

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

MELHORIA DA PRODUTIVIDADE NO PROCESSO DE USINAGEM DE  
UNIÕES EM FERRO FUNDIDO MALEÁVEL PRETO: UM ESTUDO DE  
CASO

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

SIDNEI PEREIRA

FLORIANÓPOLIS, FEVEREIRO DE 2007

Sidnei Pereira

**MELHORIA DA PRODUTIVIDADE DO PROCESSO DE USINAGEM  
DE UNIÕES EM FERRO FUNDIDO MALEÁVEL PRETO: UM ESTUDO  
DE CASO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Lourival Boehs, Dr.

**FLORIANÓPOLIS**

**2007**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

MELHORIA DA PRODUTIVIDADE NO PROCESSO DE USINAGEM DE UNIÕES EM  
FERRO FUNDIDO MALEÁVEL PRETO: UM ESTUDO DE CASO

SIDNEI PEREIRA

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO  
DE MESTRE EM ENGENHARIA  
ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO  
FABRICAÇÃO, SENDO APROVADA EM SUA FORMA FINAL.

---

Prof. Lourival Boehs, Dr. Eng.

Orientador

---

Prof. Fernando Cabral, Dr.

Coordenador da Pós-graduação em Engenharia Mecânica

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Abelardo Alves de Queiroz, Dr. Eng.

---

Prof. João Carlos Espíndola Ferreira, Dr. Eng.

---

Prof. Marcelo Teixeira dos Santos, Dr. Eng.

**DEDICATÓRIA**

*Dedico este trabalho a Deus, meus pais,  
Ademar e Marlene, e minha noiva, Karla,  
por toda a ajuda, apoio e amor.*

## AGRADECIMENTOS

- A Deus, por mais esta realização.
- Ao Prof. Lourival Boehs, pela orientação, motivação, colaboração e companheirismo.
- Ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, pela oportunidade de realização do trabalho.
- Ao Projeto Instituto Fábrica do Milênio Fase II (IFM II) que contribuiu financeiramente para concretização desta pesquisa.
- À Empresa Tupy Fundições, pela oportunidade, incentivo e colaboração na disponibilidade de equipamentos para a realização deste trabalho.
- Aos colaboradores da Tupy Fundições, que participaram diretamente do desenvolvimento da pesquisa, em especial ao Sr. Maurício Pscheidt, Aloísio Antônio Tomazi, Anderson Silvério Mendes, Nilton Fernandes e Jeferson.
- Aos meus pais, noiva e amigos, pela compreensão dos momentos de minha ausência e apoio incondicional.

*“ Jamais considere seus estudos como uma obrigação, mas como uma oportunidade invejável (...) para aprender a conhecer a influência libertadora da beleza do reino do espírito, para seu próprio prazer pessoal e para proveito da comunidade à qual seu futuro trabalho pertencer “.*

*(Albert Einstein)*

## RESUMO

A produtividade é um dos fatores de maior impacto no desempenho de uma empresa, pois influencia diretamente nos custos dos produtos e no dimensionamento adequado da fábrica relacionado à produção, pessoas e tempos de máquinas paradas. Na usinagem especificamente, há muitas variáveis de processo que dificultam o trabalho de melhora no índice de produtividade. Neste trabalho é estudado o processo de usinagem de uniões em Ferro Fundido Maleável Preto no qual as variáveis de processo estão desde a quantidade elevada de formas das peças até máquinas, ferramentas e dispositivos de usinagem diferenciados. O mesmo analisa o processo de usinagem das uniões em dois momentos. No primeiro, a produtividade antes e, no outro, depois do estudo e alterações de processo focadas em ferramentas, dispositivos de fixação e alimentação, utilizando como filosofia de trabalho o *Lean Manufacturing* (Manufatura Enxuta), principalmente no que diz respeito às técnicas de melhoria contínua através do *Kaizen*. O principal objetivo é obter dos equipamentos as melhores condições de trabalho relacionadas às peças produzidas e paradas de máquina. O estudo diferencia-se dos demais devido à mudança de foco no caso de usinagem, Manufatura Enxuta e *Kaizen*, uma vez que a maioria dos estudos de casos estão concentrados em montadoras ou empresas que trabalham com peças automotivas, onde suas demandas, variedades de peças e máquinas para produção são distintas se relacionadas ao processo de usinagem de uniões. Portanto, acredita-se que, atingindo os objetivos propostos de diminuir os tempos de paradas e melhorar os controles associados a ferramentas e acessórios, outras empresas que possuem processos de alta produção verão neste estudo uma contribuição relevante para atingirem seus objetivos de ganhos de produtividade com menores custos e investimentos na fabricação de suas peças.

**ABSTRACT**

PEREIRA, Sidnei. Melhoria da produtividade no processo de usinagem de uniões em ferro fundido maleável preto: Um estudo de caso. 2007. 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

*Productivity is one of the most important characteristics one company aims since it influences directly in costs and in the development of the lean numbers of production capacity, staff and machine inactivity. Concerning machining, many process variables difficult the bettering of productivity. The difference from this work to other ones is that this aims to study the machining process of unions in black cast iron with high quantity of part shapes, machines, tools and different machining device process variables. While other studies focus the involvement in machining, Lean Manufacturing and Kaizen in an environment of car assembling, companies or even automotive part companies which are far different from union machining. It analyses the union machining process which focuses productivity profitability involving tools and feeding or fixing devices. This study tried to solve productivity problems through Lean Manufacturing and Kaizen in order to obtain better conditions of the machines and devices related to produced parts and machine inactivity. Therefore, once the Lean Manufacturing philosophy reaches its goal in decreasing the machine inactivity and in bettering the tool and device control, companies which aim high production will be able to learn from this study about productivity gains with lower costs and investments in their part manufacture.*

**Keywords:** *Productivity, high quantity of parts, lean manufacturing*

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	14
2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA.....	16
2.1 Objetivos .....	16
2.2 Justificativa .....	17
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
3.1 Produtividade .....	19
3.2 Perda de Produtividade em Usinagem .....	21
3.2.1 Manutenção.....	21
3.2.2 Organização da Fábrica .....	23
3.2.2.1 Subtipos de Organização de Fábrica.....	23
3.2.3 Preparação de Ferramentas ( <i>Setup</i> ).....	27
3.2.3.1 Padronização dos Dispositivos de Posicionamento .....	30
3.2.3.2 Armazenagem Focalizada nos Dispositivos de <i>Setup</i> .....	31
3.2.4 Gerenciamento de Ferramentas.....	33
3.2.4.1 Planejamento Técnico.....	35
3.2.4.2 Planejamento Estratégico.....	37
3.2.4.3 Planejamento Logístico.....	39
3.3 Filosofia <i>Lean Thinking</i> .....	41
3.3.1 Os 5 Princípios do <i>Lean Thinking</i> .....	41
3.3.2 Implementação do <i>Lean Thinking</i> .....	43
3.3.3 Estação de Trabalho <i>Lean</i> .....	45
3.3.4 Excesso de Movimentações .....	47
3.3.5 Observação dos Operadores.....	48
3.3.6 Peças versus Ferramentas .....	48
3.3.7 Números do <i>Lean</i> .....	49
4 METODOLOGIA, MATERIAIS E EQUIPAMENTOS.....	51
4.1 Materiais e Equipamentos – Caracterização do Ambiente de Pesquisa e Estudo.....	51
4.1.1 Apresentação do <i>Layout</i> e das Máquinas Referentes ao Setor Analisado .....	53
4.2 Metodologia .....	58

4.2.1	Maneira de Determinar Produtividade.....	58
4.2.2	Métodos de Desenvolvimento da Pesquisa.....	59
4.2.2.1	Coleta dos Dados .....	59
4.2.2.2	Análise dos Dados .....	60
4.2.3	Análise Técnica e Inventário de Ferramentas .....	62
4.2.4	Determinação das Soluções e Resultados.....	64
5	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	65
5.1	Determinação Inicial das Paradas de Máquinas.....	65
5.2	Determinação do Índice de Produtividade Médio Inicial .....	74
5.3	Paradas que Envolvem Ferramentas e Dispositivos de Usinagem .....	76
5.4	Análise da Logística das Ferramentas e Dispositivos de Usinagem.....	77
5.5	Modificações no Processo de Usinagem .....	81
5.5.1	Cabeçote de Troca Rápida .....	82
5.5.2	Revestimento TiN nos Machos de Rosca .....	85
5.5.3	Troca de Insertos para Aumentar a Vida das Ferramentas .....	88
5.5.4	Modificação no Sistema de Alimentação da Máquina Multi-fuso .....	89
5.5.5	Alterações na Preparação de Máquinas ( <i>Setup</i> ).....	91
5.6	Resultados Obtidos com as Alterações no Processo de Usinagem de Uniões.....	94
5.6.1	Determinação das Paradas de Máquinas Resultantes .....	95
5.6.2	Tempos de Paradas Gerais do Setor .....	102
5.6.3	Paradas que Envolvem Ferramentas e Dispositivos de Usinagem .....	105
5.6.4	Determinação do Índice de Produtividade Final.....	106
6	CONCLUSÃO .....	110
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	114
8	REFERÊNCIAS.....	115
9	ANEXOS .....	118

