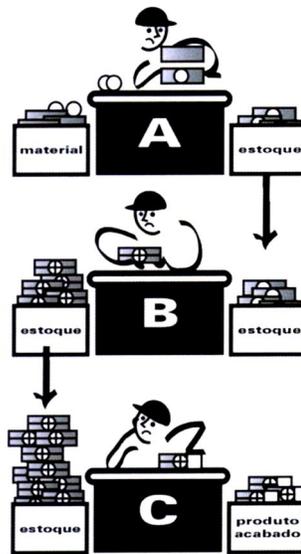


Figura 7 Isolamento dos postos de trabalho (Rother e Shook, 2003).

Este *layout* também gera a superprodução. Cada processo no *layout* funcional opera como uma ilha isolada. Como o material produzido não é necessário ainda, ele deve ser manuseado, contado, armazenado etc, gerando puro desperdício. Os defeitos permanecem encobertos nos estoques em processo, até que o processo seguinte finalmente utilize estas peças e descubra o problema, que já se ampliou e se tornou mais difícil de se localizar. Como resultado, enquanto o tempo de agregação de valor para produzir um produto é pequeno, o tempo total que o produto gasta percorrendo a planta é muito longo.

Para reduzir este longo *lead time*, desde a matéria-prima até o produto acabado, é preciso fazer mais do que simplesmente tentar eliminar o desperdício óbvio, ou seja, é preciso eliminar as fontes de desperdício. Neste caso, a fonte mais importante de desperdício é a super produção, que significa produzir mais, antes ou mais rápido que o necessário para o processo seguinte. A superprodução causa todo tipo de desperdício. Os lotes devem ser estocados, demandando espaço, devem ser manuseados, demandando pessoas e equipamentos, devem ser classificados e retrabalhados quando apresentam defeitos, além de resultar em faltas, porque os processos estão ocupados fazendo as coisas erradas, demandando operadores e equipamentos extras, pois estes recursos estão sendo utilizados para produzir peças que ainda não são necessárias, aumentando o *lead time*, prejudicando assim a flexibilidade em responder às necessidades dos clientes. Outra característica deste formato de *layout* é que o material se desloca, buscando as diferentes etapas do processo sem uma rota única.

### **2.8.2 *Layout* em Linha**

Este *layout* se caracteriza pelo fluxo contínuo de peças, apresentando uma significativa melhora no tempo de atravessamento do produto em relação ao *layout* funcional. O fluxo unitário contínuo significa produzir uma peça de cada vez, com cada item sendo passado imediatamente de um estágio do processo para o seguinte sem nenhuma parada (e muitos outros desperdícios)

entre eles. Neste formato de *layout*, porém, a transferência do produto é feita, normalmente, através de uma esteira, que dita o ritmo da montagem., como mostra a figura 8.

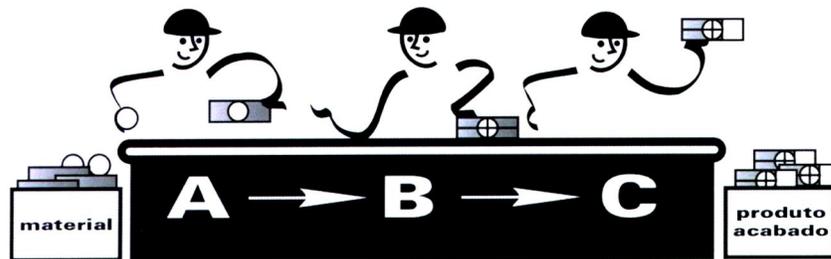


Figura 8 Fluxo Contínuo (Rother e Shook, 2003).

Em função de o ritmo ser ditado por uma esteira, pode ocorrer, quando o tempo operador estiver acima do tempo determinado pela esteira, a passagem de peças sem estas serem montadas ou, o próprio operador aumentar seu ritmo de produção, diminuindo o tempo necessário para a montagem das peças de forma adequada, recuperando, a seu ver, o tempo perdido, aumentando, assim, a possibilidade da ocorrência de problemas de qualidade.

Da mesma maneira que no *layout* funcional, a presença de operações paralelas dificulta a rastreabilidade dos produtos, podendo ocasionar aumento de custos pelo fato de o problema não ser resolvido em sua raiz, mas somente ser retrabalhado no final do processo. Este fato se apresenta diminuído quando relacionado ao estoque reduzido proporcionado pelo fluxo unitário de peças. Outro fato comum nestes dois formatos de *layout* é a utilização do sistema de alimentação pela lateral dos postos de trabalho, dificultando assim a movimentação e comunicação entre os operadores. Outra característica deste formato de *layout* é que o material percorre um caminho previamente determinado pelo processo, sem caminhos alternativos.

### 2.8.3 *Layout* Celular

Manufatura celular pode ser definida como a divisão física de um processo de manufatura. Cada célula é projetada para produzir eficientemente tipos comuns, ou forma de peças que tenham máquinas, processos e fixações similares.

O *layout* em formato celular é o rearranjo do *layout* do setor de manufatura em ilhas de produção. Este rearranjo em forma de U apresenta como principais benefícios a facilidade para o retrabalho quando forem encontrados itens defeituosos já na sua geração, a ausência de corredores implicando na eliminação de pessoas que não estão sendo utilizadas nas atividades produtivas e a facilidade de movimentação de materiais e ferramental, que está ligada ao encurtamento da distância entre os equipamentos e postos de trabalho.

Em função da proximidade dos postos, a comunicação entre os operadores melhora significativamente. O fato de os operadores visualizarem os postos anteriores e posteriores aumenta a sensibilidade de cada operador sobre a importância de como recebe e entrega o produto montado (Fumagali, 2001).

Este formato de *layout* geralmente adota a alimentação de material pela frente dos postos, possibilitando a movimentação do operador entre todos os postos de trabalho no lado interno à célula.

Como no *layout* em formato de linha, o fluxo das peças também é unitário neste formato, porém, não ocorre o paralelismo de operações durante a montagem, possibilitando à peça percorrer um único caminho, melhorando assim a rastreabilidade do produto e diminuindo o tempo de atravessamento durante a montagem. Outro importante fator é o fato de o operador utilizar sua mão esquerda para começar seus trabalhos.

Em uma célula, pelo fato de as operações estarem próximas umas às outras, pode ocorrer a dependência entre as operações, similar ao problema imposto pela utilização de esteiras no

*layout* em linha. Para se resolver este problema se utiliza um desacoplador (termo criado por Black e Schroer, 1988), que é o responsável pela quebra das dependências entre os processos em um ambiente celular. Os desacopladores são colocados entre operações, processos ou máquinas proporcionando flexibilidade, controle de qualidade, controle de produção e diminuição no atraso no processo da célula (Fumagali, 2001).

A utilização de *layouts* em formato celular em Sistemas de Manufatura apresenta diversos benefícios, que são listados de forma sintética a seguir (Fumagali, 2001):

- Diminuição do *lead time*, devido à eliminação de estoques intermediários e fluxo unitário de peças;
- Melhor rastreabilidade do produto e detecção mais rápida de defeitos devido ao fluxo unitário de peças;
- Facilidade de gerenciamento da célula, devido à peça ter um único caminho a percorrer;
- Diminuição de perdas (os sete desperdícios);
- Melhor comunicação entre os operadores e integração do grupo;
- Maior facilidade do operador visualizar todo o processo;
- *Layout* que torna o ambiente de trabalho mais limpo e saudável;
- Facilidade do operador se locomover nos postos de montagem;
- Maior sinergia do grupo de trabalho.

Ainda de acordo com Fumagali (2001), há ganhos com a utilização de *layouts* em formato celular em comparação aos *layouts* tradicionais, como o aumento de 10 a 20% na produtividade da mão-de-obra direta, diminuição entre 70 e 90% dos equipamentos de movimentação e manuseio de materiais, redução de 95% dos estoques em processo e a diminuição de 50% na área de fabricação. Porém, algumas considerações se fazem importantes para a obtenção de todos os benefícios citados anteriormente:

- Superprodução não é permitida;
- Considerar aspectos ergonômicos no momento do projeto;
- Trabalhadores se movimentam entre as estações de trabalho;

- Usar sistemas de fixar ao invés de sistemas de ajustamento;
- Fazer trabalho manual em paralelo com o trabalho das máquinas;
- Nunca passar um defeito;

## 2.9 Tempo *Takt* x Tempo de Ciclo

A palavra alemã '*takt*' serve para designar o compasso de uma composição musical, tendo sido introduzida no Japão nos anos 30 com o sentido de 'ritmo de produção', quando técnicos japoneses estavam a aprender técnicas de fabricação com engenheiros alemães (Rother e Shook, 2003).

O tempo *takt* é definido a partir da demanda do mercado e do tempo disponível para produção; é o ritmo de produção necessário para atender a demanda. Matematicamente, resulta da razão entre o tempo disponível para a produção e o número de unidades a serem produzidas.

$$\text{Tempo } Takt = \frac{\text{Tempo de Trabalho disponível (por período)}}{\text{Demanda do cliente (em peças, por período)}} \quad (\text{Equação 1})$$

Iwayama (1997) afirma que o tempo *takt* é o ritmo de produção necessário para atender a um determinado nível considerado de demanda, dadas as restrições de capacidade da linha ou célula. Concretamente, o tempo *takt* é o ritmo de produção alocado para a produção de uma peça ou produto em uma linha ou célula, com a diferença que se reconhece explicitamente nesta definição que o ritmo eventualmente necessário pode não ser suportado pelo sistema de produção. Assim, o tempo *takt* pode ser legitimamente entendido como o tempo que rege o fluxo dos materiais em uma linha ou célula.

A compreensão do importante conceito de tempo *takt* só é de fato possível quando contrastado com o de tempo de ciclo, cuja duração é dada pelo período transcorrido entre a repetição de um mesmo evento que caracteriza o início ou fim desse ciclo. Em um sistema de

produção, o tempo de ciclo é determinado pelas condições operativas da célula ou linha.

Quando analisada uma operação isolada, o tempo de ciclo é igual ao tempo padrão; é o tempo que consta nos roteiros de produção dos sistemas de Planejamento e Controle da Produção. Por exemplo, para o caso de uma máquina dedicada com um tempo padrão de 2,5 minutos (no caso, 150 segundos), o tempo de ciclo também será de 2,5 minutos (150 segundos); isto é, a cada 2,5 minutos (150 segundos) pode ser produzida uma peça, repetindo-se um ciclo. Assim, pode-se dizer que o tempo de ciclo da linha ou célula é o tempo de execução da operação ou das operações, na máquina/posto mais lento, ou em outras palavras, é o ritmo máximo possível, mantidas as condições atuais (Alvarez e Antunes, 2001).

Apesar de parecer simples, produzir de acordo com o tempo *takt* requer um esforço concentrado para fornecer resposta rápida (dentro do *takt*) para problemas, eliminar as causas de paradas de máquinas não programadas, além de eliminar tempos de troca em processos fluxo abaixo, como processos de montagem (Rother e Shook, 2003).

## **2.10 Nivelando o Volume de Produção – Sistema Puxado**

Os sistemas de produção que não seguem os conceitos da produção enxuta são chamados de Sistemas Empurrados de Produção. Num sistema empurrado, segundo Tardin (2001), a programação da produção baseia-se em estimativas de tempo, em relatórios de estoque e em previsões de demanda. A programação é então realizada por um grupo de programadores da produção, que recebem os pedidos dos clientes com antecedência, programando os estágios do processo, que recebem a informação da seqüência dos pedidos e dos tamanhos dos lotes de produção. A figura 9 mostra, de maneira esquemática, os fluxos de informação e material.

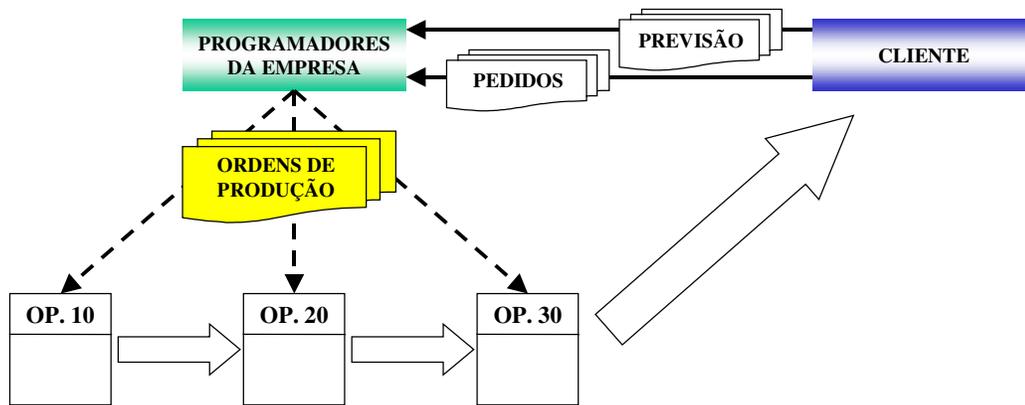


Figura 9 Sistema Empurrado de Produção

Este tipo de sistema de produção acontece porque há pontos durante o processo, onde o fluxo contínuo não é possível, e, fabricar em lotes, se faz necessário. Isto pode ocorrer quando alguns processos são projetados para operar em tempos de ciclo muito rápidos ou muito lentos e necessitam mudar para atender à múltiplas famílias de produtos (como em setores de estamperia, injeção, forjaria), ou quando alguns processos estão distantes e o transporte/fluxo unitário não é realista, ou ainda quando alguns processos têm *lead time* muito elevados ou não são confiáveis para ligarem-se diretamente a outros processos em fluxo contínuo. Nestes casos deve-se evitar produzir em lotes grandes, procurando prever o que o processo cliente (processo seguinte) irá utilizar. A liberação de lotes grandes de trabalho causa vários problemas, como:

- Não se tem uma noção de tempo *takt*;
- O volume de trabalho realizado normalmente ocorre de forma irregular no decorrer do tempo, com picos e depressões que causam sobrecarga extra nas pessoas e máquinas;
- A situação torna-se difícil de monitorar (tempo);
- Com uma grande quantidade de trabalho liberado para o chão de fábrica, cada processo pode alterar a seqüência dos pedidos, aumentando o *lead time* e a necessidade de acelerar, dificultando a resposta às mudanças dos clientes.

Pode-se então estabelecer um ritmo de produção consistente ou nivelado, criando um fluxo de produção previsível que nos alerta para os problemas, onde podemos tomar rápidas ações corretivas. Para isso, controla-se a produção ligando os processos aos processos clientes

posteriores, através de um sistema puxado, baseado em supermercados (estoques com níveis controlados). Em síntese, normalmente implementa-se um sistema puxado onde o fluxo contínuo é interrompido e o processo anterior ainda deve operar com base em lotes.

Usualmente, este sistema puxado com supermercado é feito através da utilização de kanbans (cartões de autorização de produção). Para tanto, existe o kanban de produção, que dispara a produção de peças, e o kanban de retirada, que funciona como uma lista de compras que instrui um movimentador de materiais ou alimentador de linha, à pegar e transferir peças (Rother e Shook, 2003).

O objetivo de se colocar um sistema puxado entre dois processos é ter uma maneira de dar a ordem exata a um certo processo, sem tentar prever a necessidade do processo posterior, evitando os desperdícios causados pela superprodução. Este Sistema Puxado de Produção é representado esquematicamente na figura 10.

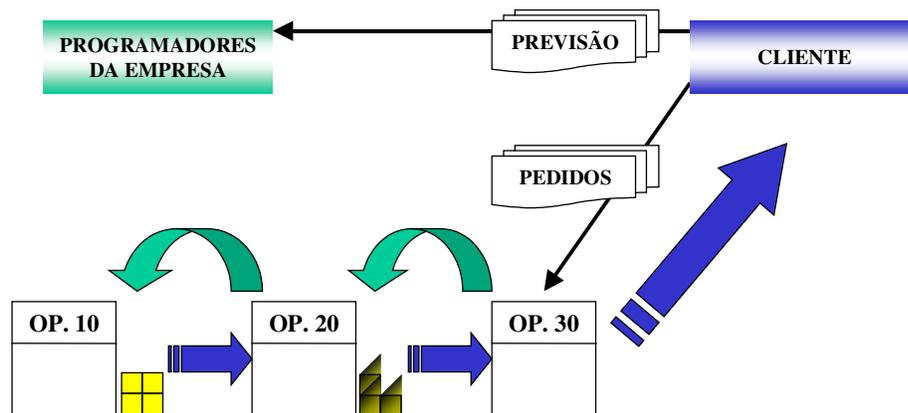


Figura 10 Sistema Puxado de Produção

Deve-se ressaltar a diferença entre o supermercado, explanado acima, e o estoque de segurança, também conhecido como estoque pulmão, que é utilizado para proteger contra repentinas flutuações dos pedidos dos clientes. Este tipo de estoque se caracteriza por ser de utilização temporária, utilizada somente até a causa do problema ser encontrada e eliminada.

## 2.11 OEE - Overall Equipment Effectiveness

Um importante indicador para ajudar a monitorar os resultados é o OEE (sigla em inglês para *Overall Equipment Effectiveness* – Eficiência Global do Equipamento, que trabalha com índices de Disponibilidade, Eficiência e Qualidade). A multiplicação destes índices, em unidades percentuais, formam o valor do OEE, também em percentual. A figura 11 demonstra o significado de cada índice, bem como a forma de cálculo dos mesmos e do OEE.

<b>OEE</b>
=
<b>Índice de Disponibilidade</b>
Quanto tempo a máquina trabalhou na realidade?
$\frac{\text{Tempo Real de Operação}}{\text{Tempo Disponível}}$
x
<b>Índice de Eficiência</b>
Qual o desempenho da máquina quando trabalhou?
$\frac{\text{Tempo de Ciclo Ideal} \times \text{Peças Produzidas}}{\text{Tempo Real de Operação}}$
x
<b>Índice de Qualidade</b>
Quantas peças boas foram produzidas?
$\frac{\text{Peças Produzidas} - \text{Total de Defeitos}}{\text{Peças Produzidas}}$

Figura 11 Forma de Cálculo do OEE.

Segundo Santos *et al* (2007), a medição da eficiência global dos equipamentos pode ser aplicada de diferentes formas e objetivos, e, a análise do OEE de um grupo de máquinas de uma linha de produção ou de uma célula de manufatura permite identificar o recurso com menor eficiência, possibilitando, desta forma, focalizar esforços nesses recursos.

Por trabalhar com os principais indicadores de uma linha de produção ou montagem (Disponibilidade, Eficiência e Qualidade), ao se calcular o OEE de um equipamento gargalo (ou grupo de equipamentos), torna-se possível desmembrar o número final do OEE e analisar em qual dos indicadores pode-se realizar melhorias, quer seja aumentando o tempo disponível de trabalho (reduzindo os tempos de manutenção corretiva e *setup*), quer seja melhorando-se a eficiência com que os produtos são produzidos (aproximando-se o tempo real de operação do tempo ideal de produção), ou ainda, aumentando-se o nível de qualidade dos produtos (busca pelo Zero Defeito).