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Primeiro Subtipo de Organização na Fábrica (Schonberger, 1998).....	23
Figura 3.2 – Segundo Subtipo de Organização na Fábrica (Schonberger, 1998).....	24
Figura 3.3 – Terceiro Subtipo de Organização na Fábrica (Schonberger, 1998) .....	25
Figura 3.4 – Quinto Subtipo de Organização na Fábrica (Schonberger, 1998).....	26
Figura 3.5 – Divisão do <i>Setup</i> (Harmon e Peterson, 1997) .....	28
Figura 3.6 – Economia com o <i>Setup</i> Correto (Harmon e Peterson, 1997) .....	28
Figura 3.7 – <i>Setup</i> por Tentativa e Erro (Harmon e Peterson, 1997) .....	29
Figura 3.8 – <i>Setup</i> com Eliminação de Ajustes (Harmon e Peterson, 1997).....	30
Figura 3.9 – Exemplo de Carrinho de <i>Setup</i> (Harmon e Peterson, 1997).....	31
Figura 3.10 – Preparação em um Toque (Nishida, 2005).....	32
Figura 3.11 – Setores Envolvidos no Gerenciamento de Ferramentas (Boogert, 1994) .....	35
Figura 3.12 – Modelo de Gerenciamento de Ferramentas (Boogert, 1994) .....	39
Figura 4.1 – Uniões Fabricadas no Setor.....	52
Figura 4.2 – <i>Layout</i> Esquemático do Setor de Usinagem de Uniões.....	53
Figura 4.3 – Centro de Usinagem CNC.....	54
Figura 4.4 – Torno CNC .....	55
Figura 4.5 – Câmara de Usinagem do Torno CNC.....	56
Figura 4.6 – Máquina Multi-fuso.....	57
Figura 4.7 – Sistema de Alimentação da Máquina Multi-fuso .....	57
Figura 5.1 – Média de Paradas da Máquina Multi-fuso MF 80031 .....	68
Figura 5.2 – Média de Paradas da Máquina Multi-fuso MF 81520.....	69
Figura 5.3 – Média de Paradas da Máquina Multi-fuso MF 80002.....	69
Figura 5.4 – Média de Paradas da Máquina Multi-fuso MF 80521.....	69
Figura 5.5 – Média de Paradas da Máquina Multi-fuso MF 80790.....	70
Figura 5.6 – Média de Paradas da Máquina Multi-fuso MF 81519.....	70
Figura 5.7 – Média de Paradas do Torno CNC T100 .....	70
Figura 5.8 – Média de Paradas do Torno CNC T101 .....	71
Figura 5.9 – Média de Paradas do Centro de Usinagem CNC CU0100.....	71
Figura 5.10 – Média Inicial de Paradas das Máquinas .....	72
Figura 5.11 – Média Inicial de Paradas das Máquinas (%) .....	72

Figura 5.12 – Eficiência Inicial das Máquinas.....	74
Figura 5.13 – Parada Relacionada a Ferramentas.....	76
Figura 5.14 – Tela Principal do Programa de Controle de Ferramentas.....	78
Figura 5.15 – Planilha de Controle de Ferramentas (Machos de Rosca).....	79
Figura 5.16 – Histórico de Consumo de Ferramentas (Machos) .....	80
Figura 5.17 – Cabeçotes Original e Modificado da Máquina Multi-fuso.....	83
Figura 5.18 – Comparativo entre Cabeçote Original e Modificado.....	84
Figura 5.19 – Tempo de Usinagem na Máquina Multi-fuso.....	85
Figura 5.20 – Machos de Rosca com Oxidação e com Cobertura TiN .....	86
Figura 5.21 – Sistema de Alimentação da Máquina Multi-fuso .....	90
Figura 5.22 – Sistema de Alimentação e Posicionamento de Peças Anterior .....	90
Figura 5.23 – Sistema de Alimentação e Posicionamento de Peças Alterado .....	91
Figura 5.24 – Vista Frontal do Esquema de Funcionamento da Máquina Multi-fuso.....	92
Figura 5.25 – Tempo de Setup com 1 e 2 Preparadores .....	93
Figura 5.26 – Paradas da Máquina MF 80031 Antes e Depois das Alterações de Processo ....	95
Figura 5.27 – Paradas da Máquina MF 81520 Antes e Depois das Alterações de Processo ....	96
Figura 5.28 – Paradas da Máquina MF 80002 Antes e Depois das Alterações de Processo ....	96
Figura 5.29 – Paradas da Máquina MF 81521 Antes e Depois das Alterações de Processo ....	97
Figura 5.30 – Paradas da Máquina MF 80790 Antes e Depois das Alterações de Processo ....	97
Figura 5.31 – Paradas da Máquina MF 81519 Antes e Depois das Alterações de Processo ....	98
Figura 5.32 – Paradas da Máquina T100 Antes e Depois das Alterações de Processo .....	100
Figura 5.33 – Paradas da Máquina T101 Antes e Depois das Alterações de Processo .....	100
Figura 5.34 – Paradas da Máquina CU0100 Antes e Depois das Alterações de Processo .....	101
Figura 5.35 – Comparativo de Paradas no Setor de Usinagem de Uniões Referentes às Alterações no Processo de Usinagem .....	102
Figura 5.36 – Comparativo de Paradas em Porcentagem do Setor de Usinagem de Uniões Referentes às Alterações no Processo de Usinagem.....	103
Figura 5.37 – Comparativo de Eficiência das Máquinas Antes e Depois das Alterações .....	104
Figura 5.38 – Paradas Relacionadas a Ferramentas e Dispositivos de Usinagem.....	105
Figura 5.39 – Comparativo de Tonelagem do Setor de Usinagem de Uniões.....	107

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 3.1 – Comparativo de Tempo Gasto entre USA e Toyota .....	49
Tabela 5.1 – Descrição dos Códigos de Paradas .....	66
Tabela 5.2 – Tempo Disponível de Trabalho nos 3 Primeiros Meses de Acompanhamento ...	73
Tabela 5.3 – Toneladas Fabricadas no Setor de Usinagem de Uniões Inicial .....	75
Tabela 5.4 – Pessoas que Trabalharam no Setor de Usinagem de Uniões Inicialmente .....	75
Tabela 5.5 – Rendimento dos Machos Oxidados e com Cobertura TiN .....	87
Tabela 5.6 – Comparativo de Custo Benefício entre 2 Ferramentas .....	88
Tabela 5.7 – Comparativo de Paradas das Máquinas Multi-fuso .....	98
Tabela 5.8 – Tempo Disponível de Trabalho nos 3 Meses de Acompanhamento Após Alterações .....	102
Tabela 5.9 – Pessoas que Trabalharam no Setor de Usinagem de Uniões Após Alterações..	106
Tabela 5.10 – Toneladas Fabricadas no Setor de Usinagem de Uniões Após Alterações.....	106
Tabela 5.11 – Ganho Financeiro do Projeto .....	109

## 1. INTRODUÇÃO

Esta pesquisa foi realizada numa das grandes empresas do ramo de fundição em nível mundial, que atua com destaque, além do ramo de fundição, também no de usinagem, no qual produzem vários tipos de peças, como blocos de motores, cabeçotes e peças automotivas em geral, além de conexões. O presente trabalho concentra-se no setor de usinagem de uniões fabricadas em Ferro Fundido Maleável Preto onde se observou um grande potencial de ganho em produtividade relacionada à usinagem.

Atualmente, nas áreas de usinagem, busca-se extrair das pessoas, ferramentas e equipamentos o máximo de produtividade, uma vez que os custos associados ao processo têm impactos substanciais nos custos totais das peças fabricadas.

A usinagem é um dos mais importantes processos de fabricação da indústria mecânica. Embora pareça simples, é muito complexa sua otimização para se obter bons resultados de trabalho devido à quantidade de variáveis envolvidas.

No caso específico de uniões, existia uma grande dificuldade em controlar o processo em razão do elevado número de peças a serem fabricadas com formas e tamanhos diferentes, onde cada peça precisa de ferramentas e dispositivos de usinagem específicos. Além disso, as demandas anuais de determinadas peças também são muito altas. Sendo assim, acreditava-se que o processo de usinagem de uniões não estava adequado, pois havia muito investimento de tempo com trocas de ferramentas, manutenções, preparações de máquinas e com as dificuldades em gerenciar corretamente as ferramentas e dispositivos de usinagem. Considerando-se estes fatos, pôde-se concluir que qualquer diminuição nas perdas de tempo ocasionadas durante a fabricação das peças, o ganho em produtividade se tornaria muito significativo a ponto de manter e/ou tornar a empresa mais competitiva no mercado, reduzir custos ou evitar a compra de novos equipamentos.

Neste trabalho foi feita primeiramente uma análise durante 3 meses no processo de usinagem de uniões produzidas em Ferro Fundido Maleável Preto, calculando-se o índice de produtividade e buscando as causas para que tal índice fosse melhorado, focando principalmente naquelas relacionadas a ferramentas e dispositivos de fixação e alimentação das máquinas. Ademais, foi verificado se as ferramentas, acessórios de usinagem e os métodos de fabricação estavam adequados para o melhor desempenho das máquinas e do processo como um todo. Depois de identificadas as perdas nesse processo, foram propostas e implementadas algumas soluções para que o índice de produtividade do setor que fabrica as

uniões melhorasse, isto a partir de modificações no processo em que as ferramentas e dispositivos de fixação e alimentação estavam envolvidos.

Para tais soluções, foram seguidos os princípios da Filosofia *Lean Manufacturing* (Manufatura Enxuta), principalmente através das técnicas de melhorias contínuas relacionadas ao *Kaizen*, incentivando assim o funcionamento de uma fábrica *Lean*, preocupando-se também na implantação e assimilação das soluções pelas pessoas envolvidas com o processo de usinagem analisado.

Uma vez implantadas as alterações, analisou-se, pela segunda vez, o processo de usinagem de uniões durante 3 meses e constatou-se o quanto que, modificando apenas as questões relacionadas a ferramentas, o índice de produtividade se alterou, demonstrando a influência dessas questões em linhas de alta produção com formas e tamanhos diferentes de peças. Tais procedimentos visam aplicar os conceitos nas diferentes máquinas do setor envolvido.

Acredita-se que o resultado deste trabalho é de grande importância, pois normalmente quando se faz pesquisas sobre usinagem, ganho de produtividade ou trocas de ferramentas sobretudo utilizando a filosofia *Lean Manufacturing* e *Kaizen*, os estudos geralmente se concentram em peças automotivas ou de acessórios especiais que possuem uma demanda muito inferior àquela proposta a ser estudada neste trabalho, que no caso são conexões em Ferro Fundido Maleável Preto.

Na seqüência deste estudo, no Capítulo 2, é salientado o objetivo principal deste trabalho, bem como os objetivos específicos para se alcançar os resultados esperados e a justificativa de realização deste estudo. No capítulo 3, é apresentado o conceito de produtividade e os fatores que mais a influenciam quando se deseja obter um maior desempenho em usinagem, como problemas relativos à manutenção, organização da fábrica, preparação de máquinas (*setup*) e gerenciamento de ferramentas. Sendo assim, neste capítulo também é apresentada a filosofia seguida para auxiliar na determinação das soluções para os eventuais problemas da fábrica, que é o *Lean Manufacturing*. No capítulo 4, é exibida a empresa, o setor e os equipamentos onde o trabalho foi realizado, além da metodologia utilizada para a realização desta pesquisa. No capítulo 5, é analisado o índice de produtividade em dois momentos, um antes e outro depois das alterações de processo que visaram ao alcance dos objetivos planejados. O capítulo 6 contém as conclusões deste estudo e o quanto influenciou no desempenho do setor analisado. O capítulo 7 possui a lista de referências para a fundamentação do trabalho e, finalmente, o capítulo 8, os anexos.

## 2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

### 2.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho é determinar os problemas que ocasionam perdas no índice de produtividade e propor medidas para que este índice melhore no mínimo em 10% nos processos de usinagem de uniões fundidas, utilizando o auxílio dos princípios da filosofia *Lean Manufacturing*<sup>1</sup>, principalmente no que se refere a técnicas para realizar melhorias de processo como o *Kaizen*<sup>2</sup>. Adicionalmente, pretende-se avaliar qual é o impacto financeiro do referido índice para a empresa em questão.

Para atingir este objetivo, foi necessário levar em conta os seguintes objetivos específicos para o desenvolvimento do trabalho:

- a) Fazer um levantamento dos principais motivos de paradas de máquina durante um período de 3 meses;
- b) Relacionar os motivos aos tempos de paradas existentes na fábrica traçando o índice de produtividade inicial;
- c) Avaliar, através das causas e tempos de parada, quanto está ligado a ferramentas e acessórios de usinagem como quebra, falta ou desgaste prematuro;
- d) Baseado nos dados obtidos na fábrica, fazer uma avaliação do tamanho de estoque e local onde estão armazenadas as ferramentas e acessórios como insertos, machos, pentes de rosqueamento, prendedores e alimentadores de peças;
- e) Analisar o fluxo de informações e a movimentação das ferramentas e acessórios como o tipo da ferramenta, a máquina em que irá ser colocada, a posição onde será utilizada, enfim, sempre visando reduzir ao mínimo as paradas de máquina com conseqüente ganho de produtividade;
- f) Baseado na análise feita acima, determinar as possíveis soluções para melhorar o índice de produtividade com o auxílio do *Lean Manufacturing* e do *Kaizen*;
- g) Implantar as soluções propostas e fazer os usuários na fábrica assimilá-las;
- h) Finalmente, medir os resultados obtidos após a determinação, solução e implantação dos principais problemas de paradas, avaliando os resultados em 3 meses de produção depois de tomadas as devidas ações, recalculando assim o índice de produtividade.

---

<sup>1</sup> *Lean Manufacturing* – Filosofia de Trabalho que visa a manufatura enxuta e melhorias contínuas. Manufatura enxuta – É uma filosofia de negócios baseada no Sistema Toyota de Produção.

<sup>2</sup> *Kaizen* – É um processo de gestão que busca o aprimoramento contínuo e gradual dos processos produtivos.

## 2.2 - Justificativa

As empresas que têm em seus processos de usinagem peças com alta demanda como a de uniões em Ferro Fundido Maleável Preto necessitam de um controle para as ferramentas, acessórios e paradas das máquinas diferenciados. Cada um desses tipos possui as mais diversas formas e tamanhos, as quais, para serem produzidos, precisam ter suas específicas ferramentas de corte, dispositivos de fixação e alimentação.

Além da variedade de peças a serem usinadas, também existe um parque fabril diferenciado para a fabricação dessas peças. Algumas dessas máquinas de usinagem são comuns como Tornos e Centro de Usinagem CNC. Outras são de fabricação especial conhecidas como Multi-fuso.

O importante neste trabalho é determinar os problemas que ocasionam as perdas de tempo e, conseqüentemente, de produtividade ao usinar uniões de Ferro Fundido Maleável Preto. O presente estudo tem como foco principal a análise do comportamento do índice de produtividade relacionada a ferramentas e dispositivos de usinagem como os tipos, acessórios, métodos de trocas (*setup*) e o gerenciamento de ferramentas, levando-se em consideração a fabricação desse tipo de peça com suas características específicas de material e principalmente a alta demanda de fabricação.

Esta análise identifica os focos de perda de produtividade no processo de usinagem de uniões, chegando assim aos pontos críticos do processo, podendo-se desenvolver alterações para o alcance de melhores índices de produtividade com a adequação das ferramentas e máquinas na fábrica, ou seja, o que fazer para evitar as paradas de máquinas ou aumentar a produção sem desperdício de tempo e recursos existentes na fabricação de uniões.

Portanto, acredita-se que, atingindo os objetivos propostos de diminuir os tempos de paradas e melhorar os controles relacionados a ferramentas e acessórios, outras empresas que possuem grande parque fabril e quantidade elevada de itens e demandas a serem usinados, poderão ter este trabalho como uma importante fonte de pesquisa para atingirem seus objetivos de ganhos de produtividade com menores custos e investimentos na fabricação de suas peças.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é apresentado o conceito de produtividade e os fatores que a influenciam para o caso de empresas que trabalham com usinagem. Fatores estes como a manutenção, organização da fábrica, preparação de máquinas (*setup*) e gerenciamento de ferramentas. Além disso, também está demonstrada a filosofia seguida para auxiliar na determinação das soluções para o aumento de produtividade na fábrica, que é o *Lean Manufacturing* e o *Kaizen*. A fundamentação teórica baseada nos assuntos acima descritos é de suma importância, pois, como será enfatizado posteriormente, para se chegar ao objetivo principal do trabalho, que é a melhora do índice de produtividade do setor analisado, não há como desconsiderar nenhum destes conceitos, lembrando que a análise principal é feita em ferramentas e dispositivos de usinagem.

Segundo Braga (2000), os mercados de praticamente todos os segmentos econômicos no Brasil têm algumas características em comum. Entre elas, pode-se citar: competição acirrada, globalização de seus concorrentes e de sua cadeia de suprimentos, as margens de lucro pressionadas para baixo, os prazos de entrega cada vez menores demandados pelos clientes e a qualidade dos produtos e serviços, que são pré-requisitos fundamentais para a existência da empresa, portanto, não existe espaço no mercado para empresas que não têm qualidade e competitividade.

Braga (2000) ainda afirma que a forma como se entende e reage-se às características deste mercado determina o posicionamento estratégico. Ele pode ser focado na prática de baixos preços, na qualidade dos produtos/serviços ou em diferenciais criados pela habilidade em algumas etapas dos processos produtivos.

Em função da capacidade em melhorar o posicionamento estratégico e estabelecer vantagens competitivas sobre os concorrentes, pode-se prever qual será o futuro de cada empresa: desaparecer, sobreviver, crescer ou tornar-se a líder interna ou externa em seu segmento de atuação.

Toda empresa tem seus processos produtivos, burocráticos e físicos, que obedece a uma lógica, onde são consumidos recursos e estes são transformados através dos processos produtivos em produtos/serviços. A principal forma de avaliar o desempenho destes processos é mediante uma análise da relação entre o volume produzido e os recursos necessários a esta produção, chama-se esta relação de **produtividade**.

### 3.1 – Produtividade

Conforme Ramo (1980), a produtividade é um índice em que se caracteriza a eficiência de determinada atividade como um processo produtivo, por exemplo. Logo, não existe um índice único para qualquer tipo de atividade.

Para se medir produtividade, geralmente se usa uma relação que envolve pessoas, tempo, quantidade de produtos para serem fabricados na linha de produção e produtos prontos que saem da linha de produção, criando-se assim uma eficiência.

De acordo com Ramo (1980), existem 4 formas de se obter bons índices de produtividade:

- 1) Através de inovações tecnológicas;
- 2) Aumento de investimentos internos em melhorias;
- 3) Realizando treinamentos, proporcionando melhor educação e motivação para os funcionários;
- 4) Diversificando os negócios da empresa.

Ramo (1980) ainda destaca que a produtividade é um dos principais problemas a serem resolvidos pelo pessoal de manufatura, considerando fatores como versatilidade, dimensionamento de equipamentos e de pessoal.

Para Harmon e Peterson (1997), as máquinas, bem como suas ferramentas e instrumentos, não deveriam ser complexos, mas sim projetados para facilitar a operação, manutenção e *setup*. A equipe de aumento de produtividade é responsável pelas mudanças físicas nos equipamentos, ferramentas e/ou métodos que simplifiquem as operações.