## **2.12 Comentários Finais**

Faz-se fundamental entender que os Sete Desperdícios existem de diversas formas dentro de uma organização, e, estes devem ser eliminados ou reduzidos. Da mesma forma existem diversas ferramentas e metodologias que podem ser utilizadas para a eliminação ou redução destes desperdícios. Porém, o mais importante é ter-se em mente a filosofia da Melhoria Contínua e do Pensamento Enxuto, onde as ações para a eliminação ou redução dos Sete Desperdícios devem ser sempre bastante simples.

## 3 METODOLOGIA E ESTRATÉGIA DE PESQUISA

### 3.1 Introdução

Este capítulo aborda a metodologia adotada (DMAIC), com suas particularidades, determinando o modelo DMAIC de implantação, além da apresentação do ciclo PDCA de Deming.

Esta capítulo aborda também as diferentes estratégias de pesquisa e qual delas será utilizada nesta dissertação, fundamentada em critérios comparativos entre as mesmas.

### 3.2 Metodologia - O Modelo DMAIC de implementação

Diversos modelos de melhoria vêm sendo aplicados a processos e sistemas que requeiram acompanhamento para verificação e validação dos resultados obtidos.

Muitos destes modelos se baseiam no tão difundido ciclo de melhorias PDCA (*Plan* - Planejar, *Do* - Fazer, *Check* - Verificar, *Act* - Agir).

De acordo com Jansen (2009), as quatro etapas do ciclo PDCA de melhorias podem ser descritas como:

- Planejar (*Plan*): Avaliar o desempenho atual, coletar dados sobre o problema, identificar e estabelecer metas relativas à causa raiz do problema e gerar um plano de ações.
- Fazer (*Do*): Implementar o plano de ações.
- Verificar (*Check*): Verificar se os resultados obtidos estão em acordo com os resultados esperados.
- Agir (*Act*): Baseado nos resultados obtidos, expanda as soluções encontradas ou reinicie o ciclo na busca de novas soluções.

Embora o ciclo PDCA seja amplamente aplicado, para Pyzdek (2003) *apud* Jansen (2009) o PDCA é um ciclo de planejamento e aprendizado que somente pode ser utilizado enquanto o sistema ou processo estudado se apresentar de forma estável ou próxima à estabilidade.

O modelo DMAIC e muitas outras metodologias de resolução de problemas são baseadas na mesma lógica do ciclo PDCA, introduzido por W. Edwards Deming. Segundo Werkema (2002) *apud* Ohosaku (2005), como outros métodos de melhoria, o DMAIC baseia-se no ciclo original do PDCA, porém ele é aplicado tanto em esforços de Melhoria de Processo quanto em Projeto/Reprojeto. A figura 12, adaptada de Werkema (2002) *apud* Ohosaku (2005), mostra como ambos estão relacionados e como, de certa forma, o DMAIC refina o PDCA, organizando melhor as etapas:



Figura 12 O ciclo PDCA e a metodologia DMAIC (adaptada de Werkema (2002) *apud* Ohosaku (2005))

De acordo com Balaben (2004) e Krähembühl (2005), o DMAIC é um modelo utilizado para melhoria de performance, constituído de 5 fases:

- Definir (*Define*): Definir o problema e o processo a ser melhorado e os requerimentos do cliente. Nesta etapa, temos as definições de foco de trabalho e de medidas de desempenho (indicadores) do projeto.
- Medir (*Measure*): Identificar as variáveis críticas tanto do processo como dos resultados. Nesta fase iniciam-se as coletas de dados e as medições para caracterizar o estado atual do processo, buscando determinar a capacidade do processo para atender as especificações.
- Analisar (*Analyse*): Criticar o sistema atual quanto aos conceitos empregados nele e analisar os dados coletados na fase anterior de diferentes formas para entender as relações entre causa e efeito. Nesta fase estabelecem-se hipóteses sobre os sistemas de causas e se estuda a relação entre as variáveis de processo e as variáveis de saída visando-se aumentar o entendimento sobre os problemas e obter um modelo de como as causas provavelmente atuam.
- Melhorar (*Improve*): Gerar soluções criativas para melhorar o processo com base na análise realizada anteriormente, avaliando as alternativas e selecionando uma solução. É nesta fase que ocorre o planejamento para a implementação da solução (Plano de Ações).
- Controlar (*Control*): Colocar o plano de implementação em prática, disciplinar e padronizar o novo processo e documentar as mudanças. Nesta fase estabelecem-se ainda processos de controle baseados em medidas e sistemas de gerenciamento do processo.

De forma didática, o Modelo DMAIC pode ser resumido conforme a tabela 2.

Tabela 2 Modelo DMAIC de implantação.

<b>Etapa 1 – Definir</b>	<b>Etapa 2 - Medir</b>	<b>Etapa 3 - Analisar</b>	<b>Etapa 4 - Melhorar</b>	<b>Etapa 5 - Controlar</b>
Descrição do Problema	Levantamento de Dados	Mapa do Fluxo de Valor do Estado Futuro	Implantação dos indicadores	Documentar melhorias
Definição da Equipe de Trabalho	Análise de Dados	Discussões sobre oportunidades	Implantação das melhorias	Criar padrões de auditoria e sistematização
	Análise de Oportunidades	Construção do modelo		Planejar novas melhorias
	Mapa do Fluxo de Valor do Estado Atual	Definição de Indicadores		

A representação didática mostrada na tabela 2 é a base que será adotada como metodologia para a resolução dos problemas que serão apresentados no capítulo 4, a seguir.

### **3.3 Estratégias de Pesquisa - Caracterização da Pesquisa**

Segundo Anholon (2006), na ciência, os métodos constituem os instrumentos básicos para que os cientistas trabalhem com um pensamento sistêmico e alcancem os objetivos pré-

estabelecidos.

Lakatos & Marconi (1991) *apud* Anholon (2006), acreditam que, ao desenvolver uma pesquisa baseada em métodos científicos, atua-se a favor da segurança e da economia, já que estes permitem a correção de erros e auxiliam nas decisões dos pesquisadores. Tudo começa pelo levantamento do problema a ser solucionado num conjunto de conhecimentos. Destaca-se que esse problema também pode se caracterizar como uma lacuna ainda não explicada. O pesquisador deve, então, expressá-lo de maneira clara e, se possível, analisá-lo sob a luz de novos conhecimentos, buscando instrumentos ou conhecimentos relevantes para tal. Na seqüência, o pesquisador parte para a proposição de um plano de ação e tentativa de solução do problema. Caso encontre uma solução satisfatória, deverá confrontá-la com o restante da teoria e, se a mesma se demonstrar adequada, finalizar a pesquisa. Caso a solução não seja satisfatória, o pesquisador deverá reanalisar os dados disponíveis e propor novos modelos até que o mesmo seja solucionado. A partir daí, se o confronto com a teoria existente for satisfatório, finaliza-se a pesquisa, caso contrário inicia-se um novo ciclo.

De acordo com Ventura (2007), toda pesquisa científica necessita definir seu objeto de estudo e, a partir daí, construir um processo de investigação, delimitando o universo que será estudado.

Para Gil (2002), as estratégias de pesquisa se dividem em 10 subgrupos, conforme breve descrição abaixo:

i) pesquisa bibliográfica: desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos. Embora em quase todos os estudos seja exigido algum tipo de trabalho dessa natureza, há pesquisas desenvolvidas exclusivamente a partir de fontes bibliográficas.

ii) pesquisa documental: assemelha-se muito à pesquisa bibliográfica. A diferença essencial entre ambas está na natureza das fontes. Enquanto a pesquisa bibliográfica se utiliza fundamentalmente das contribuições dos diversos autores sobre determinado assunto, a pesquisa

documental vale-se de materiais que não recebem ainda um tratamento analítico, ou que ainda podem ser reelaborados de acordo com os objetos da pesquisa.

iii) pesquisa experimental: consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

iv) pesquisa *ex-post-facto*: verificar a existência de relações entre variáveis. Seu planejamento também ocorre de forma bastante semelhante. A diferença mais importante entre as duas modalidades está em que na pesquisa *ex-postfacto* o pesquisador não dispõe de controle sobre a variável independente, que constitui o fator presumível do fenômeno, porque eleja ocorreu. O que o pesquisador procura fazer neste tipo de pesquisa é identificar situações que se desenvolveram naturalmente e trabalhar sobre elas como se estivessem submetidas a controles.

v) estudo de Coorte: refere-se a um grupo de pessoas que têm alguma característica comum, constituindo uma amostra a ser acompanhada por certo período de tempo, para se observar e analisar o que acontece com elas.

vi) levantamento: interrogação direta das pessoas cujo comportamento se deseja conhecer. Basicamente, procede-se à solicitação de informações a um grupo significativo de pessoas acerca do problema estudado para, em seguida, obterem-se as conclusões correspondentes aos dados coletados.

vii) estudo de campo: apresenta muitas semelhanças com o levantamento. De modo geral, pode-se dizer que o levantamento tem maior alcance e o estudo de campo, maior profundidade. Tipicamente, o estudo de campo focaliza uma comunidade, que não é necessariamente geográfica, já que pode ser uma comunidade de trabalho, de estudo, de lazer ou voltada para qualquer outra atividade humana.

viii) estudo de caso: caracteriza-se pelo estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos para que se alcance um amplo e detalhado conhecimento do mesmo. Nas ciências sociais a distinção entre o fenômeno e seu contexto representa uma das grandes dificuldades com que se

deparam os pesquisadores; o que, muitas vezes, chega a impedir o tratamento de determinados problemas mediante procedimentos caracterizados por alto nível de estruturação, explica-se, então, a crescente utilização do estudo de caso no âmbito dessas ciências, com diferentes propósitos, tais como:

viii.1) explorar situações da vida real cujos limites não estão claramente definidos;

viii.2) preservar o caráter unitário do objeto estudado;

viii.3) descrever a situação do contexto em que está sendo feita determinada investigação;

viii.4) formular hipóteses ou desenvolver teorias; e

viii.5) explicar as variáveis causais de determinado fenômeno em situações muito complexas que não possibilitam a utilização de levantamentos e experimentos.

ix) pesquisa-ação: é uma pesquisa com base empírica na qual os pesquisadores e participantes representativos da situação estão envolvidos de modo cooperativo e participativo (Thiollent, 1985 *apud* Gil 1988 e Anholon 2006).

x) pesquisa participante: assim como a pesquisa-ação, caracteriza-se pela interação entre pesquisadores e membros das situações investigadas. A pesquisa participante, por sua vez, envolve a distinção entre ciência popular e ciência dominante.

Após esta breve definição dos subgrupos das estratégias de pesquisa, torna-se claro ao autor desta dissertação que a melhor estratégia a ser adotada é a do tipo Estudo de Caso, decisão esta fortalecida pela interpretação de Ventura (2007), que cita que o estudo de caso como modalidade de pesquisa, é entendido como uma metodologia ou como a escolha de um objeto de estudo definido pelo interesse em casos individuais. Visa à investigação de um caso específico, bem delimitado, contextualizado em tempo e lugar para que se possa realizar uma busca

circunstanciada de informações.

De acordo com Yin (2001), o Estudo de Caso, como estratégia de pesquisa, compreende um método que abrange tudo – com a lógica de planejamento incorporando abordagens específicas á coleta de dados e à análise de dados.

Ventura (2007), cita ainda a existência de alguns equívocos relativos a utilização do Estudo de Caso, tanto quanto ao próprio pesquisador, cujos resultados poderem apresentar dificuldades de generalização caso a unidade escolhida pra investigação seja bastante atípica em relação às muitas da sua espécie, quanto também o entendimento de que, por utilizar uma ou poucas unidades, representa uma pesquisa muito fácil de ser realizada. Essa afirmação simplifica o nível de complexidade envolvido nessa modalidade de pesquisa e o rigor científico necessário ao seu planejamento, análise e interpretação.

### **3.4 Comentários Finais**

O emprego de uma metodologia (DMAIC) na implantação de melhorias faz-se de fundamental importância para o trabalho a ser desempenhado, uma vez que o planejamento principal encontra-se inserido nesta metodologia.

As estratégias de pesquisa, quando divididas em subgrupos, clarificam as dúvidas sobre qual delas utilizar. Desta forma, parte-se para a apresentação da empresa estudada e o Estudo de Caso a que esta dissertação se objetiva.

## **4 ESTUDO DE CASO: UTILIZAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DO SISTEMA DE MANUFATURA ENXUTA EM DUAS ÁREAS GARGALOS DE UMA EMPRESA DO RAMO AUTOMOTIVO.**

Este capítulo aborda a empresa situada, com suas particularidades, além de descrever os processos de fabricação desta empresa e apresentar um estudo de caso da implantação de um sistema de Manufatura Enxuta em duas áreas produtivas de uma empresa do ramo automotivo, que, em função do aumento de demanda, se tornaram áreas gargalo.

### **4.1 Apresentação da Empresa**

A empresa estudada atua no mercado mundial de forjados a quente e a frio, e o grupo é considerado um dos maiores e mais experientes em processos de forjamento e extrusão de componentes para a indústria de autopeças. A empresa tem sua sede situada na Alemanha e atua como um parceiro global da indústria automobilística e líder mundialmente reconhecido em elementos de fixação, porcas especiais e de segurança. O grupo tem unidades nos Estados Unidos, Alemanha, Itália e Índia, além do Brasil (Jundiaí/SP e Betim/MG), com mais de 3.000 funcionários.

As empresas do grupo projetam e executam soluções diferenciadas para câmbio, motor, transmissão, chassi, elementos de fixação de segurança e outras aplicações especiais.

#### **4.1.1 Objeto de Estudo – Unidade Jundiaí, Estado de São Paulo**

A unidade Jundiaí/SP é formada por duas plantas, com suas áreas produtivas divididas como mostra a tabela 3, e é representada na figura 13.

Tabela 3 Processos e Plantas da Unidade Jundiaí/SP

PLANTA 1	PLANTA 2
Estampagem à Frio	Forjaria à Quente
Rosqueadeiras e Laminação	Extrusão à Frio
Prensas	Jateamento
Tratamento Térmico - Têmpera e Revenimento	Tratamento Térmico - Recozimento
Lavador	Usinagem
Inspeção Visual	Tratamento Superficial
Embalagem	Inspeção Visual
Expedição	Expedição



Figura 13 Plantas da Unidade Jundiaí/SP

Pode-se verificar através da figura 13 que as duas plantas estão separadas, porém, os processos de fabricação estão intimamente conectados, principalmente no que diz respeito às etapas de Tratamento Térmico – Têmpera e Revenimento e de Embalagem.

A empresa possui ainda indicadores de desempenho. A definição destes indicadores não é uma das mais simples tarefas, pois cada processo ou sistema pode ter os seus indicadores conforme suas necessidades específicas. A tabela 4 mostra os principais indicadores utilizados no sistema de manufatura estudado.

Tabela 4 Indicadores de desempenho adotados no sistema de manufatura estudado

<b>Nome do Indicador</b>	<b>Unidade de Medida</b>
Índice de Refugo	PPM
Índice de Retrabalho	PPM
Índice de Produtividade dos Empregados Diretos	%
Índice de Manutenção sobre o Faturamento	%
Dias em atraso no Cliente Externo	dia
Dias em atraso no Cliente Interno	dia
Valor de Fretes Especiais sobre o Faturamento	%
Índice de Horas-Extras sobre o Faturamento	%
Nível de Inventário	dia
<i>Lead time</i> médio	dia

#### 4.1.2 Definição do Problema e Oportunidades de Melhoria

Devido ao aumento substancial das vendas de veículos automotores no Brasil no ano de 2008, algumas áreas e famílias de produtos, antes consideradas produtivas e isentas de necessidades de melhorias (foco em outras áreas da empresa), se tornaram gargalos para o crescimento da empresa e também para o atendimento aos clientes. Estas áreas e famílias de produtos são descritas a seguir.

Devido ao crescimento citado, e também à uma projeção de futuro baseada em especulações do mercado automotivo, a empresa decidiu agir em duas frentes piloto.

Uma dessas frentes de trabalho atuou no setor de Forjaria à Quente (figura 14), mais especificamente em uma das quatro máquinas do setor, que projetava um crescimento acentuado dos produtos produzidos nesta máquina de forjar, sendo que, mesmo sem o crescimento citado, já apresentava deficiências quanto aos índices de produtividade, performance de entrega, horas-extras, refugo e retrabalho de peças.



Figura 14 Setor de Forjaria a Quente

Outra frente de trabalho atuou no fluxo de uma família de peças de muita importância para a empresa, pois é um de seus produtos-chave (responsável por 1/3 do faturamento da empresa no Brasil), chamada Família Porcas de Rodas, e que também apresentava as mesmas deficiências que a máquina de forjar citadas anteriormente. Estas peças são usadas principalmente na fixação das rodas dos caminhões e ônibus aos seus respectivos eixos de transmissão. A figura 15 mostra as peças que compõem esta Família Porcas de Roda.



Figura 15 Peças que compõem a Família Porcas de Roda

Definidas as duas frentes de trabalho, através de reuniões com as pessoas e áreas envolvidas (operadores, líderes de produção, logística), sabendo-se das deficiências encontradas, o engenheiro e autor desta dissertação, decide aplicar os conhecimentos de produção enxuta e a metodologia DMAIC na busca de soluções criativas e de resultados satisfatórios nos indicadores oficiais da empresa em conjunto com os operadores das áreas envolvidas. A tabela 5 mostra a estruturação do projeto segundo a metodologia DMAIC utilizada.

Tabela 5 Metodologia DMAIC adotada.

<b>Etapa</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Como?</b>	<b>Porque?</b>
D ( <i>Define</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definir a área de atuação e descrever o problema encontrado;</li> <li>- Criar a equipe de trabalho para a resolução do problema.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Através de reuniões com diretoria industrial e departamentos de vendas e logísticas e análise dos históricos de dados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rumo inicial dos trabalhos a serem executados.</li> </ul>
M ( <i>Measure</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Levantar as informações relevantes sobre o problema;</li> <li>- Analisar as informações e verificar se o que foi definido na etapa anterior é real;</li> <li>- Identificar oportunidades de melhorias.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análise dos 7 Desperdícios;</li> <li>- Mapeamento do Fluxo de Valores do Estado Atual.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conhecimento amplo dos fatos;</li> <li>- Visão geral da situação;</li> <li>- Definição e redefinição correta do foco de atuação.</li> </ul>
A ( <i>Analyse</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analisar detalhadamente as informações obtidas;</li> <li>- Identificar mais oportunidades de melhorias;</li> <li>- Definir os indicadores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mapeamento do Fluxo de Valores do Estado Futuro;</li> <li>- Plano de Ações.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definição das melhorias a serem implantadas e suas prioridades.</li> </ul>
I ( <i>Improve</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Implantar melhorias sugeridas nas etapas anteriores;</li> <li>- Implantar os indicadores definidos nas etapas anteriores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plano de Ações</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Atendimento às necessidades identificadas nas etapas Measure e Analyse.</li> </ul>

<p style="text-align: center;">C (Control)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Documentar as melhorias realizadas;</li> <li>- Definir os novos padrões;</li> <li>- Identificar novas oportunidades de melhorias.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resultados dos indicadores definidos nas etapas anteriores;</li> <li>- Adoção dos novos métodos como padrão de trabalho.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manutenção dos resultados obtidos;</li> <li>- Conceito de Melhoria Contínua.</li> </ul>
--	---	--	--

## 4.2 Análise do Primeiro Objeto de Estudo

O primeiro objeto de estudo foi uma máquina de forjar a quente. Para isto, o trabalho do autor desta dissertação foi a de realizar *workshop lean* nesta que seria a primeira Área Piloto de Implantação *Lean* na empresa estudada, através da metodologia DMAIC. A escolha deu-se pelo fato desta máquina de forjar apresentar um aumento na previsão de vendas de 30% no volume de peças para os anos seguintes (incluindo aumento no *mix* de produtos) e, que no momento do estudo, operava com sua capacidade máxima.

### 4.2.1 Análise das oportunidades de melhoria e definição de foco de atuação

Como parte inicial do *workshop lean*, com duração de 3 dias, em que participaram pessoas de todas as áreas da empresa, o autor desta dissertação apresentou os Sete Desperdícios aos participantes, que, através de análise em loco, em um exercício de observação de 30 minutos, utilizando o formulário do Anexo A, verificou-se a ocorrência dos mesmos em termos de Desperdícios na Visão do Cliente, e, no Fluxo de Materiais. Desta análise dos sete desperdícios e para uma melhor visualização destes desperdícios encontrados, o autor desta dissertação decidiu criar um Quadro de Melhorias da Área Piloto, agrupando as informações coletadas, como mostra a figura 16.

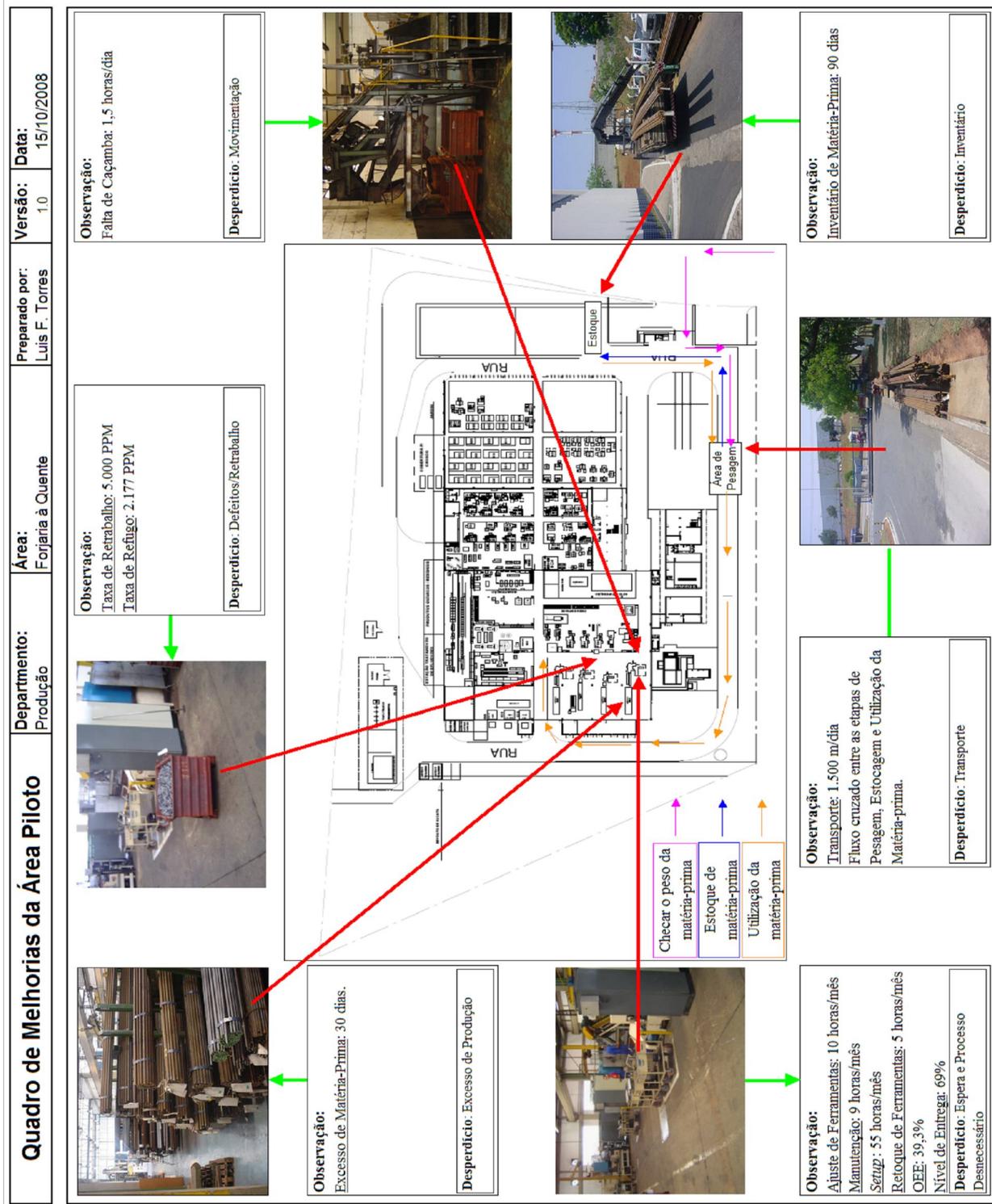


Figura 16 Quadro de Melhorias da Área Piloto

Em função de um dado importante encontrado (tempo de *setup*: 55 horas/mês até o momento do *workshop*), o autor desta dissertação fez uso do sistema de gestão da empresa estudada para verificar o histórico mensal de motivos de interrupções de máquina na área estudada, ampliando o nível de detalhamento do trabalho a ser realizado. O gráfico da figura 17 mostra o Histórico Mensal dos Motivos de Interrupções de Máquina.

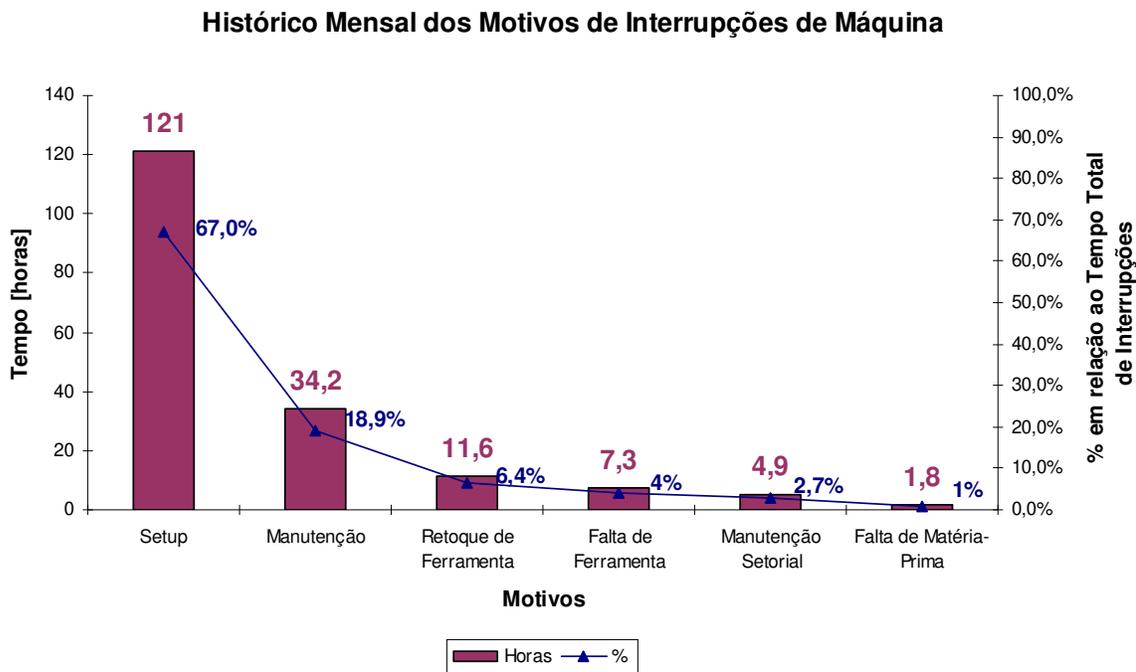


Figura 17 Histórico Mensal dos Motivos de Interrupções de Máquina.

O resultado desta análise mostra um dado importante: o tempo total gasto com *setup* (média mensal) era de 121 horas, das 535 horas disponíveis por mês. De posse destas informações, definiu-se o foco de atuação do grupo de trabalhos, sendo a redução do tempo gasto com *setup* na máquina estudada, o que já prepararia a mesma para uma futura implantação de um Sistema Puxado de Produção.

#### 4.2.2 Definição das metas para o trabalho

Em função do que foi encontrado no exercício de observação dos 7 Desperdícios e das informações coletadas e mostradas na figura 17, fez-se necessário que o autor desta dissertação nivelasse todos os participantes do *workshop* em relação às técnicas de *setup* rápido, principalmente quanto a identificação e separação das atividades em *Setup* Interno e *Setup* Externo.

Com o aumento da demanda em 30% da produção mensal da máquina de forjar estudada, tornou-se necessário a redução do tempo médio de *setup* e ainda o aumento do número de *setups* realizados mensalmente de modo a reduzir os níveis de estoque e ainda para, como dito anteriormente, preparar a máquina para uma futura implantação do Sistema Puxado de Produção. Baseado tanto na produção horária da máquina de forjar estudada, como na divisão dos lotes de forjar em duas etapas (redução do tamanho do lote em 50%), o autor desta dissertação calculou o tempo necessário de *setup* para se atingir as necessidades de produção, através da equação 2 e comunicou o grupo de trabalho as metas definidas, como mostra a tabela 6.

$$T.S = \frac{T_t - \left(\frac{D}{Ph}\right)}{n \times q} \quad \text{(Equação 2)}$$

Onde  $T.S$  é o Tempo Objetivo de *Setup* (em horas),  $T_t$  é o Tempo Total Disponível para Trabalho (tempo que a máquina está disponível para produção, em horas),  $D$  é a Demanda de peças a serem produzidas (em horas),  $Ph$  é a Produção Horária da Máquina (em peças por hora),  $n$  é o número de itens a serem produzidos na máquina e  $q$  é a quantidade de *setups* a serem realizados por item. Desta forma, o Tempo Objetivo de *Setup* é calculado como mostra a equação 3.

$$T.S = \frac{535 - \left( \frac{1.300.000}{4.500} \right)}{77 \times 2}$$

(Equação 3)

$$T.S = 1,6 \text{ horas}$$

Tabela 6 Metas para a Máquina de Forjar.

Indicador	Atual	Meta
Produção Média (mensal, em peças)	1.000.000	1.300.000
Tempo médio de <i>Setup</i>	03h30min	01h36min

Para direcionar o trabalho, as metas foram acordadas pela equipe, bem como com a diretoria da empresa, tendo estas um prazo de seis meses para serem atingidas. A definição das metas deu-se pelos seguintes motivos:

- *Setup* foi o maior motivo de interrupções de máquina na área de forjar à quente;
- A redução do tempo de *setup* se converte em disponibilidade de máquina;
- O tempo de *setup* influencia diretamente na formação do indicador OEE.

#### 4.2.3 Realização das atividades de melhoria

Para melhor entendimento do elevado tempo de *setup*, o autor desta dissertação decidiu realizar a observação de um *setup* na máquina de forjar à quente estudada. Para isto, a agenda do *workshop* para os dois dias seguintes ficou definida da seguinte forma:

- Segundo dia: observação e análise de um *setup* na máquina de forjar à quente estudada.
- Terceiro dia: observação de um *setup* com as melhorias sugeridas da análise anterior e implantadas na máquina de forjar à quente estudada, e elaboração de um plano de ações

para médio e longo prazo.

Baseado nesta agenda, o autor desta dissertação definiu tarefas específicas a serem realizadas durante a observação do *setup*, como mostra a tabela 7, e a figura 18.

Tabela 7 Funções durante o *setup*.

<b>Função</b>	<b>Atividade</b>
Cronometrista	Descrever as atividades realizadas e o tempo decorrido
Escritor	Anotar todas as atividades realizadas pelo operador
Sombra	Acompanhar todos os movimentos do operador
Observador	Observar e anotar todas as atividades do operador (melhorias rápidas)

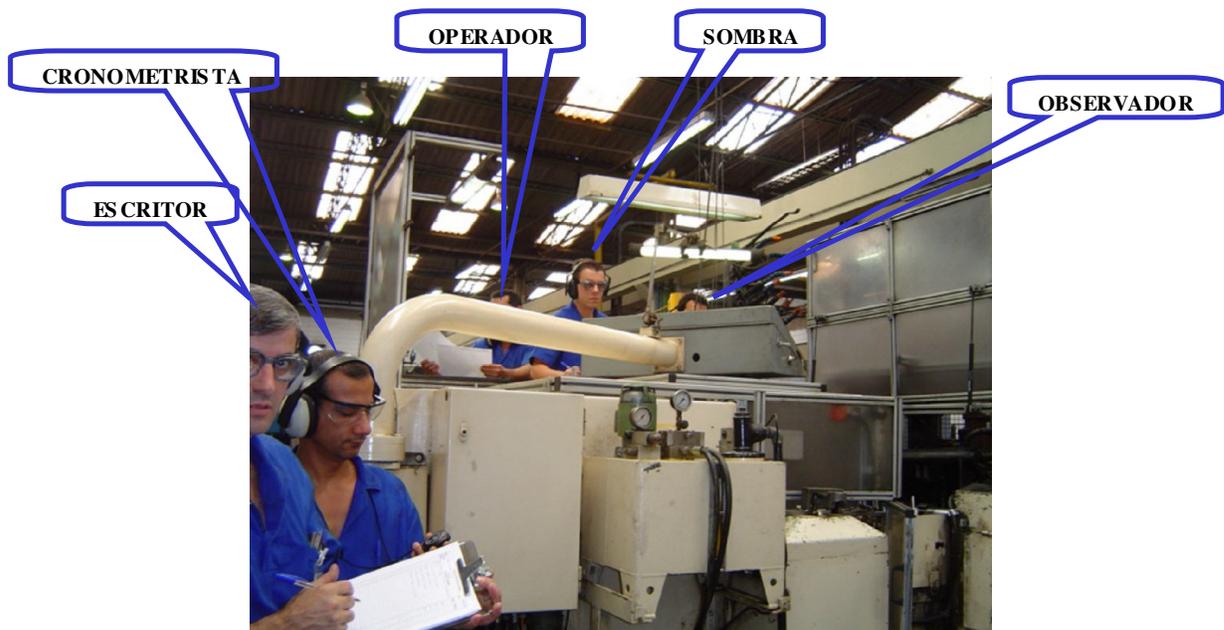


Figura 18 Funções durante o *setup*.

Após a observação do *setup* na máquina de forjar à quente estudada, o grupo de trabalho realizou a análise do que foi observado. Neste momento, tornou-se claro para o autor desta dissertação que o maior dos desperdícios observado foi o de processamento desnecessário, em função de que o operador constantemente precisou se deslocar a outro departamento da empresa, onde as ferramentas de conformação à quente são produzidas e armazenadas, para pequenos reparos nas ferramentas (figura 19(a)), por não estarem em conformidade com os desenhos, obrigando o mesmo a desmontar o conjunto de ferramentas de conformação à quente e monta-lo novamente com as ferramentas corretas (figura 19(b)).



(a)



(b)

Figura 19 Desperdícios verificados durante o *setup*: (a) Operador realizando reparos na ferramenta, (b) Operador montando o conjunto de ferramentas, em outra máquina, de mesmo porte.

O autor desta dissertação reuniu todas as informações coletadas durante o exercício de observação do *setup* e classificou as atividades em *Setup* Interno e *Setup* Externo em uma planilha eletrônica, separando estas atividades (*setups* internos e externos) por cores diferentes, em uma linha do tempo, como mostra a figura 20, e, em formato gráfico, a figura 21 mostra o tempo gasto com as atividades citadas.

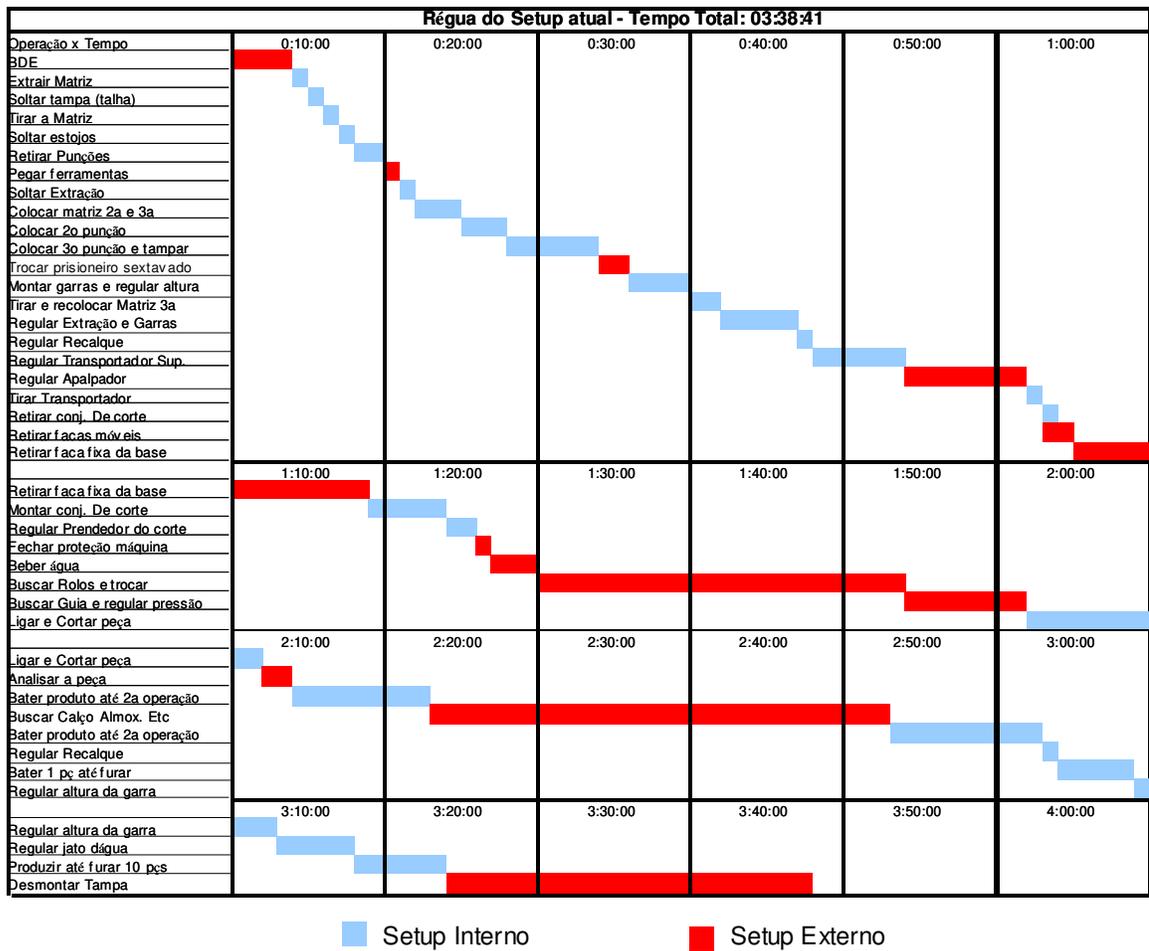


Figura 20 Classificação das tarefas entre *setup* interno e *setup* externo.