Ohno (1997) ressalta que, em um período de alto crescimento, a produtividade pode ser aumentada mais facilmente do que em épocas de crise. Melhorá-la perante circunstâncias mais difíceis induzidas por baixas taxas de crescimento é o fator decisivo para o sucesso ou fracasso de uma empresa. Mesmo durante o alto crescimento, para evitar a geração do excesso de inventário através da superprodução, evitando arbitrariamente a compra de máquinas em massa, é preciso eliminar ao máximo desperdícios para ter o mínimo de máquinas para produzir a quantidade de peças necessárias.

Ohno (1997) ainda diz que, para cada problema encontrado, deve-se ter uma medida de combate específica. Quando cai a venda de determinada peça para um cliente, conseqüentemente os custos sobem e estes normalmente não podem ser acrescentados ao valor da peça. Portanto, uma quantidade menor ainda de peças deve ser fabricada de modo

barato e vendida com lucro. Em função deste fato, deve-se sempre continuar a estudar métodos de se aumentar a produtividade aumentando a eficiência a fim de reduzir custos.

Ribeiro (1989) acrescenta que é importante enfatizar que a implantação de controles simples e eficazes deve constituir o início de qualquer programa de melhoria na produtividade. Mesmo antes das ações voltadas a atingir o objetivo, a simples implantação de um mecanismo de controle eficiente, por si só, já contribui para a eliminação de desperdícios. Mas somente por meio do estabelecimento de ações com base técnica pode ser feita a abordagem para a solução racional de qualquer problema. A conscientização é um fator primordial para a consistência de qualquer programa dessa natureza, medidas radicais têm efeitos temporários e muitas vezes pouco contribuem para o objetivo global.

Ribeiro (1989) assinala ainda que a busca da produtividade, em qualquer época, sempre representou a solução mais viável para que empresas consigam gerar recursos necessários ao seu desenvolvimento. Desta forma, todos os setores de uma empresa devem estar permanentemente preocupados em avaliar seu desempenho e determinar programas de aumento de eficiência.

Os setores de produção e manufatura têm que buscar a produtividade e a otimização dos custos, de modo a manter a permanente competitividade do produto. Além disso, precisam ser extremamente flexíveis para atender aos pedidos no menor espaço de tempo possível. Nos tempos de crise, não interessa muito aquilo que pode ser produzido, e sim aquilo que o mercado consumidor deseja comprar. Os responsáveis pelos processos de fabricação devem entender e se adaptar a estes conceitos, de maneira a contribuir para o esforço global da empresa.

Segundo Harmon e Peterson (1997), as operações de usinagem, como, aliás, todas as áreas da fábrica, representam uma oportunidade para a introdução de consideráveis melhorias. Tipicamente, porém, elas envolvem uma série de complexos problemas. Tanto os que operam diretamente as máquinas, como o pessoal indiretamente ligado a elas gastam um tempo relativamente exíguo mantendo-as em processamento, e um tempo exagerado em tarefas e movimentos que pouco valor adicionam ao produto manufaturado, ou simplesmente desperdiçam o tempo na ociosidade.

Na seqüência, serão apresentados os principais motivos de perda de produtividade, lembrando que este trabalho tem como foco principal aqueles relacionados a ferramentas e dispositivos de fixação e alimentação, como *setup* e gerenciamento de ferramentas.

### **3.2 – Perda de Produtividade em Usinagem**

Na concepção de Harmon e Peterson (1997), Schonberger (1988) e Plute (1998), os principais motivos de perda de produtividade na fábrica estão ligados principalmente a quatro procedimentos relacionados ao processo de usinagem: manutenção, organização das linhas ou células de produção, troca de ferramentas (*setup*) e a falta de um gerenciamento de ferramentas adequado. A seguir será abordado como estes quatro itens afetam a produtividade na fábrica.

#### **3.2.1 – Manutenção**

Harmon e Peterson (1997) afirmam que máquinas e equipamentos precisam de manutenção preventiva, e seria um contra-senso deixar de realizá-la onde necessária. No entanto, o único remédio seguro para peças velhas, gastas e falíveis é restaurá-las a um bom estado de funcionamento, ou então substituí-las. Segue-se que a manutenção preventiva, apesar de importante para uma melhor produtividade, não tem poder de cura sobre todas as paralisações de equipamentos. Os dois grandes objetivos de um projeto voltado à manutenção são, em primeiro lugar, minimizar a quantidade de tempo de paralisação de máquinas e equipamentos devido a quebras ou falhas mecânicas; minimizar o custo de manutenção dos equipamentos em boas condições operacionais (o que inclui reduzir o tempo e o custo dos reparos). Os objetivos dos projetos de melhoria da produtividade da manutenção devem ser tão agressivos quanto os de outras áreas.

A implementação dos procedimentos de transferência dos operários para outras máquinas, no momento em que reparos se fazem necessários, já permite obter ganhos imediatos. Conforme Maynard (1972), quando os operadores são treinados e ouvidos, melhoram o desempenho na fábrica e sua motivação, trazendo benefícios à produtividade da empresa.

Outra alternativa consiste em misturar temporariamente os operadores em outras equipes de trabalho, aumentando-se assim a produção.

De acordo com Harmon e Peterson (1997), o ideal numa fábrica é treinar os operadores das máquinas na célula ou na área de montagem e auxiliar ou executar o próprio trabalho de reparação. A maioria das operações de reparo e manutenção envolve o desmonte parcial do equipamento, a substituição das peças componentes e a remontagem do

equipamento. Como o desmonte e remontagem são bastante rotineiros, a maioria do pessoal da fábrica deveria estar apta a executar tais tarefas.

Uma razão primordial para o desperdício de tempo e movimentos pelo pessoal de manutenção consiste na armazenagem centralizada das peças defeituosas. Havendo disponibilidade, elas podem ser prontamente substituídas no equipamento. É comum, todavia, faltarem tais peças no estoque. Como resultado, o pessoal da manutenção costuma deixar os equipamentos total ou parcialmente desmontados, enquanto solicitam as peças necessárias. As máquinas permanecem assim ociosas enquanto desmontadas, até a obtenção das peças. Ao invés disso, cada sub-fábrica deveria possuir seu próprio estoque focalizado em peças sobressalentes para máquinas, bem como ter um depósito de materiais específico.

O órgão de manutenção focalizado elimina o tempo normalmente perdido pelos técnicos no deslocamento para o local do reparo e de volta ao departamento de manutenção central para apanhar as ferramentas especiais. Depois que eles retornam ao local do reparo, podem precisar voltar várias vezes à área de manutenção central para apanhar peças necessárias. Tal deslocamento pode ser reduzido pelo uso de Kits de ferramentas portáteis projetados para as ferramentas rotineiramente transportadas de uma máquina para outra. As ferramentas guardadas nesses kits devem ser fáceis de carregar e de uso freqüente.

Para uma quantidade adequada de materiais para manutenção, é necessário um planejamento das necessidades de materiais, conforme Corrêa (2001)

Segundo Corrêa (2001), o conceito de cálculo de necessidade de materiais é simples e conhecido há muito tempo. Baseia-se na idéia de que, se são conhecidos todos os componentes de determinado produto e os tempos de obtenção de cada um deles, pode-se, com base na visão de futuro das necessidades de disponibilidade do produto em questão, calcular os momentos e as quantidades que devem ser obtidas, de cada um dos componentes, para que não haja falta nem sobra de nenhum deles no suprimento das necessidades dadas pela produção do referido produto.

Este trabalho se concentra em análises de ferramentas e dispositivos de usinagem, não se preocupando diretamente em analisar problemas relacionados à manutenção mecânica. Porém, nos gráficos de tempos de paradas de máquinas, a manutenção está demonstrada mas sem análises para diminuição desses tempos de paradas de máquina.

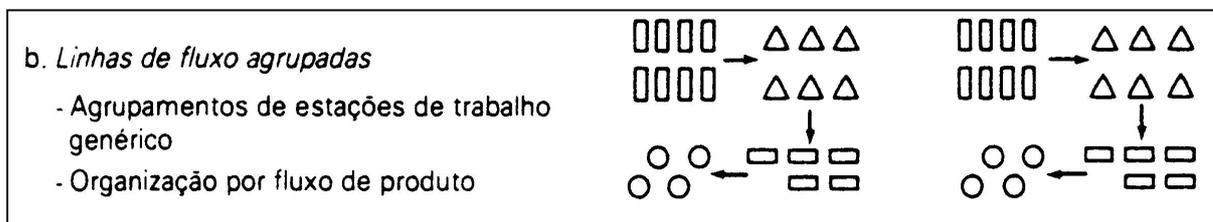
Na seqüência, tem-se outro item importante na fábrica que também é responsável por algumas paradas inoportunas, no caso de não estar adequado com as necessidades principais de movimentação da empresa.



**b) Linhas de Fluxo Agrupadas** - Neste segundo tipo, os grupos não estão desordenados, mas sim organizados, de uma certa maneira, em fluxos de produto. A Figura 3.2 mostra duas linhas de fluxo: uma linha produz silenciosos e a outra produz escapamentos. Metade dos agrupamentos encaixa-se numa linha de fluxo e a outra metade na outra. Alternativamente, as duas linhas poderiam fabricar exatamente o mesmo produto e competir pelos resultados, assim como se auxiliarem.

O tipo b de organização de fábrica não é classe universal, mas certamente é melhor que o tipo a. O uso menos negativo para o tipo b é quando ele produz especialidades: ordens de fabricação especiais, opções de baixo uso ou peças para assistência técnica, trabalho com protótipos ou coisas do gênero. Esses produtos podem ser as sobras que ficam nos agrupamentos após os poucos produtos importantes serem retirados. Os itens pouco importantes vão para as fábricas organizadas da maneira c, d ou e conforme demonstrado na seqüência.