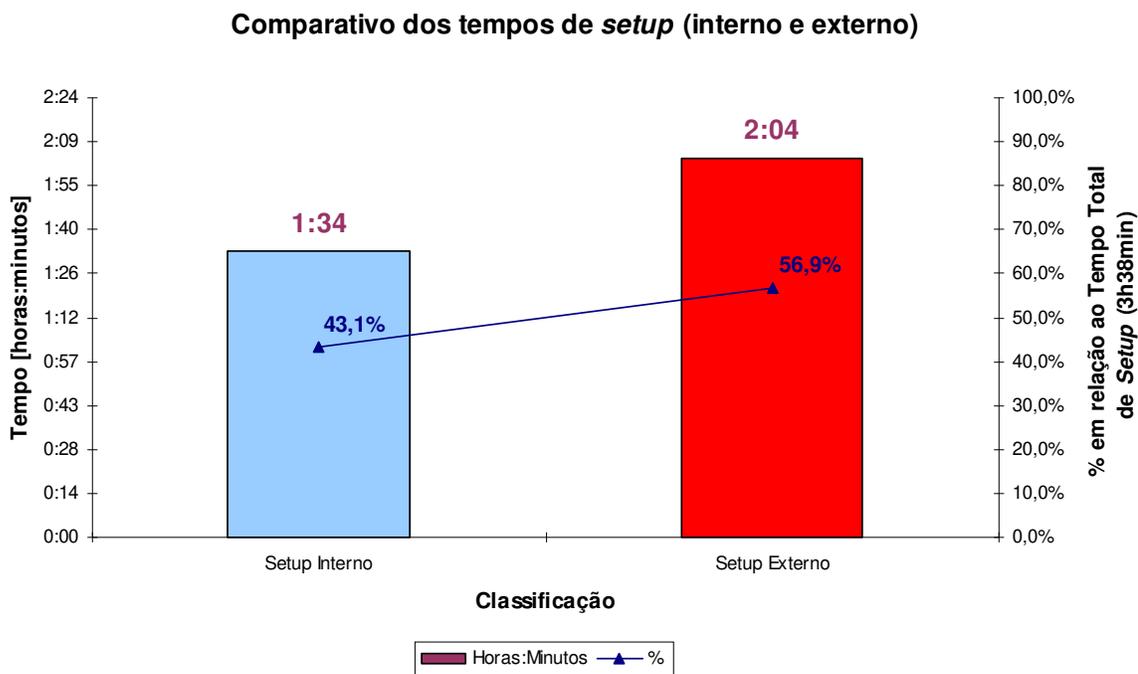


Figura 21 Comparativo dos tempos de *setup* (interno e externo).

Com as informações coletadas pelo integrante do grupo que assumiu a função “sombra”, o autor desta dissertação mostra, de forma esquemática, toda a movimentação realizada pelo operador durante o *setup* (figura 22). O autor desta dissertação convencionou a medida de 0,6m cada passo dado pelo “sombra”. Através desta análise de movimentação que tornou-se possível realizar melhorias rápidas (basicamente compostas por aproximação das necessidades do operador à máquina), de forma a organizar um *setup* com tempo reduzido já no dia seguinte à análise. O autor desta dissertação ressalta que, mais importante que a distância percorrida pelo operador (992 metros), é o tempo gasto, uma vez que, em muitos casos, o operador subiu e desceu degraus de escadas, não sendo possível determinar com exatidão a distância percorrida, o que deixa este valor, em metros, uma medida mais qualitativa que quantitativa.

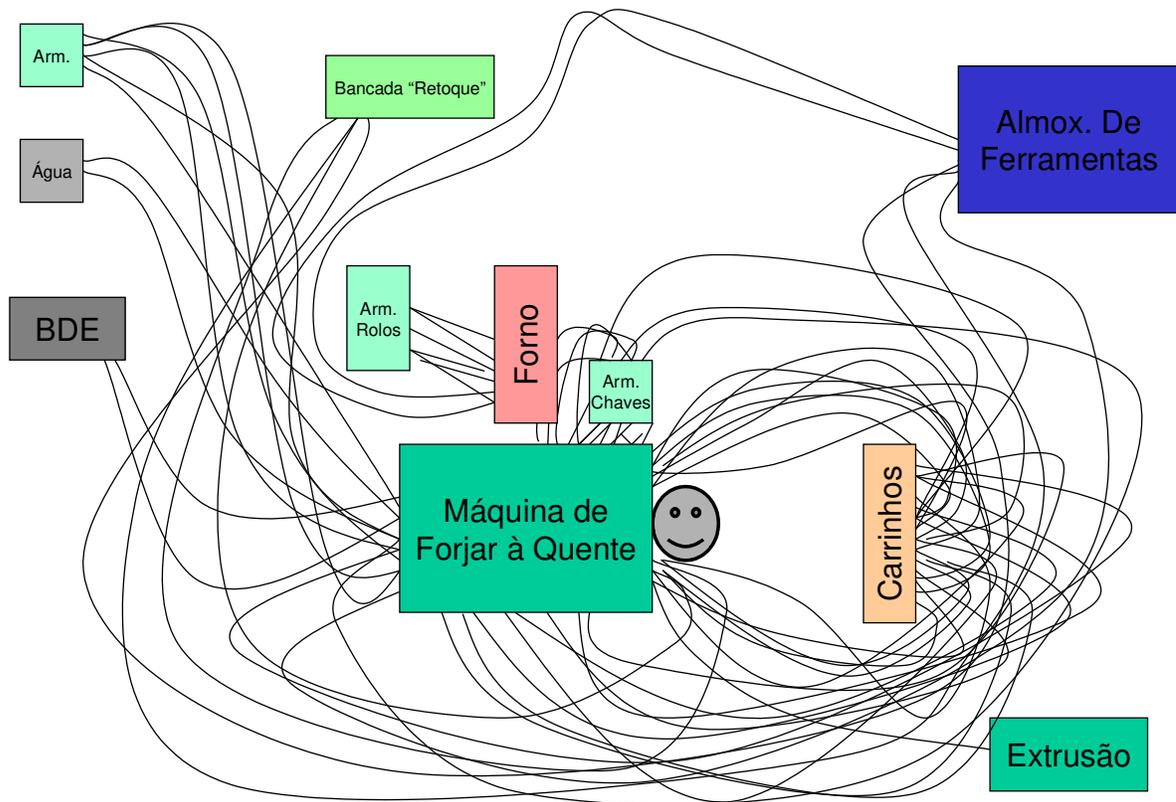


Figura 22 Movimentação do operador durante o *setup*.

Tendo como base informações sobre movimentação, *setup* interno e *setup* externo, iniciaram-se algumas ações rápidas de melhoria, visando aproximar do operador tudo o que o mesmo necessitava, bem como deixar disponível todas as ferramentas de conformação à quente (conferidas conforme desenho) no carrinho de montagem, para que o operador não necessitasse busca-las ou repara-las, o que, aparentemente, é um ato corriqueiro na área de forjaria à quente, e são claramente atividades que não agregam valor e que foram eliminadas para o segundo *setup* acompanhado.

Desta forma, o segundo *setup* acompanhado foi realizado num tempo total de cinquenta e dois minutos. Como quase todos os integrantes do *workshop* se envolveram com atividades que permitissem ao operador não ausentar-se da máquina, somente a função “sombra” foi realizada, tal como no primeiro *setup*.

Apesar do tempo ter diminuído, não foi possível uma redução maior em função de uma das ferramentas do lote anterior ter ficado travada ao bloco da máquina, o que gerou uma atividade não prevista de 26 minutos. A figura 23 mostra como ficou a linha do tempo do *setup* realizado após as melhorias, também classificando as atividades em *setup* interno e *setup* externo, a figura 24 mostra o comparativo dos tempos destas atividades, e, a figura 25 mostra a movimentação do operador durante o *setup*.

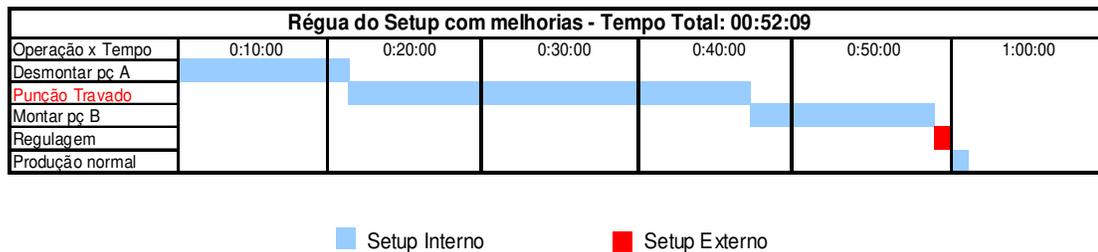


Figura 23 Classificação das tarefas entre *setup* interno e *setup* externo - com melhorias.

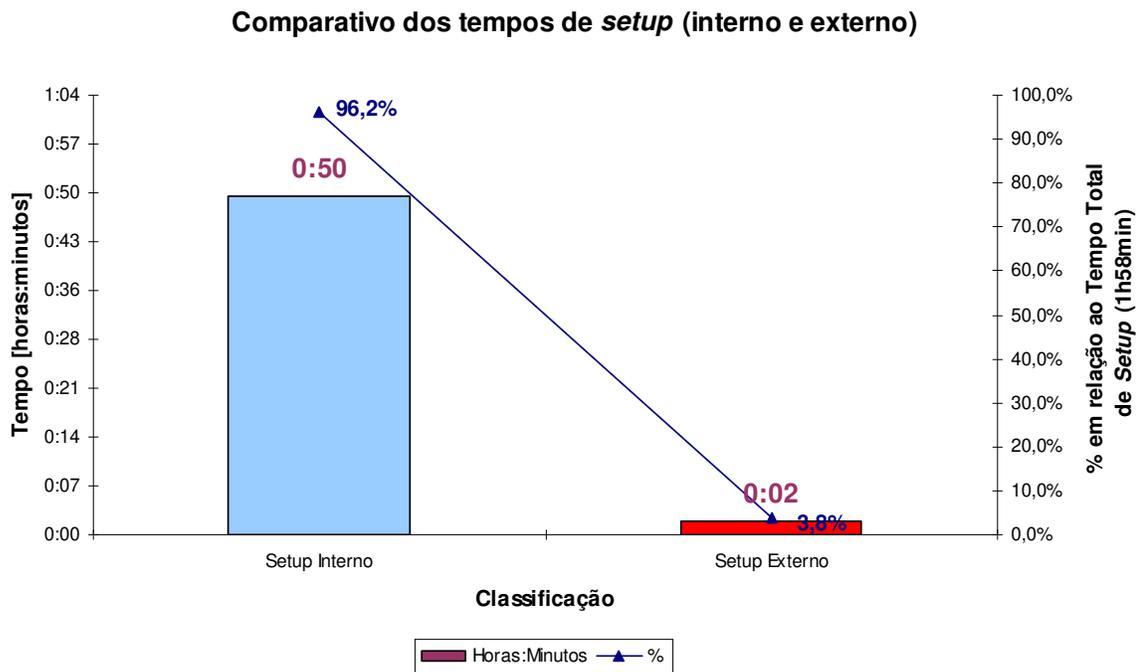


Figura 24 Comparativo dos tempos de *setup* (interno e externo) - com melhorias.

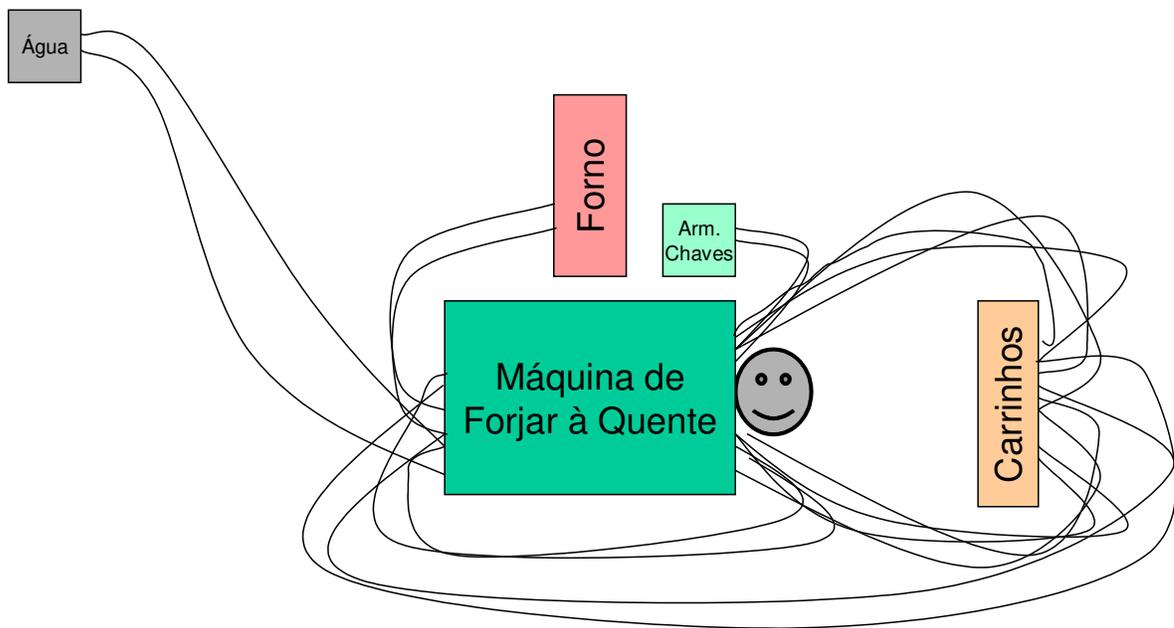


Figura 25 Movimentação do operador durante o *setup* – com melhorias.

Com estes resultados obtidos, o grupo de trabalho do *workshop* iniciou, no período da tarde do terceiro dia de atividades, coordenados pelo autor desta dissertação, a sessão de debates sobre o que mais poderia ser melhorado no *setup* desta máquina de forjar à quente estudada, tanto no âmbito técnico (melhorias no ferramental), quanto no âmbito de transformar as atuais atividades classificadas como *setup* interno em *setup* externo. A tabela 8 mostra algumas sugestões de melhoria, e o motivo pelo qual foram sugeridas.

Tabela 8 Sugestões de Melhorias

ÁREA	SITUAÇÃO ATUAL	SOLUÇÃO PROPOSTA
<b>Arruela Trava do Rolo Alimentador</b>	Todos os parafusos são retirados para destravar/travar o rolo alimentador.	Criar sistema funcional com furos em “pêra” para facilitar operação.
<b>Suporte de Fixação da Garra</b>	Suporte da barra fixado com dois parafusos.	Criar sistema de fixação do suporte da garra com sistema de encaixe (gaveta) e um único parafuso.
<b>Passarela</b>	Utilização de escada para se deslocar ao redor da máquina.	Construir passarela ao redor da máquina.
<b>Biela “graduada”</b>	Operador necessita ajustar a biela, se deslocar ao outro lado da máquina e verificar se a regulagem para a peça que entra em máquina está perfeita.	Criar graduação na lateral da biela com uma tabela relacionando as engrenagens e o número de dentes a serem ajustados e padronizar na ficha de <i>setup</i> .

O resultado do *workshop*, mais que a redução do tempo de *setup* no prazo de um dia, foi um Plano de Ações para que as sugestões da tabela 8 fossem efetuadas. Como são ações de alteração no projeto de ferramentas de conformação à quente e também de serralheria (construção da passarela), estas necessitavam de um prazo maior. A figura 26 mostra os tempos dos dois *setups* comparativamente.

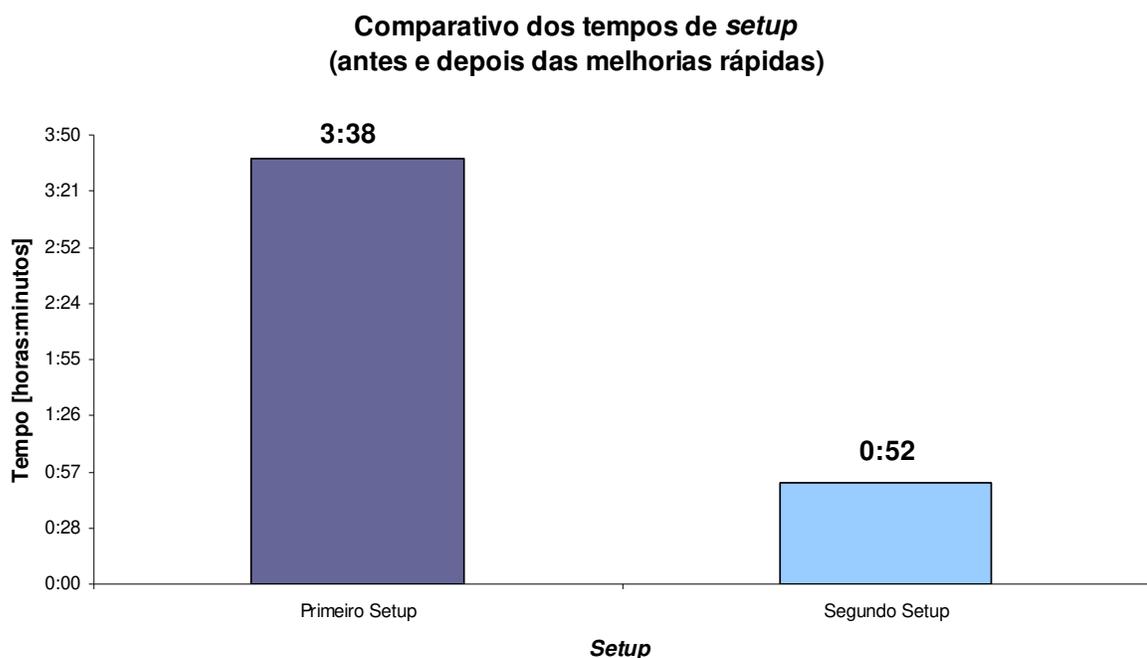


Figura 26 Comparativo dos tempos de *setup*.

Em função de a meta inicial ter sido atingida neste segundo *setup* acompanhado (mesmo sem a implementação das melhorias de ferramental), o autor desta dissertação, em acordo com a empresa, redefiniu as metas de longo prazo, acrescentado ainda outros indicadores, como o OEE (que mede a eficiência global do equipamento, utilizando-se os índices de disponibilidade, eficiência e qualidade) e o de Dias em Atraso no Cliente Interno (que mostra quão atrasada está a produção em relação ao planejado).

Para as novas metas de produção e tempo de *setup*, o autor desta dissertação considerou prudente não se trabalhar com o aumento exato previsto de demanda mensal (de 1 milhão de peças para 1,3 milhões de peças) mas, sim, acrescentar à este aumento, o percentual do tempo disponível que a máquina estudada fica parada, como visto anteriormente na figura 17 (Histórico Mensal dos Motivos de Interrupções de Máquina), que corresponde a 11,2%. Portanto, a nova meta partiria de 1 milhão de peças por mês para 1,46 milhões de peças por mês. Por critério de

arredondamento, o autor desta dissertação decidiu então, como nova meta de produção, a quantidade de 1,5 milhões de peças produzidas por mês.

Com isto, o cálculo da nova meta para os tempos de *setup* é mostrado na equação 4.

$$T.S = \frac{Tt - \left(\frac{D}{Ph}\right)}{n \times q} = \frac{535 - \left(\frac{1.500.000}{4.500}\right)}{77 \times 4} = 0,65 \text{ hora} \quad (\text{Equação 4})$$

Note-se que as únicas diferenças de dados entre as equações 3 e 4 são quanto aos fatores D (demanda mensal, de 1,3 milhões para 1,5 milhões de peças por mês) e q (quantidade de *setup* por item, de 2 para 4 *setups* ao mês por item). O aumento na quantidade de *setups* realizados por item foi a forma que o autor desta dissertação encontrou para um melhor nivelamento da produção (atendimento semanal às necessidades dos clientes) e também para a redução de estoque intermediário ao longo de todo o processo produtivo da empresa estudada. Estas novas metas encontram-se na tabela 9.

Tabela 9 Novas metas para a máquina de forjar a quente.

<b>Indicador</b>	<b>Atual</b>	<b>Meta</b>
Produção Média (mensal, em peças)	1.000.000	1.500.000
Tempo médio de <i>Setup</i>	03h30min	40min
Dias em atraso no cliente interno	11 dias	0 dia
OEE	39,3%	57%

Definidas as novas metas, o principal trabalho do autor desta dissertação foi a promoção de novos *workshops*, com times multifuncionais, além de todo o suporte necessário ao gestor da área, buscando o atendimento das mesmas, em um processo contínuo de melhorias e busca dos resultados.

#### 4.2.4 Acompanhamento dos resultados após as atividades de melhoria

Como as melhorias foram implantadas, fez-se necessário o acompanhamento dos indicadores e metas definidas na etapa anterior desta dissertação, que tomou-se como base comparativa os resultados médios dos anos de 2007 (antes das ações de melhoria), 2008 e 2009.

No que tange o assunto Produção, os resultados não foram satisfatórios. Como mostra a figura 27, além das metas estipuladas em função das demandas não terem sido atingidas, houve ainda queda tanto no nível de produção mensal quanto (e, principalmente), no nível de atendimento das novas demandas.

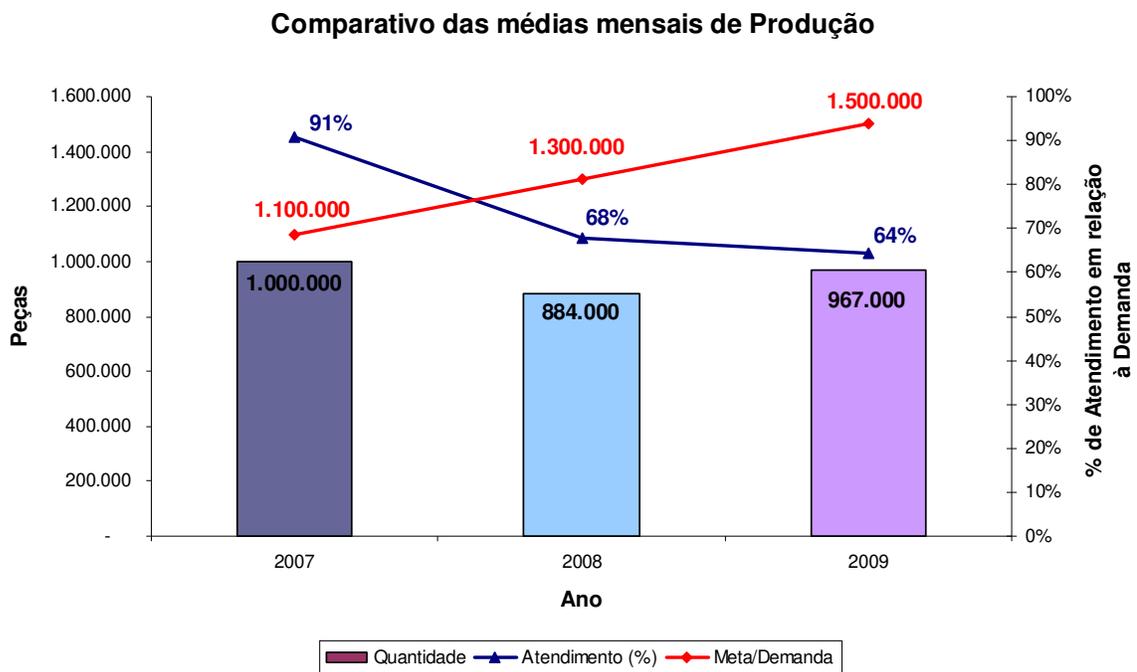


Figura 27 Comparativo das médias mensais de produção.

No que se refere às metas definidas para a redução dos tempos de *setup*, novamente, as

mesmas não foram atingidas, porém, a situação atual está bastante próxima da meta, o que, para o autor desta dissertação significa que os trabalhos realizados até o momento devem ter continuidade e de maneira acelerada em termos de melhorias. A figura 28 mostra os resultados obtidos.

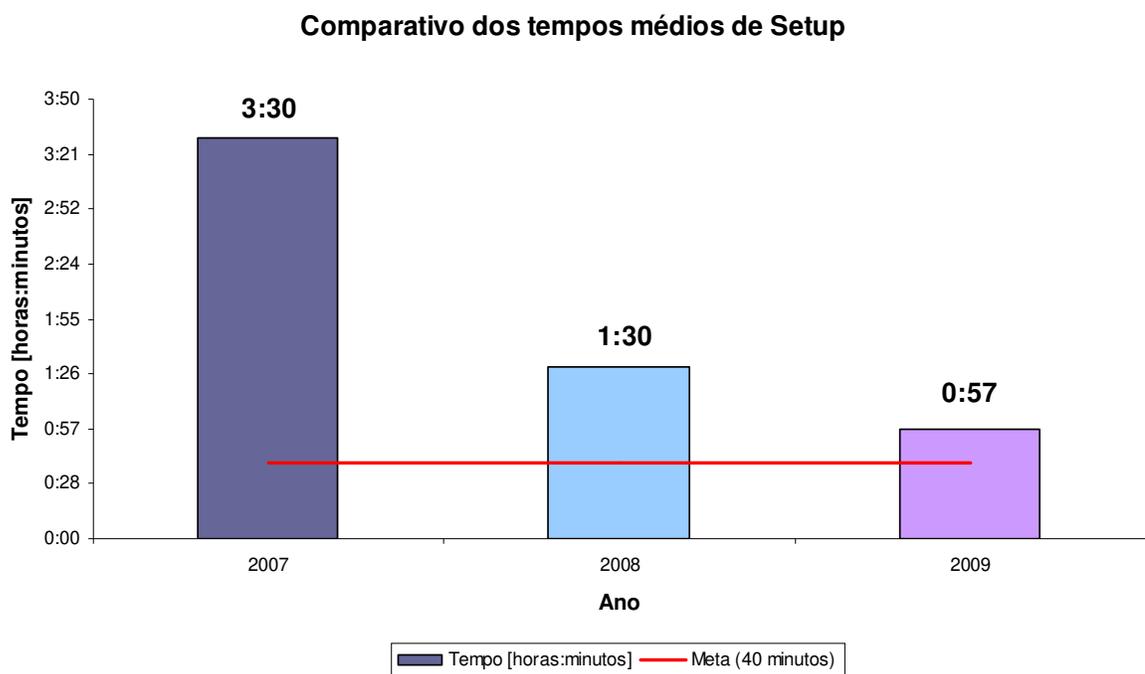


Figura 28 Comparativo dos tempos médios de *setup*.

Os resultados mostrados na figura 29 referem-se ao indicador sobre Dias em Atraso no Cliente Interno. Estes resultados, apesar de também não estarem dentro da meta definida, se mostraram bastante satisfatórios pois, apesar da queda no nível de produção, os clientes internos e, principalmente, o cliente final, não correram risco de terem suas linhas de produção afetadas por atraso gerado na máquina de forjar à quente estudada. Este resultado deve-se ao fato de que, com a redução obtida até o presente momento nos tempos médios de *setup*, os tamanhos de lote de produção da máquina de forjar à quente estudada foram reduzidos, o que significa que o cliente interno é abastecido com o produto que necessita em um espaço de tempo menor que no início dos trabalhos de melhoria.

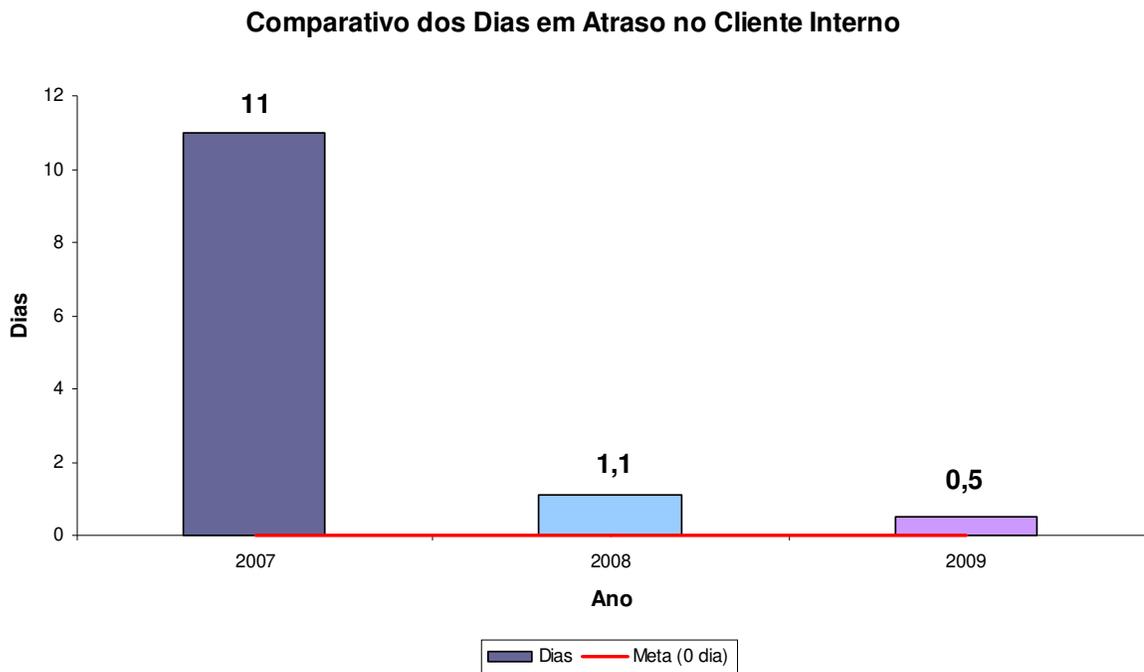


Figura 29 Comparativo da quantidade de dias em atraso no cliente interno.

Pode-se notar ainda, na figura 30, que outro indicador também não atingiu as metas definidas. Trata-se do indicador OEE. Isto deveu-se ao fato do aumento do número de *setups* realizados apesar do não atendimento das metas de produção e de redução dos tempos médios de *setup*, que influenciam diretamente no resultado do OEE. Vale ressaltar que, em empresas de manufatura, o índice de OEE “referência” é de 85%, bastante superior à meta adotada e aos resultados atingidos.

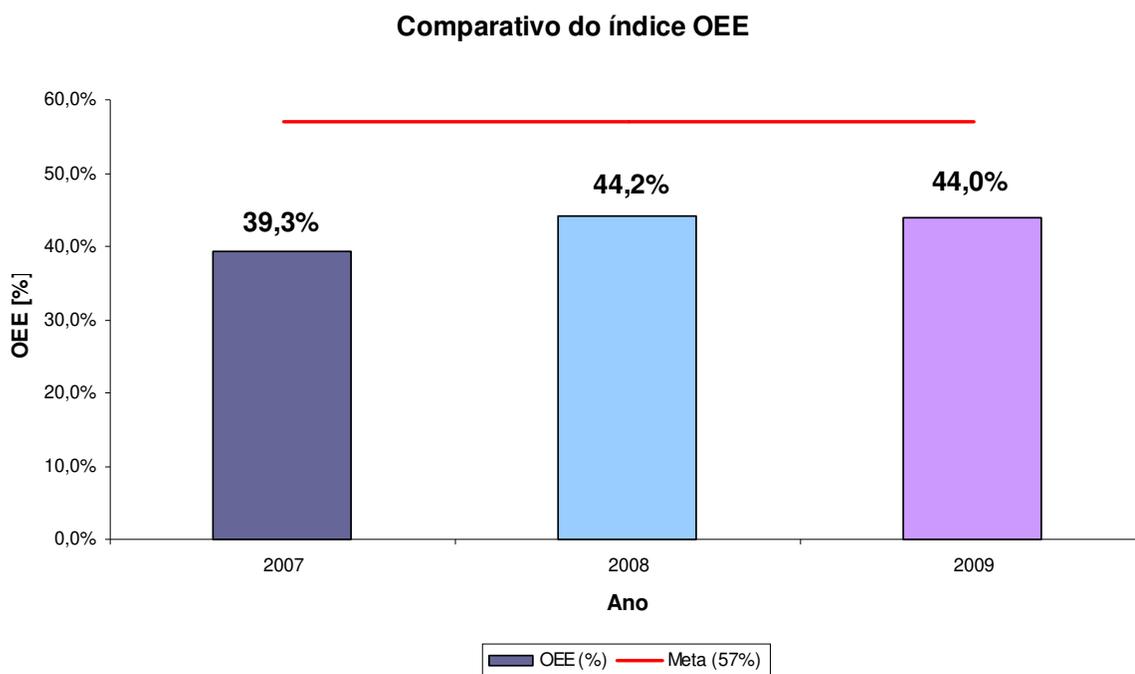


Figura 30 Comparativo do índice de OEE.

#### 4.2.5 Comentários sobre os resultados atingidos

A análise dos indicadores nos mostra um caminho a seguir: a melhoria contínua em busca dos resultados necessários. Um fator importante que deve ser ressaltado é que, no ano de 2009, em função da crise econômica mundial, o mercado de automóveis viu-se, no primeiro semestre, com as produções estagnadas por parte dos fornecedores das montadoras, que aproveitaram para consumir o estoque oriundo do último trimestre de 2008, acontecendo o mesmo na empresa estudada. Desta forma, tendo-se um estoque que atendia contra mudanças rápidas no mercado, o autor desta dissertação decidiu reduzir os tamanhos de lote de produção, aumentando o número de *setups* mensais realizados, aumentando a flexibilidade e servindo de base para, no futuro, a implantação do sistema puxado de produção, através do kanban. Estas atitudes reduziram o

número de horas disponíveis para produção, o que, de certa forma, justifica o não atendimento às metas estipuladas, principalmente quanto ao OEE, que é fortemente influenciado pelo nível de Disponibilidade da máquina. Um fato importante a ser observado à este respeito é que o nível de atraso no cliente diminui significativamente, o que, aliado aos outros indicadores estipulados, valida as ações tomadas pelo autor desta dissertação, pois, em sua grande maioria, todos apresentaram melhorias em seus resultados.

### **4.3 Análise do Segundo Objeto de Estudo**

O segundo objeto de estudo foi uma família de produtos, compostas por uma arruela de aço prensada a uma porca de aço, formando um conjunto conhecido na empresa estudada por Porcas de Roda, utilizadas em caminhões e ônibus. Esta escolha deu-se pelo motivo da empresa não atingir nível satisfatório de entrega aos clientes, tendo, mensalmente, Atraso no Cliente Externo da ordem de 5 dias. Para isto, o trabalho do autor desta dissertação foi realizar o primeiro *workshop lean* nesta que seria a segunda Área Piloto de Implantação *Lean*, utilizando-se ferramentas que ainda não haviam sido testadas na empresa estudada.

#### **4.3.1 Formação de time multifuncional**

Formou-se um time multifuncional, composto por pessoas de todas as áreas da empresa, incluindo administração. O time trabalhou neste *workshop* por 3 dias, 8 horas por dia, onde os conceitos da filosofia *lean*, foram ensinados pelo autor desta dissertação, bem como o uso da ferramenta Mapeamento de Fluxo de Valores e uma breve discussão sobre os tipos de *layout*. Neste segundo objeto de estudo, para se analisar as oportunidades de melhoria e definir o foco de atuação, foi feito uso da ferramenta de Mapeamento do Fluxo de Valores para que fosse possível identificar e entender em que ponto do processo (de informações ou de materiais) encontrava-se o

motivo pelo não atendimento ao cliente (gargalo). A figura 31 mostra este Mapeamento de Fluxo de Valores da família de peças estudada, inclusive com as informações de Tempo *Takt*, Tempo de Agregação de Valor (T.V.A.), *Lead Time* e PCE (*Process Cycle Efficiency* – Eficiência do Ciclo do Processo).