O tipo b também é o destino de vários tipos de equipamentos automáticos, notadamente as máquinas unitárias. A máquina unitária é aquela que efetua vários tipos de operação e produz um produto complexo e inteiro. Como exemplo tem-se a máquina de controle numérico. Essa máquina absorve e elimina vários movimentos, atrasos, filas, quantidades em trânsito e ajustes.



**Figura 3.2 – Segundo Subtipo de Organização na Fábrica (Schonberger, 1988)**

**c) Celular** – Tem-se visto maneiras que fazem a fábrica com uma organização em agrupamento operar bem, dadas suas limitações inerentes. A melhor solução de todas é encontrar uma maneira para acabar com os agrupamentos.

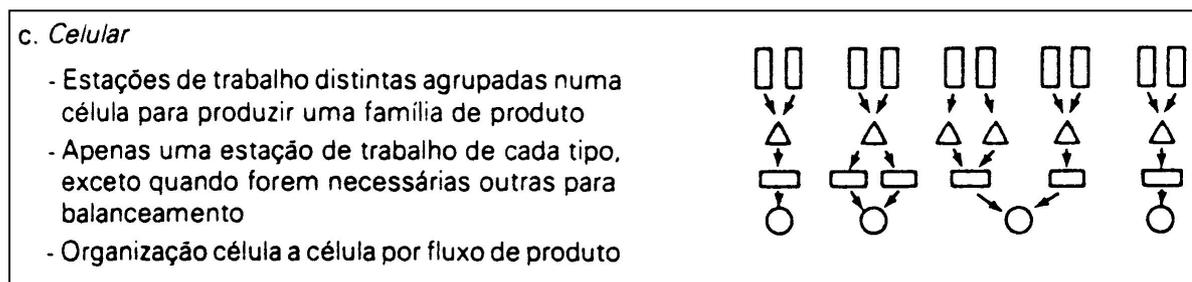
Na fabricação, quando se quebram os grupos de processos, as partículas vão para as células ou linhas de fluxo dedicadas. Chama-se célula aquilo que fabrica uma família de produtos; chama-se linha o que fabrica apenas um produto.

A Figura 3.3 lista algumas características da organização celular (tipo c). Estações de montagem ou de máquinas diferentes são agrupadas em uma célula, e existe apenas uma estação de trabalho para cada tipo (por exemplo, apenas uma furadeira), exceto quando mais

de uma estação for necessária, por questões de balanceamento. Naturalmente, se a fábrica arcou com os custos de mover os recursos em células, estas devem ser arranjadas de acordo com o fluxo da família de produtos; uma cadeia em série é o resultado.

Os produtos de uma família de produção são freqüentemente parecidos, mas não necessariamente. Mais importante, elas empregam os mesmos materiais, ferramentas, procedimentos de ajuste, técnicas de trabalho, tempos de ciclo e, especialmente, os roteiros ou fluxos de trabalho. Em outras palavras, os processos são um tanto quanto repetitivos, mesmo que os produtos da família sejam, de alguma maneira, diferentes.

Conforme Harmon e Peterson (1997), no agrupamento celular, o número de operadores costuma ser 50 a 70% inferior ao número de máquinas. Além do mais, as máquinas se localizam próximas entre si, permitindo ao operador dar conta de várias a uma só vez com o mínimo de desperdício de tempo e movimentos. O conceito de célula de máquinas se aplica tanto às fábricas pequenas, de menores volumes, como às grandes, de maiores volumes.



**Figura 3.3 – Terceiro Subtipo de Organização na Fábrica (Schonberger, 1988)**

**d) Estação ou Máquina Unitária** – O quarto subtipo de organização de fluxo é o da estação de trabalho ou máquina unitária. Como na célula, a máquina ou estação unitária executa várias operações em série para a fabricação de um módulo completo do produto. Ao contrário das células, as operações são feitas em uma, ao invés de várias máquinas ou estações. Na verdade, este é um caso especial de organização celular.

Esse tipo inclui as máquinas de controle numérico que podem fabricar um componente completo. Também inclui as *transfer lines* e as estações de montagem autônomas que podem montar um módulo inteiro do produto, como um motor.

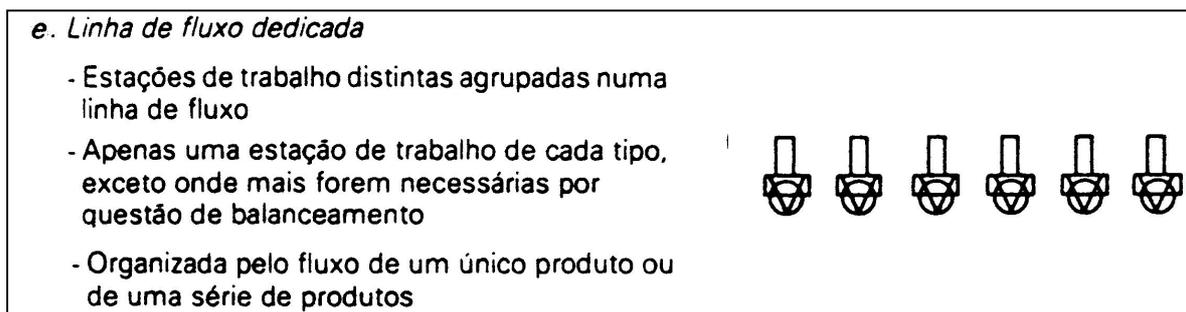
**e) Linhas de Fluxo dedicadas** – O quinto subtipo de linhas de fluxo é o da linha de fluxo dedicada. Como mostra a Figura 3.4, ela é dedicada para um produto ou uma gama pequena

de produtos. Como o tipo celular, a linha de fluxo completa é composta de estações de trabalho diferentes, dispostas de acordo com o fluxo do produto. Existe apenas uma estação de trabalho de cada tipo na linha de fluxo, exceto quando mais de uma é necessária por questão de balanceamento. Por exemplo, se os testes demoram o dobro de tempo do que as outras operações, a estação de trabalho de testes deve possuir duas bancadas ao invés de uma.

As linhas dedicadas são convenientes nas seguintes condições:

1. O produto é fabricado em grande volume ou com um contrato de longo prazo. Um fabricante de aviões pode ter um contrato de três anos com a Força Aérea para entregar um avião por mês. Esse tipo de estabilidade durante um período tão grande pode justificar os esforços para preparar uma linha de fluxo dedicada.

2. Existe mais de uma linha que produza esse produto, ou que seja capaz de produzi-lo. A necessidade de possuir flexibilidade de se ajustar quando algo de errado acontece em uma linha é a razão, e é preciso mencioná-la várias vezes. Uma outra razão deve-se aos benefícios de se ter uma linha competindo com outras – para saber de qual se pode obter o melhor índice de melhoramentos.



**Figura 3.4 – Quinto Subtipo de Organização na Fábrica (Schonberger, 1988)**

**6. Combinada** – as empresas que estão no rumo de uma fabricação classe universal podem ter um período de transição longo para mudar a organização pobre de suas fábricas (agrupamentos) para a ideal (linhas de fluxo). Uma combinação de fluxo e agrupamento do tipo combinado é comum durante esse período. Para fazer as mudanças de linhas agrupadas para linhas de fluxo, é preciso tomar as seguintes providências:

Primeira mudança - produtos dominantes. Deve-se selecionar alguns produtos dominantes, tirá-los do agrupamento e colocá-los em uma linha de fluxo;

Prosseguindo com a reorganização. Na fase 2, é necessário repetir o procedimento da primeira retirando os produtos mais dominantes dos agrupamentos junto com algum equipamento. Outras linhas de fluxo são criadas juntamente com suas equipes.

Duas linhas são melhores que uma, pois permitem que o programa de fabricação das peças seja cumprido no caso de algo acontecer com alguma máquina, permitem também a promoção de uma competição entre elas e a introdução de equipamentos mais flexíveis.

Na seqüência, é apresentado um dos principais motivos de estudo do presente trabalho, que é a preparação de máquinas, visto que esta sim é inteiramente voltada a troca de ferramentas na máquina.

### 3.2.3 – Preparação de Máquinas (*setup*)

Harmon e Peterson (1997) afirmam que, apesar de existir um número ilimitado de técnicas que contribuem para a produtividade superior, um pequeno número delas merece atenção especial: (1) organização em sub-fábricas pequenas e focalizadas; (2) melhoria da utilização do espaço; e (3) redução do tempo, custos e complexidade do *setup*. Das três, a redução do *setup* é a mais fácil, barata e rápida das melhorias que os fabricantes podem fazer.

A redução dos custos de *setup* de máquina é importante por três razões:

1. Quando o custo de *setup* de máquina é alto, os lotes produzidos também são grandes, e o investimento resultante em estoques, elevado. Agora, se o custo de conversão é insignificante, torna-se possível produzir diariamente a quantidade estritamente necessária naquele dia, com a virtual eliminação do investimento em estoques decorrente de grandes lotes.

2. Com técnicas mais rápidas e simples de troca de ferramentas, eliminam-se as possibilidades de erros na regulagem de ferramentas e instrumentos.

3. Técnicas de conversões rápidas podem ser usadas para tornar disponível uma capacidade adicional da máquina.

Pouquíssimas fábricas estão livres dos custos de troca de ferramenta nas máquinas, quase todas têm a possibilidade de reduzir tais custos, e também os concomitantes investimentos em estoques que penalizam a empresa.

Existem 3 tipos de operação de *setup*: *mainline*, *offline* e *desnecessário*. Operações de *setup offline* ou *setup* externo são aqueles que poderiam ser realizados antes de se parar a máquina, a fim de convertê-la para a usinagem da próxima peça: por exemplo, trazer as matérias-primas, ferramentas e peças necessárias. Operações de *setup mainline* ou em linha principal são executadas enquanto a máquina está parada entre a produção do item anterior e a do próximo. No entanto, existem instalações que executam operações de *setup offline* enquanto a máquina ainda está operando. Nestes casos, tais elementos preparatórios são

classificados como fora de linha, sendo também conduzidos como operações *offline*, conforme mostra a Figura 3.5.

### PASSAR *SETUP* PARA *OFFLINE*

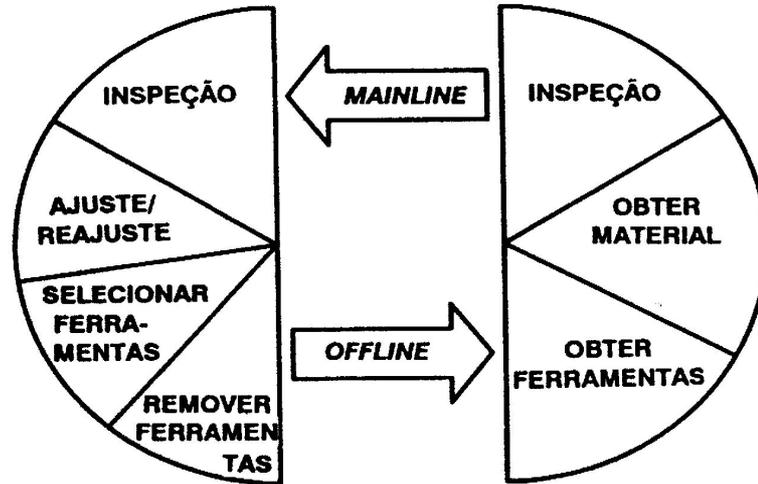


Figura 3.5 – Divisão do *Setup* (Harmon e Peterson, 1997)

Analisando as economias descritas na Figura 3.6, chega-se à conclusão que estas realmente são reais, e não ilusórias. Pois os minutos reais de trabalho *offline* e *mainline* foram reduzidos. Na maioria das fábricas, pouquíssimas máquinas operam 24 horas por dia nos 7 dias da semana. Portanto, faz mais sentido medir a redução do *setup* em termos de decréscimo dos minutos ou horas de trabalhos para analisar a economia na maior utilização da máquina e a possibilidade de evitar a compra de um novo equipamento.

### ECONOMIAS REAIS DE *SETUP*

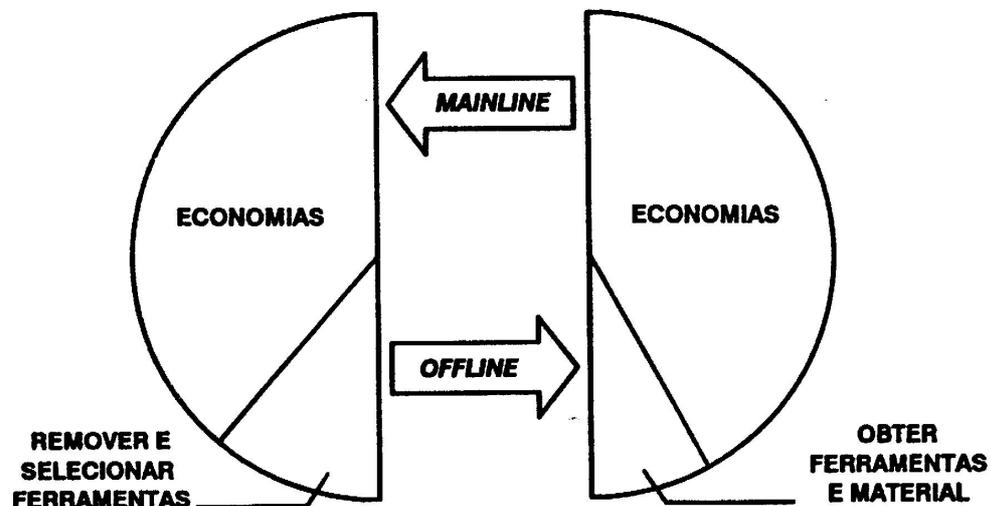
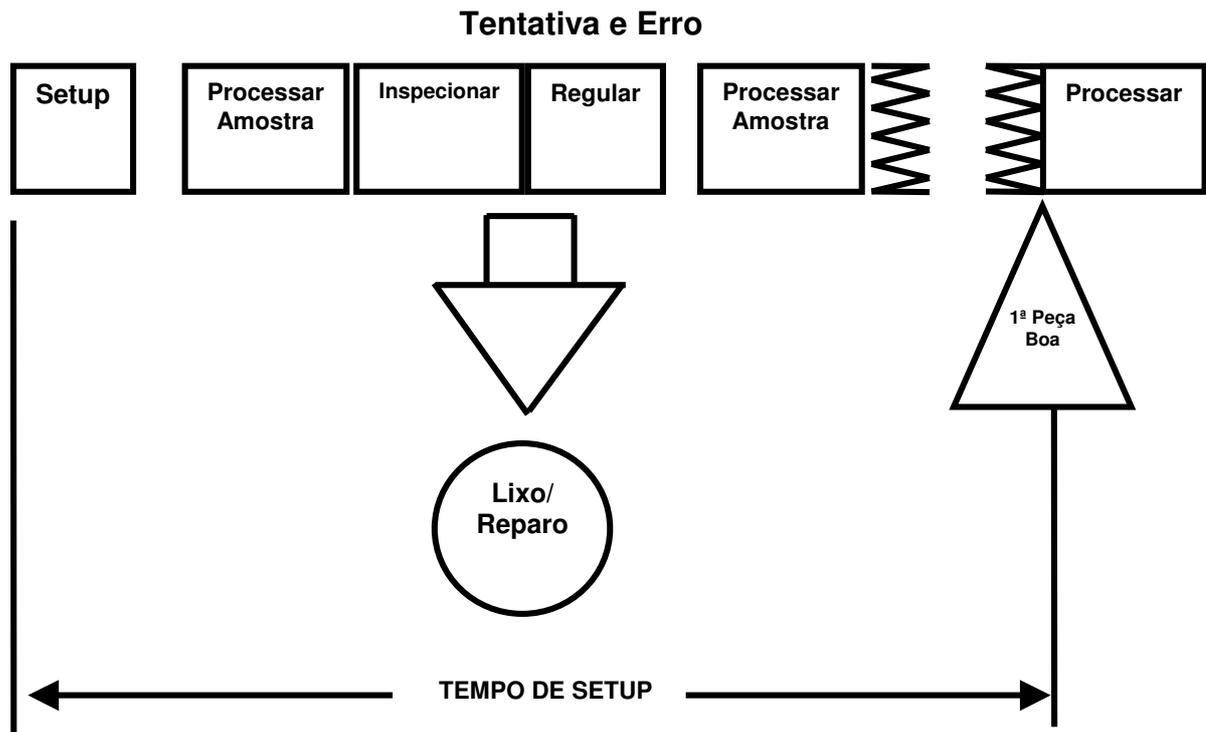


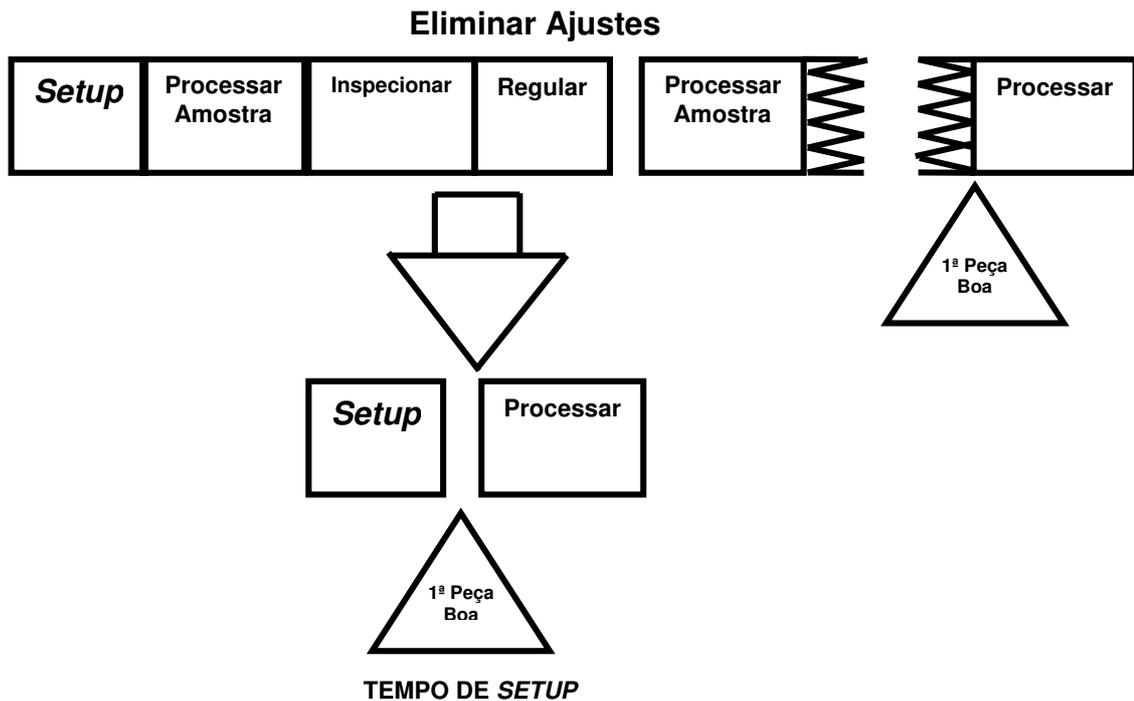
Figura 3.6 – Economia com o *Setup* Correto (Harmon e Peterson, 1997)

Em quase todo *setup*, as regulagens iniciais, geralmente rápidas, são seguidas de extensos períodos de processamento experimental de amostras, medição e ajustes adicionais das regulagens. De acordo com a Figura 3.7, o processo de tentativa e erro costuma gerar itens defeituosos, que talvez precisem ser reprocessados ou jogados fora, não sendo adequado para um sistema de produção eficiente que visa a redução máxima de desperdícios referentes à *setup* e a qualidade das peças produzidas.