Sobre o PCE (*Process Cycle Efficiency* – Eficiência do Ciclo do Processo) torna-se válido comentar que o valor de referência para indústrias de manufatura discreta é de 5%, o que significa que a taxa de tempo de valor agregado em um produto é de 5%. No caso da família de peças estudada, o índice PCE para o Mapa do Fluxo de Valores do Estado Atual é calculado segundo a equação 5, sendo:

- T.A.V. (Tempo de Agregação de Valor) = Tempo de processamento unitário = 13,76 segundos
- TP (Tempo de Processo) = Tempo de processamento de lote de produção para operações de Tratamento Térmico e Tratamento Superficial = 126.000 segundos (35 horas)
- LT (*Lead Time*) = Somatória dos dias em estoque entre as operações = 1.840.320 segundos (21,3 dias)

$$PCE = \frac{(T.A.V + \sum TP)}{LT} \times 100 = \frac{(13,76 + 126.000)}{1.840.320} \times 100 = 6,8\% \quad (\text{Equação 5})$$

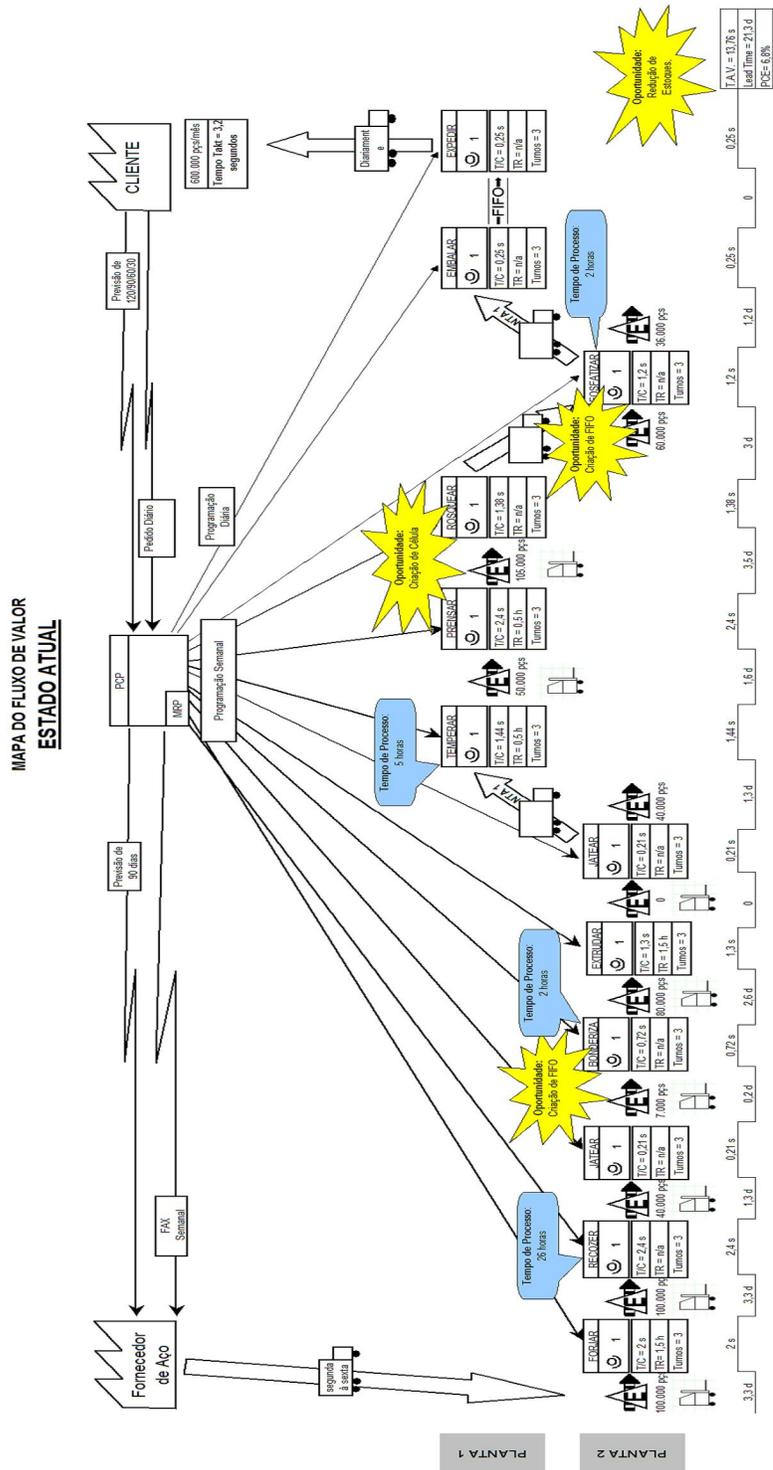


Figura 31 Mapeamento de Fluxo de Valores do Estado Atual – Família Porca de Rodas.

Na figura 32 faz-se um comparativo dos tempos das operações do processo de produção da família de peças estudadas com seu tempo *takt*.

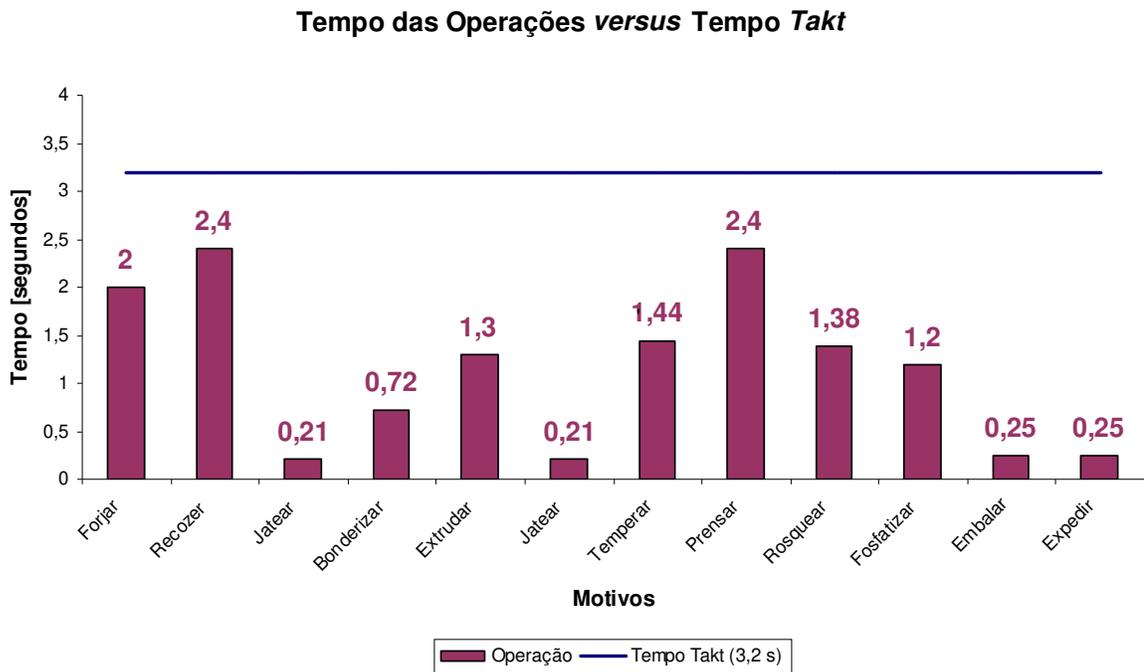


Figura 32 Comparativo do tempo das operações com o tempo *takt* – Família Porca de Rodas.

Após analisar o Mapeamento de Fluxo de Valores do Estado Atual e a figura em que se compara os tempos de operação com o tempo *takt* e notar que todas as operações do processo atual atendem o tempo *takt*, o autor desta dissertação decidiu analisar em que ponto o fluxo de materiais era interrompido, gerando desperdício de espera em algumas operações do processo de produção, não permitindo-se o atendimento ao cliente.

Em função da empresa estudada possuir duas plantas, os processos de fabricação estão distribuídos por elas, principalmente quanto as etapas de Tratamento Superficial (fosfatização) e Tratamento Térmico – Têmpera e Revenimento. Este processo gerava a necessidade das peças

sofrerem dois transportes entre plantas, causando os desperdícios de espera (existem horários definidos para que os caminhões realizem os transporte entre plantas) e o de transporte (a somatória de todo o percurso percorrido pelas peças era de 3.510 metros).

Outra importante informação que o mapeamento do fluxo de valores mostrou foi quanto a inexistência de um fluxo contínuo entre as operações de prensar e rosquear, gerando um inventário de 3,5 dias e também quanto ao tempo de espera entre as etapas de rosquear e fosfatizar (operações realizadas em plantas diferentes), ocasionando acréscimo de 3 dias de inventário.

Sendo assim, fez-se a determinação do foco de trabalho pelo autor desta dissertação, através da análise das áreas gargalo, não pela comparação simples entre os tempos de ciclo e o tempo *takt*, mas sim, por onde existia quebra de fluxo, impossibilitando reações para atendimento ao cliente em curto prazo, além de aumento do tamanho do lote de produção nestas áreas, uma vez que, o que ficou parado por um determinado período de tempo, quando liberado, produz-se de uma única vez.

Portanto, o foco deste trabalho foi a melhoria do fluxo produtivo entre as etapas de montagem (prensagem da arruela na porca), rosqueamento e tratamento superficial.

#### **4.3.2 Definição das metas para o trabalho**

Por ter-se um foco de atuação, o grupo de trabalho, com coordenação do autor desta dissertação, iniciou a construção do Mapeamento do Fluxo de Valores do Estado Futuro, conforme a figura 33.



Nota-se neste Mapeamento do Estado Futuro, a criação de uma célula de prensar + rosquear, em fluxo com a linha de Tratamento Superficial (fosfatização), seguindo a metodologia FIFO (sigla em inglês para *First In, First Out* – Primeiro que Entra, Primeiro que Sai). Para isto, fez-se necessário a transferência das etapas de montar e rosquear da planta 1 para a planta 2. Com a criação desta célula, além de outras melhorias que seriam implantadas, o autor desta dissertação definiu as seguintes metas, conforme a tabela 10.

Tabela 10 Metas para a família de peças Porcas de Roda.

<b>Indicador</b>	<b>Atual</b>	<b>Meta</b>
Produção Média (mensal)	470.000 peças	600.000 peças
Lead time	21 dias	17 dias
Dias em atraso no cliente externo	5 dias	1 dia

Conhecendo as metas, o principal trabalho do autor desta dissertação foi a promoção de novos *workshops*, com times multifuncionais, além de todo o suporte necessário aos gestores das áreas envolvidas, para a implementação das ações necessárias.

Outro fator a ser ressaltado é o PCE, que, para o Mapa de Fluxo de Valores do Estado Futuro é de 8,4%. Isto se dá em função da redução do Lead Time de 21,3 para 17,3 dias, conforme equação 6.

$$PCE = \frac{(T.AV + \sum TP)}{LT} \times 100 = \frac{(13,76 + 126.000)}{1.494.720} \times 100 = 8,4\% \quad (\text{Equação 6})$$

#### 4.3.3 Realização das atividades de melhoria

Para que a principal ação de melhoria proposta ocorresse, a criação de uma célula de

montar e rosquear, foi necessária a liberação de espaço físico na planta 2 de modo a receber as máquinas (e o novo processo), oriundos da planta 1. Este espaço, preferencialmente, deveria ser próximo à área de Tratamento Superficial, para que houvesse maior sinergia entre as áreas.

A área encontrada era utilizada como estoque intermediário das etapas de jateamento e extrusão à frio, a qual se encontrava mal utilizada e dimensionada. O autor desta dissertação apostou ainda num fator físico e psicológico, que diz que, a maneira mais fácil de se eliminar estoques intermediários é não deixar espaços livres na fábrica para armazenamento excessivo de caçambas. A segunda etapa foi a etapa que demandou maior tempo para realização pelo fato de todos os equipamentos (prensa, silos, rosqueadeiras) precisarem de uma reforma geral, principalmente em seus elementos internos, como carro de transporte, guias e alimentadores. Outra ação foi a de pintura de todos estes equipamentos conforme padrão atual da empresa estudada. A terceira etapa consistiu na mudança das máquinas e equipamentos da planta 1 para a planta 2 da empresa estudada, além da criação da célula em um novo formato de *layout* definido pelo autor desta dissertação. A figura 34 mostra como foi o processo de mudança realizado.



(a)

(b)

(c)

Figura 34 Processo de criação da Célula de Montagem de Porcas de Roda: (a) Liberar área para a formação da Célula de Montagem de Porcas de Roda, (b) Reforma geral dos equipamentos e pintura conforme padrão da empresa estudada, (c) Transferência dos equipamentos da Planta 1 para a Planta 2 da empresa estudada.

#### 4.3.4 Acompanhamento dos resultados após as atividades de melhoria

Com a célula montada, e as atividades do Mapeamento do Fluxo de Valores do Estado Futuro concluídas, foi realizado o acompanhamento dos resultados. A base de comparação utilizada foi o resultado médio do ano de 2007. Por se tratar de uma mudança significativa para a empresa estudada (este foi o primeiro Mapeamento de Fluxo de Valores realizado), o autor desta dissertação decidiu aguardar o final do primeiro trimestre de 2008 para comparar os resultados.

O primeiro resultado a ser comentado é o de média mensal de produção. Pela figura 35 nota-se que a meta estipulada não foi atingida, apesar de ter ocorrido ligeiro aumento de produção.

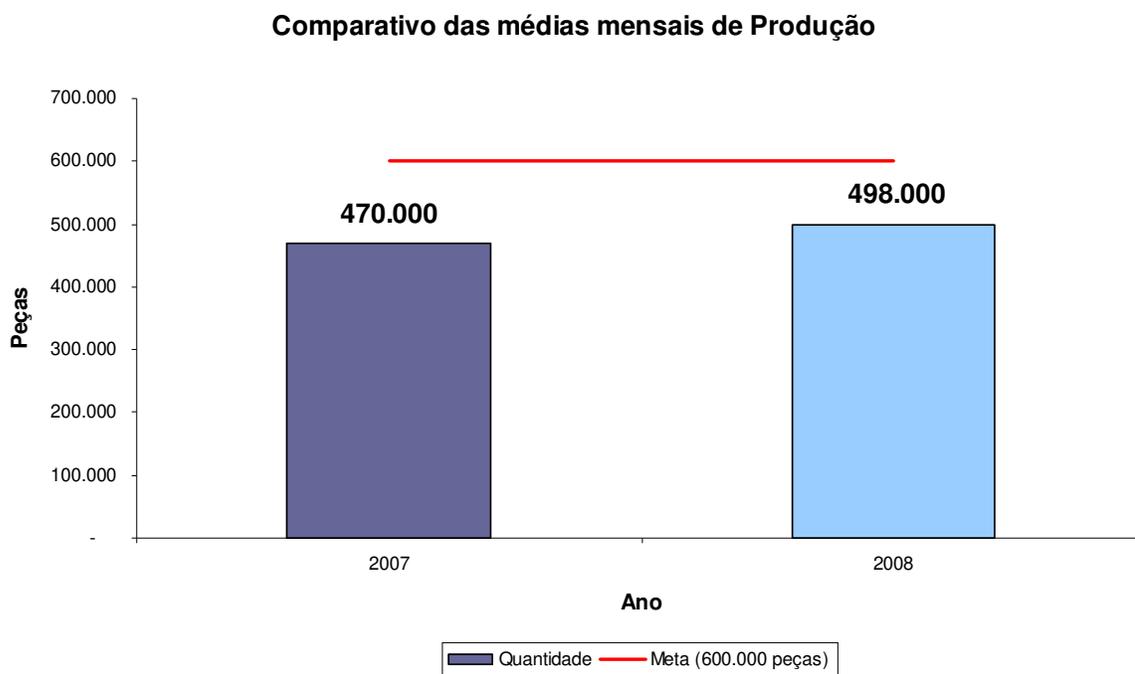


Figura 35 Comparativo da produção média mensal da família Porcas de Roda.

Outro resultado a ser analisado é o de redução de *lead time*. Pela figura 36 nota-se que a meta estipulada novamente não foi atingida, apesar da redução de dois dias no *lead time* da família de peças Porcas de Roda ter acontecido pela implantação da célula de montagem de porcas de roda.

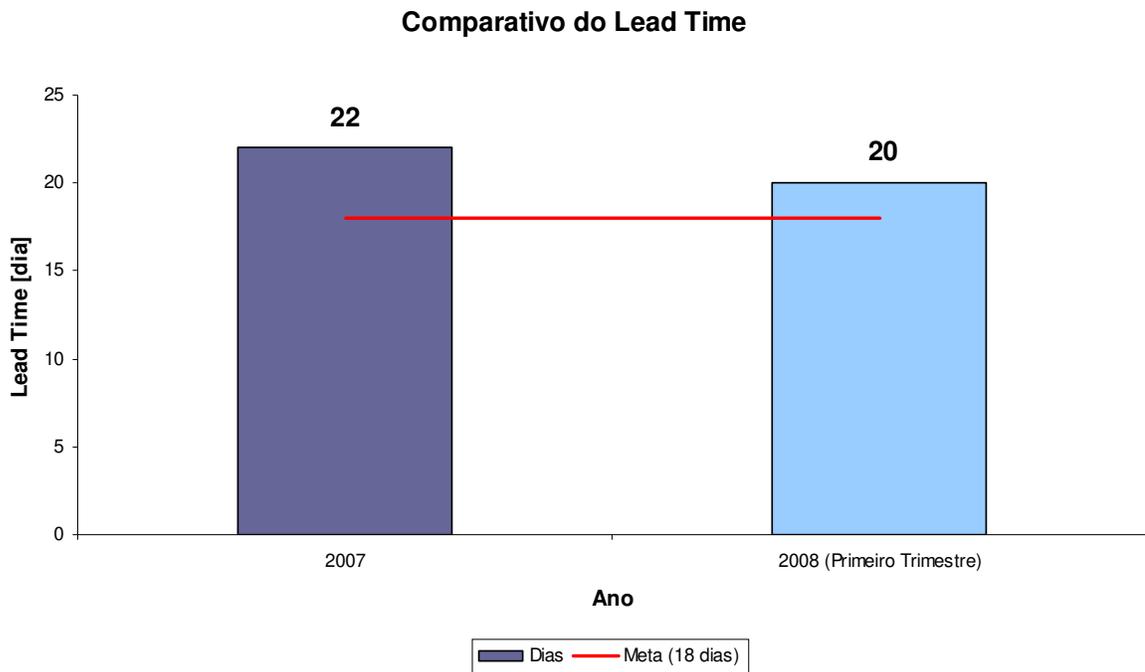


Figura 36 Comparativo do *lead time* da família Porcas de Roda.

Para finalizar, o resultado referente aos dias em atraso no cliente externo, que é um indicador que mostra o quão atrasado se está em relação à demanda do cliente, foi outro que também não atingiu a meta definida, como mostra a figura 37. Isto é compreensível pelo fato de não ter havido o aumento desejado de produção, bem como o de redução de *lead time*.

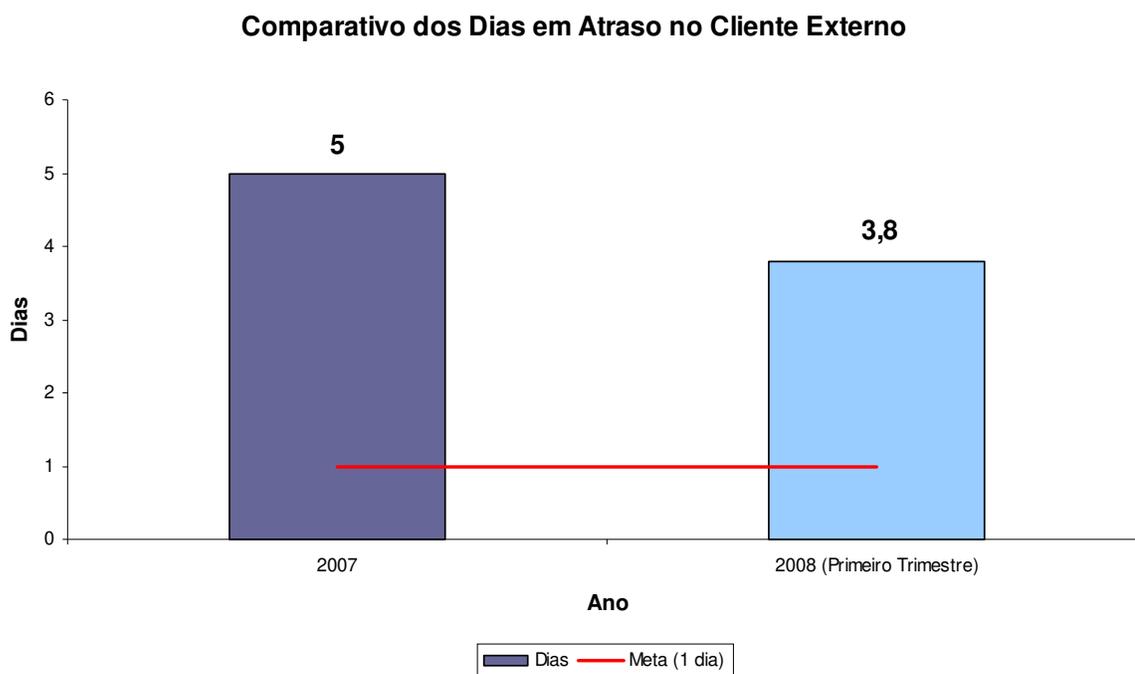


Figura 37 Comparativo dos dias em atraso no cliente externo da família Porcas de Roda.