**Figura 3.7 – Setup por Tentativa e Erro (Harmon e Peterson, 1997)**

Na Figura 3.7, observa-se que o tempo de *setup* de máquina inclui o *setup* inicial e os ciclos subsequentes de tentativas e erros, até a primeira peça boa ser produzida. Geralmente nas empresas, ao ser indagado sobre a duração do *setup*, o pessoal costuma responder que é de duas horas; porém, na verdade, leva-se oito horas para produzir o primeiro item satisfatório. A definição atual do tempo de *setup* inclui apenas a operação inicial, sem os ciclos de *setup* por tentativa e erro. Entre os objetivos de um projeto de redução do tempo de *setup* de máquina, deve-se incluir a eliminação da tentativa e erro. É possível ajustar as máquinas e posicionar ferramentas e acessórios para iniciar a produção, garantindo que a primeira peça produzida seja boa, conforme a parte inferior da Figura 3.8.



**Figura 3.8 – Setup com Eliminação de Ajustes (Harmon e Peterson, 1997)**

Há muitas maneiras de ajustar máquinas e ferramentas exatamente nas posições corretas. Em muitos casos, as máquinas possuem escalas graduadas, gabaritos e medidores, contudo ilegíveis, por estarem sujos de graxa e óleo.

Quando a máquina possui dispositivos de correção dos ajustes devido a desgaste natural, não costuma ser difícil colocá-los em funcionamento, porém muitas vezes precisam ser limpos e reparados. Cada tipo de peça deve ser designada a máquinas ou células específicas e, na maioria das vezes, nelas produzidas. Com isso, torna-se vantajoso documentar as regulagens corretas para os *setup* de máquina. Revisões diárias, semanais ou até mensais nos dispositivos de ajuste permitem detectar “desvios” nos componentes das máquinas, possibilitando assim aos operadores regular novamente tais dispositivos antes que o desvio fuja do intervalo recomendável.

### 3.2.3.1 - Padronização dos Dispositivos de Posicionamento

Na opinião de Harmon e Peterson (1997), outra forma de redução de *setup* é a padronização dos dispositivos de posicionamento, isso porque se um único tamanho e tipo de cabeça é usado sempre que se use tal dispositivo de posicionamento, apenas uma ferramenta padronizada se torna necessária. Uma vez obtida essa ferramenta, pode-se deixar a cargo dos encarregados as trocas dos dispositivos de posicionamento. Essa padronização, nas mais complexas máquinas, pode reduzir o tempo de conversão de horas para segundos.

Quando há um uso excessivo de dispositivos de posicionamento, a equipe do projeto de redução do *setup* de máquina deve realizar ou solicitar uma análise estrutural, a fim de determinar a quantidade correta destes dispositivos. Ou, ainda melhor, não havendo perigo para os operários e equipamentos, experimentos com menos dispositivos de posicionamento, ou dispositivos diferentes, podem ser a melhor maneira de encontrar a resposta.

### 3.2.3.2 - Armazenagem Focalizada nos Dispositivos de *Setup*

Para Harmon e Peterson (1997), uma das técnicas mais fáceis, rápidas e menos caras de melhorar o *setup* de máquina consiste na armazenagem focalizada dos dispositivos de *setup*. O responsável pelo *setup* ocupa até um terço de seu tempo deslocando-se para longe da máquina com o intuito de apanhar a matéria-prima, os instrumentos, os moldes, as ferramentas e a documentação necessária para a conversão. Com a armazenagem focalizada, todos estes itens são guardados mais próximos da máquina onde o *setup* se realiza.

Harmon e Peterson (1997) ainda afirmam que, numa fábrica moderna, as ferramentas são armazenadas ao lado ou perto da máquina em que são usadas. Se ferramentas manuais são necessárias para o *setup*, elas devem estar penduradas em ganchos sobre a máquina. Se isso não for possível, *kits* portáteis ou carrinhos de ferramentas, como mostra a Figura 3.9, podem ser colocados próximos da máquina, sendo a segunda melhor alternativa.

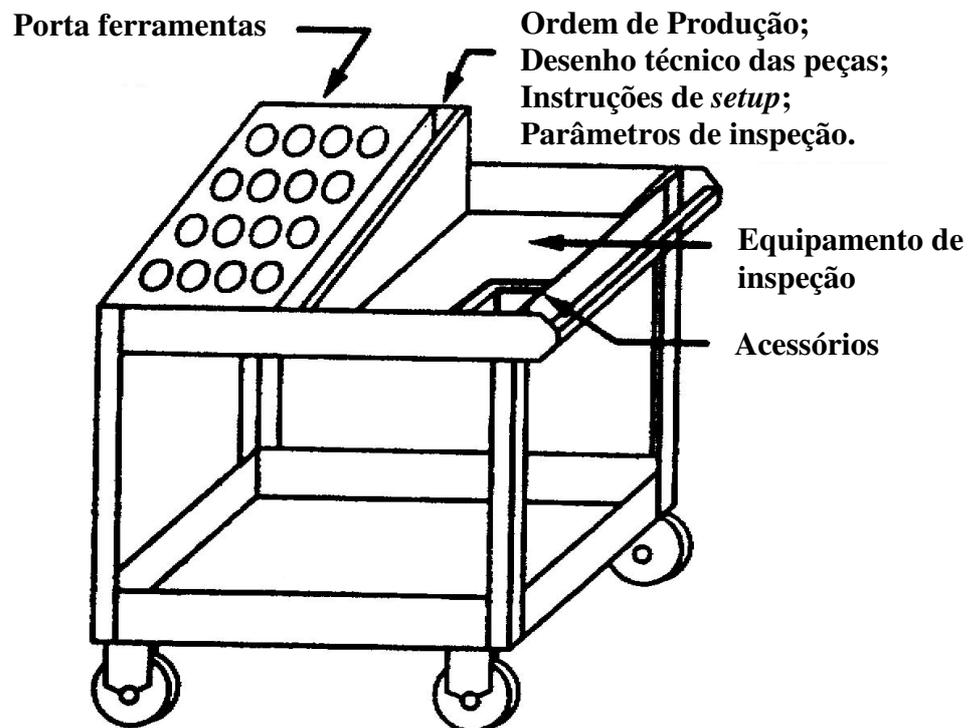


Figura 3.9 – Exemplo de Carrinho de *Setup* (Harmon e Peterson, 1997)

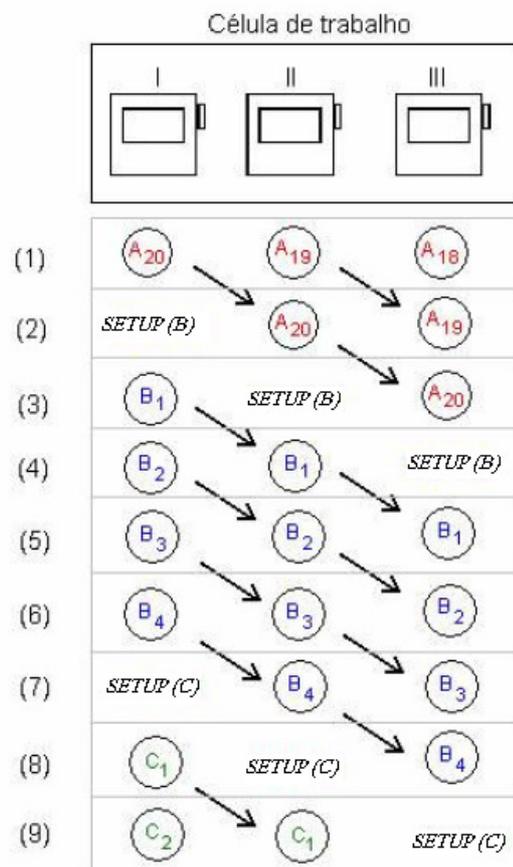
Nishida (2005) ressalta que ter um *setup* rápido é um dos passos fundamentais para nivelar a produção. Possibilita-se, assim, trabalhar em pequenos lotes e diminuir os estoques, aumentar a flexibilidade e atender mais rapidamente a demanda dos clientes.

Nishida (2005) ainda diz que, antes de fazer qualquer mudança no processo para redução de *setup*, é preciso determinar um objetivo claro de redução baseado em demanda do cliente, quantidade de peças fabricadas na máquina, tempos de ciclo dela e horas trabalhadas diariamente.