Como visto nas figuras 35, 36 e 37, as metas definidas não foram atingidas. Sendo assim, o autor desta dissertação decidiu iniciar um novo *workshop* de melhorias, com o objetivo de identificar desperdícios e as oportunidades de melhoria na Célula Porcas de Roda. Após as verificações, as oportunidades de melhoria deste novo *workshop* foram demonstradas através do exercício de Observação dos Sete Desperdícios, Anexo B.

A maioria das oportunidades identificadas diz respeito à movimentação dos operadores dentro da célula, bem como à não existência do fluxo contínuo entre as operações de montagem e rosqueamento, como já havia sido identificado no primeiro *workshop*. Assim, o autor desta dissertação coordenou a implementação das melhorias sugeridas (instalação de uma esteira entre as máquinas de prensar e de rosquear, reforma do piso, para facilitar a movimentação dos carrinhos de alimentação e *setup* etc), e, o novo *layout* da célula é mostrado na figura 38.



Figura 38 Célula de Porcas de Roda, *layout* final.

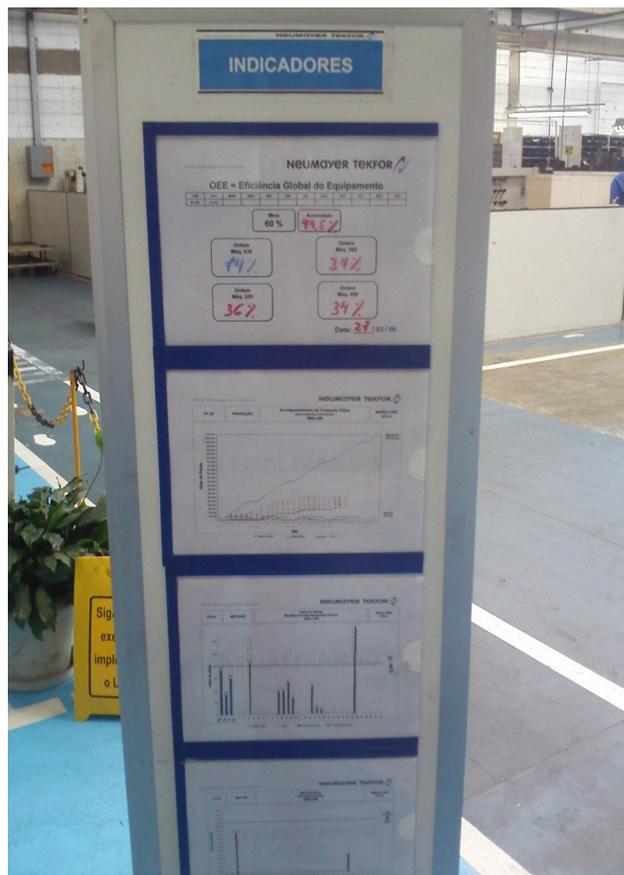
Nota-se através desta imagem que, além das melhorias citadas anteriormente, o Sistema de Gestão Visual também foi melhorado, pois foi uma das solicitações dos operadores desta célula. De acordo com Hicks (2007), em termos gerais, os princípios do pensamento enxuto e, em particular, a remoção dos desperdícios na busca pela perfeição, podem ser aplicados a qualquer sistema onde a informação flue e o trabalho é realizado para adicionar valor tanto ao produto quanto à informação, desde que exista um sistema de gestão desta informação, assegurando que a mesma seja verdadeira.

Este Sistema de Gestão Visual adotado foi chamado pelo autor desta dissertação como Administração da Área Gargalo, que consistiu, basicamente, em informações de produção, OEE, tempo médio de *setup*, atraso em dias no cliente externo, índice refugo e índice de retrabalho (para todos, o autor desta dissertação definiu que, quando os resultados estivessem dentro das

metas, seriam anotados em cor azul e, quando os resultados não estivessem dentro das metas, seriam anotados em cor vermelha), além de Planos de Ação. Este sistema de Administração da Área Gargalo é mostrado na figura 39.



(a)



(b)

Figura 39 Administração da Área Gargalo: (a) Planos de Ação, (b) OEE, Produção, Índices de Retrabalho e de Refugo.

Além deste quadro, o autor desta dissertação decidiu ainda criar um quadro para acompanhar o ritmo da produção em intervalos definidos, seguindo o mesmo critério de anotação nas cores azul e vermelha. Este quadro é mostrado na figura 40.



(a)



(b)

Figura 40 Gestão Visual de Produção, Célula de Porcas de Roda: (a) visão geral, (b) trecho ampliado.

Outra importante melhoria implantada foi o Sistema Puxado de Produção, através do uso do kanban. Esta melhoria também foi sugerida quando da construção do Mapeamento do Fluxo de Valores do Estado Futuro. A figura 41 mostra o quadro kanban na célula Porcas de Roda.



Figura 41 Quadro kanban, Célula de Porcas de Roda.

Após a implantação das melhorias, tornou-se necessário o acompanhamento dos resultados, além de todo o suporte aos operadores da célula e ao gestor da área. A partir do momento em que os operadores entenderam a essência da filosofia (melhorias simples e contínuas), o atendimento das metas foi apenas uma questão de tempo, pois todos já estavam comprometidos com as mesmas. Desta maneira, as figuras 42, 43, 44 e 45 mostram os resultados comparativos para os anos de 2.007, 2.008 e 2.009.

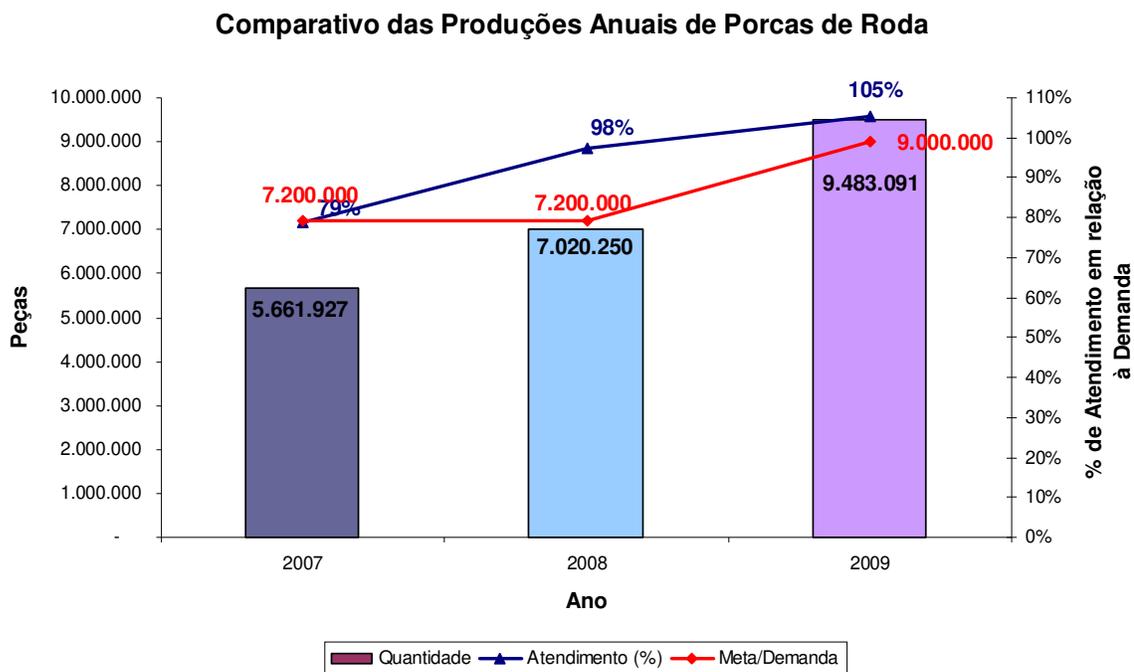


Figura 42 Comparativo das produções anuais da família Porcas de Roda.

A figura 42, que trata das produções anuais da família Porcas de Roda, mostra que, segundo os conceitos da filosofia *Lean Manufacturing*, houve o desperdício de Excesso de Produção, pois a produção realizada superou em 5% a demanda dos clientes. Isto seria verdade se estas peças fossem consideradas como outras peças quaisquer. Porém, estas peças, como dito anteriormente, são utilizadas no mercado de caminhões e ônibus, que, em nosso país, está em pleno crescimento devido à realização de importantes eventos esportivos nos próximos anos. Desta forma, mesmo sem demanda confirmada no sistema de gestão da empresa estudada, tudo o que for produzido desta família é vendido aos clientes. Esta informação se concretiza ao analisar-se a figura 43, sobre os dias em atraso no cliente externo, que é um indicador independente do de produção.

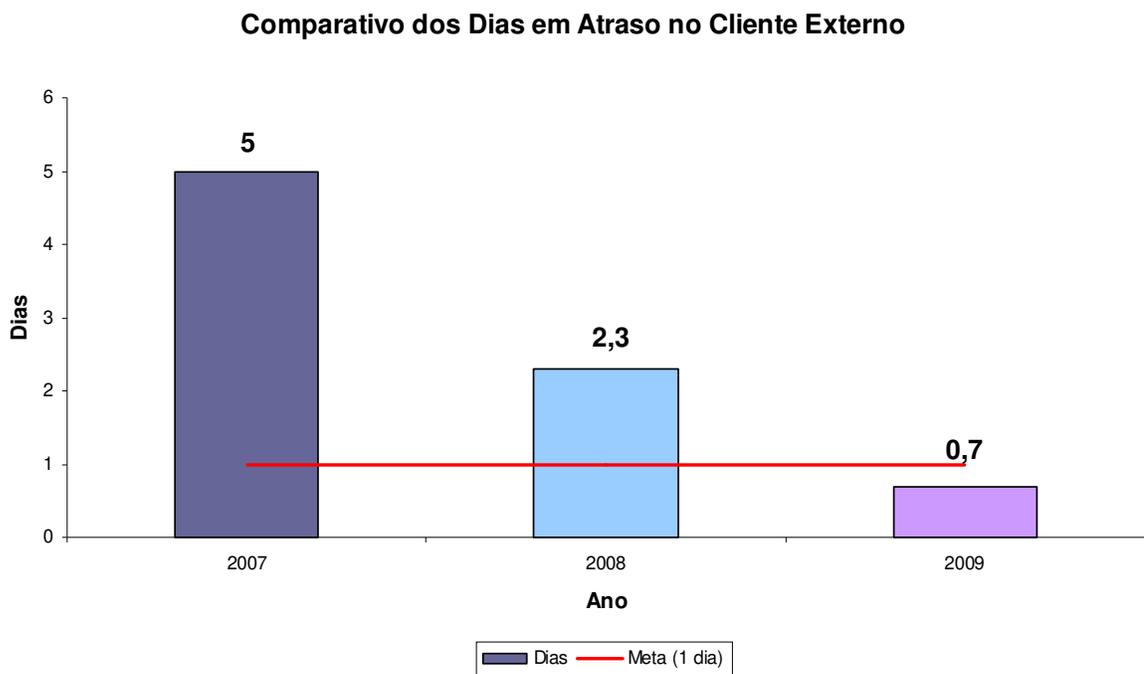


Figura 43 Comparativo dos dias em atraso no cliente externo da família Porcas de Roda.

Nota-se na figura 43 que, mesmo tendo superado a meta de produção anual, a meta de dias em atraso no cliente externo, apesar de ter sido atingida, não apresentou resultado igual a zero, o que corrobora com a afirmação anterior feita pelo autor desta dissertação.

Outro indicador que foi analisado é o de redução do *lead time* da família porcas de roda. A figura 44 mostra os resultados obtidos.

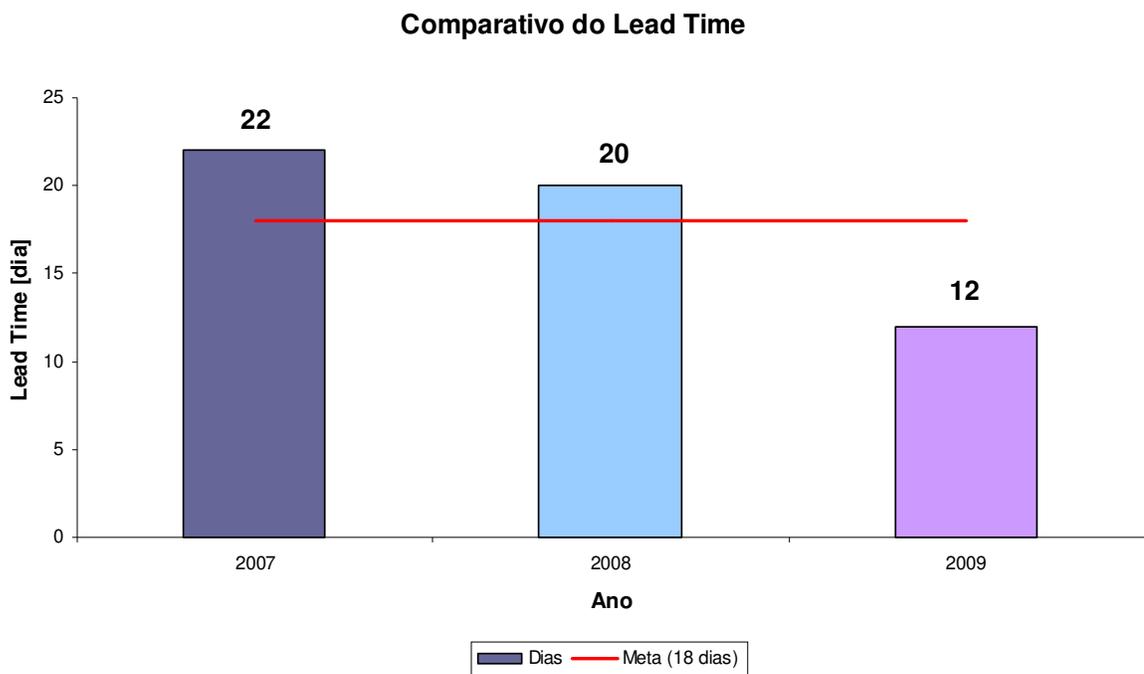


Figura 44 Comparativo do *lead time* da família Porcas de Roda.

Outro importante número a ser comentado é o de operadores na célula. Vale ressaltar que a diminuição deste não era o objetivo do trabalho, porém, com os resultados alcançados, tornou-se possível a liberação de mão-de-obra para outros setores da empresa, ocupando funções de liderança. A figura 45 mostra esta redução do número de operadores desde o ano de 2.007, quando não se trabalhava em sistema celular, até o ano de 2.009.

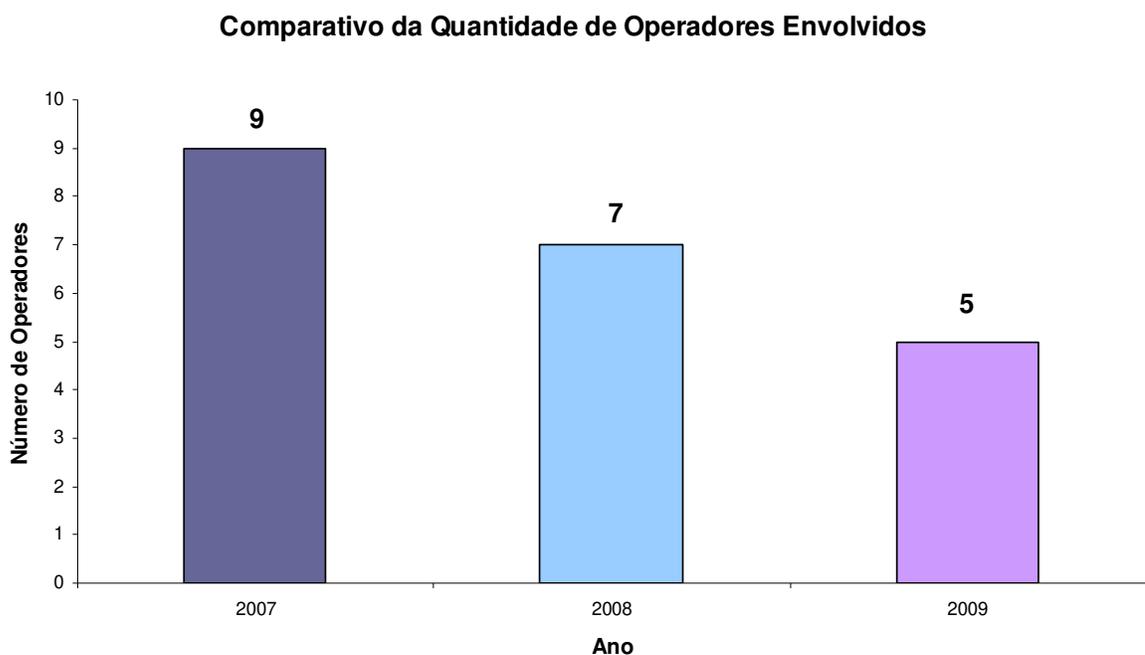


Figura 45 Comparativo da quantidade de operadores, Célula Porcas de Roda.

#### 4.3.5 Comentários sobre os resultados atingidos

O trabalho que demandou maior tempo do autor desta dissertação para esta família de peças estudada foi o de mostrar aos operadores da célula criada a importância da melhoria contínua, em todos os níveis, quer seja em termos de máquinas mais modernas, quer seja em termos de organização. Ao final do ano de 2009, é possível notar, através de uma simples seqüência de três fotos, que retratam três momentos distintos, as melhorias efetuadas por eles, operadores, em sua bancada de trabalho, na figura 46.



(a)



(b)



(c)

Figura 46 Melhorias na Bancada de Trabalho, Célula de Porcas de Roda: (a) 2.007, desorganizada e sem identificações, (b) 2.008, todas as informações necessárias aos operadores, organizada e identificada, (c) 2.009, seguindo as cores padrão da empresa estudada, com o acréscimo de um pequeno aquário e seu "*Lean Fish*".

Neste momento, o autor desta dissertação sentiu-se confiante de que as metas definidas seriam atingidas, pois os operadores mostraram comprometimento com o trabalho que estava sendo realizado e entenderam a importância de cada meta, bem como o conceito de *kaizen*, a melhoria contínua.

Este trabalho, como no anterior, também mostrou ao autor desta dissertação que, por mais perto que se esteja do atendimento de metas traçadas, faz-se necessário o acompanhamento constante dos planos de ação e dos resultados obtidos, pois, dificuldades, sempre surgem o caminho de quem busca mudanças.

#### 4.4 Considerações Finais

Neste capítulo foi mostrada a aplicação de conceitos de manufatura enxuta em um ambiente de montagem que operava claramente num sistema de manufatura em massa.

A opção por demonstrar as situações intermediárias propostas/adotadas sem passar diretamente para as situações finais adotadas tem o intuito de apresentar a obrigatoriedade e necessidade dos conceitos de melhoria contínua, uma vez que nenhum sistema pode ser considerado o ideal. Estas situações também demonstraram os impactos da aplicação prática da metodologia DMAIC num ambiente dinâmico de trabalho, onde, por diversas vezes, após passar pela fase de Definir (*Define*), onde todas as metas do projeto já são definidas, e iniciar a atuação da fase de Medir (*Measure*), ou mesmo de Analisar (*Analyse*), se fez necessário retornar a fase Definir (*Define*) e, definitivamente definir os objetivos do projeto.

Pôde-se notar que o nível de automação empregado foi muito baixo, porém de grande significância, mostrando que o sucesso está basicamente no melhor aproveitamento humano dentro de um sistema, que propriamente na utilização de sistemas de automação excessivamente caros.

A figura 47 faz uma analogia às etapas de melhorias de um Sistema de Manufatura Enxuta. No primeiro momento (a), quando o nível de água do rio (estoque - superprodução) está alto, as dificuldades de navegação (deficiências do setor produtivo) estão escondidas, fazendo com que o barco (sistema) navegue (flua) “normalmente”, porém com muitas marolas (flutuações de produção, custo alto). No segundo momento (b), diminuindo-se o nível de água do rio (estoque), devido à uma fase de estiagem (crise), as pedras (os problemas) começam à aparecer, impedindo o barco (sistema) de continuar a navegar (fluir) como anteriormente, exigindo medidas de melhorias. E, finalmente no terceiro momento (c), ocorrem as ações de melhorias, voltando o barco (sistema) a navegar (fluir) normalmente, porém num nível de água (estoque) muito menor, ocasionando marolas de baixa intensidade (baixo custo).

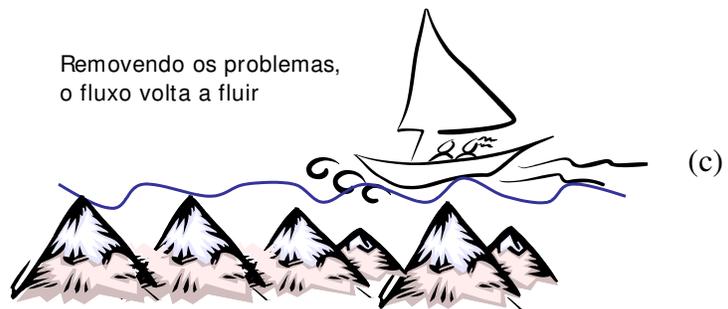
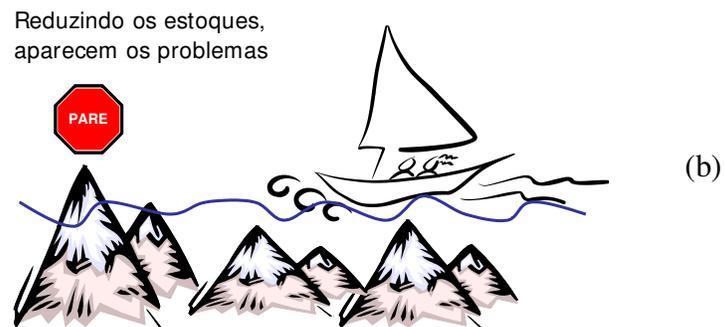
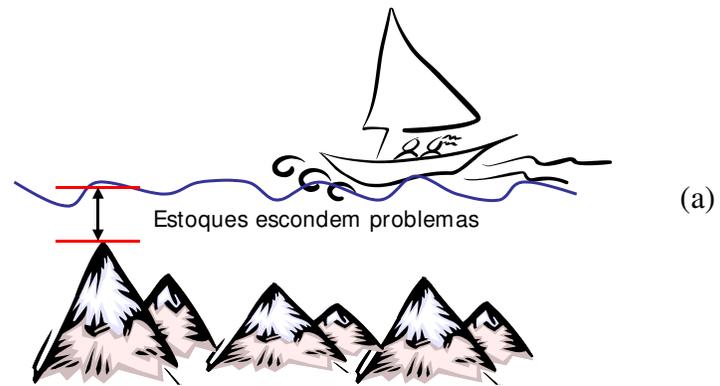


Figura 47 Analogia didática aos conceitos da Manufatura Enxuta.

Depois destas explicações, torna-se evidente que os conceitos de Manufatura Enxuta, criados à partir do sucesso conseguido na indústria automobilística japonesa, podem ser aplicados à qualquer setor e em qualquer região.

O principal passo para a conversão de um Sistema de Produção em Massa para um Sistema de Manufatura Enxuta, na opinião do autor desta dissertação, talvez seja a conscientização das pessoas envolvidas, quer seja através de conceitos, quer seja através de números e resultados.

## 5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho teve como objetivo a eliminação de áreas gargalo em uma empresa do setor automobilístico, bastante departamentalizada e em fase inicial de implantação de um Sistema de Manufatura Enxuta.

A partir do estudo da literatura existente sobre o Sistema Toyota de Produção, verificou-se que a utilização dos conceitos e ferramentas da Manufatura Enxuta se fazia necessária em um curto espaço de tempo, pois os resultados seriam apresentados quase que instantaneamente.

Compreendidos os conceitos fundamentais do Sistema Toyota de Produção, a aplicação prática ocorreu através de treinamentos e trabalhos específicos, com times multifuncionais, o que se mostrou de grande valor, pois sempre existiam visões diferentes para as mesmas situações e oportunidades encontradas.

Deve-se ressaltar que a adoção dos sistemas de gestão visual, adotados durante o decorrer do estudo é de fundamental importância para um projeto de melhorias, principalmente os que possuem indicadores de desempenho definidos. Conforme Favaro (2003), como consequência da visualização, tem-se um maior envolvimento dos funcionários da fábrica, aumentando o grau de racionalização e a confiabilidade do sistema como um todo. Torna-se então possível reduzir estoque e recursos consumidos, como área e equipamentos, trazendo como consequência, ganhos financeiros à empresa.

Notou-se que os benefícios da manufatura enxuta podem ser estendidos ao longo de todos os setores da empresa, buscando-se reduzir desperdícios e agregando-se maior valor do ponto de vista do consumidor final. Estes desperdícios não estão localizados apenas na área de manufatura, mas também nos setores administrativos, que acabam ficando despercebidos no dia-a-dia.

Outro ponto fundamental foi a percepção de que apenas as mudanças físicas, como *layouts* e criação de células, não são suficientes para a transformação de um sistema produtivo

em um sistema de produção enxuto. Como exposto por Fumagali (2001), o fator chave para se alcançar o sucesso é a correta análise do ambiente encontrado, suas variabilidades e as oportunidades de separação do operador da máquina, um dos pilares do Sistema Toyota de Produção, o que, no segundo caso estudado nesta dissertação se deu pela não necessidade do uso de empilhadeiras dentro da célula.

Deve-se ressaltar que, na maioria das vezes, é a somatória de mudanças simples, que resulta no sucesso do Sistema Toyota de Produção, conforme mostrado em todo o capítulo 4 e encontrado na literatura pesquisada. Esta afirmação é a base da célebre frase de Rother e Shook (2003): “não basta somente ver, tem que enxergar”.

Para estudos futuros, ficam como sugestão:

- A aplicação do sistema kanban em empresas de forjaria à quente;
- A definição de uma Jornada *Lean* de implementação em empresas altamente departamentalizadas e com grande número de produtos ativos e em giro, buscando-se a padronização desta implementação, e
- A extensão do Sistema de Manufatura Enxuta aos fornecedores de aço, principal matéria prima do setor automobilístico, acostumados a trabalhar com enormes tamanhos de lote de fornecimento.

## REFERÊNCIAS

Ahi, A., Aryanezhad, M. B., Ashtiani, B., Makui, A. **A novel approach to determine cell formation, intracellular machine layout and cell layout in the CMS problem based on TOPSIS method.** Computers & Operations Research, v.36, p.1478-1496, 2009.

Alvarez, R. R., Antunes Jr., J. A. V. **Takt Time: contexto e contextualização dentro do Sistema Toyota de Produção.** Revista Gestão & Produção, v.8, n.1, p.01-18, Abril 2001.

Anholon, Rosley **Método de Implantação de Práticas de Gestão da Qualidade para Microempresas.** 2006, 214p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Balaben, Romeu Aparecido **Aplicação da Metodologia Seis Sigma – Modelo DMAIC – para melhoria no processo na área de Engenharia de Fábrica em uma empresa montadora.** 2004, 84p. Dissertação (Mestrado Profissional) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Black, J. T. **O Projeto da Fábrica com Futuro.** Porto Alegre: Artes Médicas, 1998, 288p.

Black, J. T., Schroer, B. J. **Decouplers in integrated cellular manufacturing systems.** Journal of Engineering for Industry, Trans. ASME, v.110, p.77-85, 1998.

Black, J. T., Schroer, B. J. **Simulation of an apparel assembly cell with walking workers and decouplers.** Journal of Manufacturing Systems, v.12, n.2, p.170-180, 1993.

Calado, Robisom Damasceno **Aplicação de Conceitos da Manufatura Enxuta no Processo de Injeção e Tampografia de Peças Plásticas.** 2006, 119p. Dissertação (Mestrado Profissional) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Campos, Luiz Dalmir Ferraz de **Aplicação do conceito de Mentalidade Enxuta ao projeto de Sistemas de Manufatura – Estudo de Caso.** 2000, 96p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Cheng, C. H., Gupta, Y. P., Lee, W. H., Wong, K. F. **A TPS – based heuristic for forming machine groups and part families.** International Journal of Production Research, v.36, n.5, p.1325-1337, 1998.

Donadel, Daniel Carneiro **Aplicação da Metodologia DMAIC para redução de refugos em uma indústria de embalagens.** 2009, 213p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Estrada, D. C., Shukla, A., Cochran, D. S. **Converting from assembly lines to cells.** Proceedings The Third World Congress on Intelligent Manufacturing Processes & Systems, Cambridge, MA, p.457-463, 2000.

Fumagali Jr., Adionil **Implementação de Manufatura Enxuta em Ambiente de Montagem e Impacto de Variabilidades.** 2001, 103p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Georgetti, Alexandre Davini **Implementação de Manufatura Enxuta em um Ambiente com diversidade de componentes e kits de entrega.** 2004, 113p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Gil, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** 4ª Edição, São Paulo: Editora Atlas, 175p, 2002.

Hicks, B. J. **Lean Information Management: Understanding and eliminating waste.** International Journal of Information Management, v27, p.233-249, 2007.

Iwayama, H. **Basic Concept of Just-in-time System,** mimeo, Curitiba: IBQP-PR (Instituto Brasileiro de Qualidade e Produtividades), 1997.

Jacon, L. L., Maestrelli, N. C., Batocchio, A. **Resultados da Aplicação de Lean Production.** Máquinas e Metais, Aranda Editora, p.56-74, Abril 2005.

Jansen, Leila Keiko Canegusuco **Integração do Planejamento Sistêmico em Projetos 6 Sigma.** 2009, 213p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Kocakülâh, Mehmet C., Brown, Jason F., Thomson, Joshua W. **Lean Manufacturing Principles and Their Application**. Cost Management, ABI/Inform Global, v3, p.16-27, 2008.

Krähembühl, Carlos Eduardo Zoppi **Aplicação do Método DMAIC no gerenciamento de inventário**. 2005, 168p. Dissertação (Mestrado Profissional) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Liker, Jeffrey K. **O Modelo Toyota – 14 Princípios de Gestão do Maior Fabricante do Mundo**. 1ª Edição, Porto Alegre: Editora Bookman, 2005, 316p.

Lima, P. C., Lobo, C. E. **Novos requisitos para a organização e projeto das células de usinagem**. Máquinas e Metais, Aranda Editora, p.150-163, Dezembro 2002.

Lima, P. C., Lobo, C., Fumagali, A. J. **Application of Lean production in different assembly environment**. J. 16<sup>th</sup> International Conference on CAD/CAM, Robotics & Factories of the Future – CARS & FOF 2000, v.2, p.783-790, Junho 2000.

Monden, Yasuhiro **Sistema Toyota de Produção**. São Paulo: Instituto de Movimentação e Armazenagem de Materiais, 141p, 1984.

Monden, Yasuhiro **Toyota Production System – An integrated approach to Just-in-Time**. Norcross, Georgia: Engineering and Management Press, 480p, 1998.

Ohno, Taiichi **O Sistema Toyota de Produção – Além da Produção em Larga Escala**. Porto Alegre: Editora Bookman, 151p, 1997.

Ohosaku, Robson Toshimitsu **Aplicação da metodologia DMAIC para aumento de produtividade em um call center de uma agência de viagens de grande porte**. 2005, 85p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Pinedo, V. **Tsunami – Construindo organizações capazes de prosperar em maremotos**. São Paulo: Editora Gente, 2003.

Pyzdek, T. **The Six Sigma Handbook: A complete guide for green belts, black belts and managers at all levels**. New York: Editora McGraw-Hill, 2003 *apud* Jansen, Leila Keiko Canegusuco **Integração do Planejamento Sistêmico em Projetos 6 Sigma**. 2009, 213p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Rabelo, Emival Borges **Estudo da Formação e Implantação de Equipes em Células Autogerenciáveis Numa Indústria Gráfica**. 2004, 99p. Dissertação (Mestrado Profissional) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Riezebos, J., Klingenberg, W., Hicks, C. **Lean Production and information technology: Connection or contradiction?** Computers in Industry, v.60, p.237-247, 2009.

Rother, M., Shook, J. **Aprendendo a Enxergar – Mapeando o Fluxo de Valor para Agregar Valor e Eliminar o Desperdício**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 115p, 2003.

Santos, A. C., Santos, M. J. **Utilização do indicador de Eficácia Global de Equipamentos (OEE) na gestão de melhoria contínua do sistema de manufatura - um estudo de caso**. XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Outubro 2007.

Shingo, Shigeo **O sistema Toyota de Produção – Do ponto de vista da Engenharia de Produção**. 2ª Edição, Porto Alegre: Bookman, 291p, 1996.

Silva, Weider Robeson **Aplicação dos conceitos de Gestão de Projetos e Sistemas Enxutos na Revisão de Processos de Modernização de Elevadores**. 2003, 113p. Dissertação (Mestrado Profissional) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Slack, Nigel **Vantagem Competitiva em Manufatura**. 1ª Edição, São Paulo: Editora Atlas, 193p, 1993.

Souto, Rodrigo da Silveira **Aplicação de princípios e conceitos do Sistema Toyota de Produção em uma etapa construtiva de uma empresa de Construção Civil**. 2000, 209p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Spear, S., Bowen, K. **Decoding the DNA of the Toyota Production System**. Harvard Business Review, Boston, MA. Reprint nº 99509, September-October 1999.

Sugai, Miguel **Método de Classificação dos Elementos do período da retomada de produção**. 2007, 173p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Tardin, Gustavo Guimarães **O Sistema Puxado e o Nivelamento da Produção**. 2001, 129p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Thiollent, Michel. **Metodologia da Pesquisa Ação**. São Paulo: Editora Cortez, 1985. *apud* GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Editora Atlas, 1988. 159p e Anholon, Rosley **Método de Implantação de Práticas de Gestão da Qualidade para Microempresas**. 2006, 214p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Thorn, R. **Cellular Solutions: some considerations of cellular manufacturing**. Sheet Metal Industries, p.9-10, Março 1996.

Ventura, M. M. **O Estudo de Caso como Modalidade de Pesquisa**. Revista SOCERJ, v.20, p.383-386, 2007.

Werkema, M. C. **Criando a Cultura 6 Sigma**. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 256p, 2002 *apud* Ohosaku, Robson Toshimitsu **Aplicação da metodologia DMAIC para aumento de produtividade em um call center de uma agência de viagens de grande porte**. 2005, 85p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Womack, J., Jones, D., **A Mentalidade Enxuta nas Empresas — Elimine o desperdício e crie riqueza**. 6ª Edição. Rio de Janeiro: Editora Campus, 408p, 2004.

Womack, J., Jones, D., Roos, D. **A máquina que mudou o mundo**. 2ª Edição. Rio de Janeiro: Editora Campus, 347p, 1992.

Yin, R. K. **Estudo de Caso – Planejamento e Métodos**. 2ª Edição. Porto Alegre: Editora Bookman, 205p, 2001.

## APÊNDICE A – FORMULÁRIO DE OBSERVAÇÃO DOS 7 DESPERDÍCIOS DA ÁREA DE FORJARIA À QUENTE

<b>EXERCÍCIO DE OBSERVAÇÃO DOS 7 DESPERDÍCIOS</b>		
<b>Tipo de Desperdício</b>	<b>Imagem</b>	<b>Ocorrência</b>
<b>Excesso de Produção</b>		Matéria-Prima para um mês de produção, tornando apto a produção em tamanhos de lote superiores à necessidade do cliente.
<b>Transporte</b>		Grande distância entre as áreas de Estoque e Utilização da Matéria-Prima. Fluxo cruzado entre as etapas de Pesagem, Estocagem e Utilização da Matéria-prima.
<b>Processo Desnecessário</b>		10 horas/mês gastos com Ajuste de Ferramentas e, ainda, 5 horas/mês com Retoque de Ferramentas
<b>Inventário</b>		Estoque de Matéria-Prima por toda a área externa da empresa, representando 3 meses de inventário
<b>Movimentação</b>		O operador precisa se ausentar constantemente da máquina e procurar pela empresa por alguma empilhadeira que possa fazer a substituição da caçamba cheia de peças por outra vazia
<b>Espera</b>		Manutenção: 9 horas/mês Setup: 55 horas/mês OEE: 39,3% Nível de Entrega: 69%
<b>Defeitos e Retrabalhos</b>		Taxa de Retrabalho: 5.000 PPM Taxa de Refugo: 2.177 PPM

## APÊNDICE B – FORMULÁRIO DE OBSERVAÇÃO DOS 7 DESPERDÍCIOS DA CÉLULA PORCA DE RODAS

<b>EXERCÍCIO DE OBSERVAÇÃO DOS 7 DESPERDÍCIOS</b>		
<b>Tipo de Desperdício</b>	<b>Imagem</b>	<b>Ocorrência</b>
<b>Excesso de Produção</b>		Produção equivalente à 3 dias de Porcas e Arruelas prensadas, aguardando serem rosqueadas.
<b>Transporte</b>		Necessidade de empilhadeira para abastecimento das máquinas de rosquear (rosqueadeiras).
<b>Processo Desnecessário</b>		Operadores necessitam deixar o posto de trabalho em busca de ferramentas para o <i>setup</i> .
<b>Inventário</b>		Existência de 0,5 dia de produção de peças rosqueadas, aguardando empilhadeira.
<b>Movimentação</b>		Operador retirando silos e demais equipamentos para a empilhadeira poder transportar as caçambas de peças prensadas para a rosqueadeiras.
<b>Espera</b>		Operador aguardando a empilhadeira após tê-la solicitado.
<b>Defeitos e Retrabalhos</b>		Taxa de Retrabalho: 720 PPM Taxa de Refugo: 280 PPM