Para determinar o *setup* ideal no caso de uma célula de trabalho com várias máquinas, faz-se necessário obter o tempo *takt* desta célula que é determinado pela seguinte relação:

$$Takt = \frac{\text{Tempo disponível para produção da demanda}}{\text{Demanda do cliente}} \quad \text{Equação 3.1}$$

Determinado esse tempo *Takt*, o ideal é compará-lo com o tempo de ciclo de cada peça. Para fazer o *setup* de uma peça A para outra B ou C mantendo o fluxo de uma peça por vez, o operador de B deve realizar o *setup* enquanto A ainda estiver sendo processada nas outras máquinas. Chama-se isso de preparação em um toque e é demonstrado na Figura 3.10:



**Figura 3.10 – Preparação em um Toque (Nishida, 2005)**

Ou seja, tem-se o produto A fluindo na linha e sendo processado. Antes de entrar um produto B, deixa-se fluir um vazio uma única vez na máquina como mostrado em (2). É este intervalo de tempo, quando nenhum produto está passando no processo, que será o tempo disponível para o *setup* da máquina. Sendo assim, realiza-se o tempo de *setup* da máquina no tempo *takt* da peça sacrificando apenas uma unidade de peça, todavia mantém-se o fluxo na célula. Para se ter uma eficácia deste procedimento, os tempos de máquina de cada peça devem ser balanceados e o mais próximo possível para não criar estoque entre uma máquina e outra.

Para reduzir o tempo de *setup* neste nível e balancear os tempos de máquina, deve-se fazer um estudo detalhado em cada etapa do processo, ou dos elementos do processo, junto com os tempos de operação, com o intuito de eliminar desperdícios.

Neste trabalho, o *setup* é profundamente analisado fazendo com que várias alterações de processo no setor de usinagem de uniões sejam efetuadas, pois um menor tempo de *setup* possível é fundamental para que o índice de produtividade melhore quando se trata de trocas de ferramentas, já que este influencia muito nos tempos de máquinas paradas.

A seguir tem-se uma outra questão importante para o presente estudo que está diretamente ligada a ferramentas e dispositivos de usinagem.

### **3.2.4 - Gerenciamento de Ferramentas**

A indústria, para permanecer competitiva, produz uma grande quantidade de produtos diferentes para atender a demanda do mercado. Isto necessita cada vez mais de recursos, e um destes recursos são as ferramentas, que têm um peso significativo também no aspecto financeiro, segundo Tani (1997).

Tani (1997) ainda enfatiza que as ferramentas de corte representam só uma pequena parte do custo total de produção, aproximadamente 3%. É, portanto, compreensível que os clientes tenham uma certa tendência a desconsiderar esse ponto na busca por redução de custo. Atualmente, nada poderia ser mais equivocado! As ferramentas de corte aplicadas de maneira correta reduzem de modo mais significativo o custo de produção.

Anumolu e Shewchuk (2000) dizem que as ferramentas são um dos recursos mais críticos para os sistemas de processamento de dados empregados no gerenciamento de ferramentas.

A importância das ferramentas é melhor ilustrada por Anumolu e Shewchuk (2000) na estatística abaixo:

- 16% do tempo do plano de produção é perdido porque as ferramentas não estão disponíveis;
- 40-60% de tempo de um operador é gasto solicitando ferramentas e materiais relacionados;
- 7-10 vezes mais dinheiro é gasto em ferramentas, gabaritos, etc. que em equipamento principais;
- e até 30% de inventários de ferramenta consistem em “usinagem perdida - ferramentas que tinham sido distribuídas, mas não são consideradas para...”.

O Gerenciamento de Ferramentas é importante, pois reduz o tempo de máquina parada, custos relativos a inventário e aumenta a confiança da produção na área de ferramentas, de acordo com Plute (1998).

Plute (1998) ainda afirma que, com a utilização do gerenciamento de ferramentas, ocorre a identificação das ferramentas duplicadas e o estabelecimento de quantidades adequadas do nível para cada ferramenta estocada, podendo contribuir para a redução de 25% do excesso de inventário de ferramentas de corte.

Fortulan e Resende (1997) destacam que os sistemas produtivos, as máquinas e os equipamentos cujos níveis de automação estão aumentando a cada dia necessitam cada vez mais de uma grande infra-estrutura ao seu redor para se manterem em constante funcionamento, por conseguinte, o gerenciamento de ferramentas merece atenção constante principalmente para evitar desperdícios.

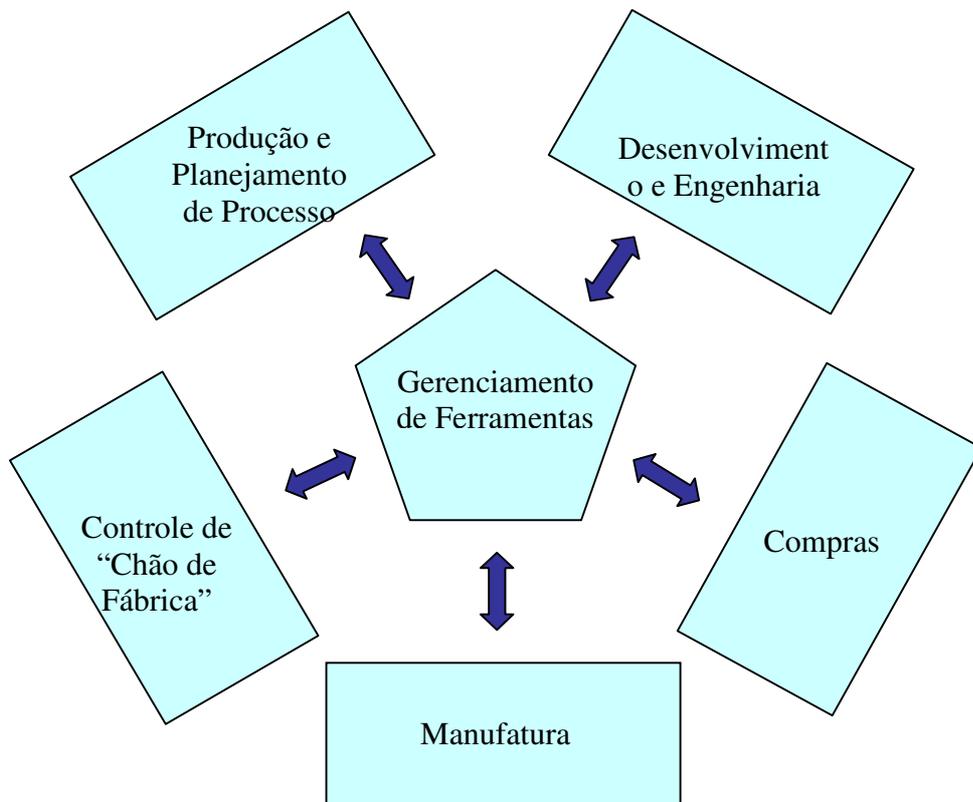
Na maioria das empresas de usinagem, existe um significativo potencial de ganho devido à forma inadequada de gerenciar as ferramentas, pois há fatores que atrapalham o fluxo contínuo e econômico da produção, como:

- Achar as ferramentas de corte e dispositivos adequados;
- Estoque excessivo ou falta de ferramentas;
- Mix de operação na fábrica maior que o necessário;
- Diminuição da capacidade de produção devido ao demasiado tempo na troca de ferramentas;
- Difícil programação de estoque das ferramentas por não saber a sua vida útil;
- Seqüência de usinagem não adequada para o tipo da peça;
- Ferramentas não adequadas para o tipo de operação.

Segundo Boogert (1994), para um gerenciamento de ferramentas adequado, é preciso levar em conta os seguintes aspectos no planejamento:

- Técnico;
- Logístico;
- Estratégico.

Onde as principais áreas envolvidas no gerenciamento de ferramentas estão apresentadas na Figura 3.11:



**Figura 3.11 – Setores Envolvidos no Gerenciamento de Ferramentas (Boogert, 1994)**

Na seqüência, tem-se descritos os principais planejamentos necessários para o desenvolvimento adequado do gerenciamento de ferramentas.

#### **3.2.4.1 - Planejamento Técnico**

Conforme Boogert (1994), o planejamento técnico tem como meta selecionar as ferramentas de corte que possibilitam um processo mais econômico e que atendam as necessidades requeridas para a qualidade do produto. Portanto, um planejamento técnico

eficiente ocasiona uma menor parada de máquina, além da diminuição no número de ferramentas a serem utilizadas na usinagem e de um processo mais confiável, sem quebra prematura de ferramentas ou qualidade de acabamento da superfície baixo, atendendo os prazos e reduzindo os custos de produção.

No planejamento técnico se define a ferramenta adequada para cada operação de usinagem, sendo que a seleção das operações depende de fatores como máquina-ferramenta, tipo de ferramenta, material da peça e da ferramenta e tolerâncias, objetivando produzir a peça desejada da melhor maneira.

Ainda segundo Boogert (1994), a seleção das ferramentas pode ser feita de acordo com diversos objetivos quais sejam:

- Minimização do número de ferramentas;
- Maximização da produtividade;
- Minimização dos custos.

Boogert (1994) afirma que uma correta seleção de ferramentas pode ser feita orientada à máquina-ferramenta ou orientada à peça como se pode ver a seguir.

**Seleção de Ferramentas Orientada à Máquina-ferramenta** - Neste caso, as ferramentas são montadas e selecionadas em conjuntos fixos padrão, pré-determinados para cada máquina-ferramenta onde estas podem ser colocadas diretamente no magazine da máquina, limitando-se ao tamanho deste, ou então este magazine pode ser constituído pelas ferramentas preferidas nas operações normalmente desempenhadas naquela máquina.

Isto ocasiona uma redução dos custos com ferramentas devido à sua padronização, e redução dos tempos de preparação. É pré-requisito para esta estratégia a informação atualizada a respeito do estoque, alocação e disponibilidade dos conjuntos de ferramentas.

**Seleção de Ferramentas Orientada à Ferramenta de Corte** - Todas as ferramentas disponíveis no chão de fábrica são candidatas à seleção apenas com restrições técnicas e logísticas.

Neste caso, as ferramentas escolhidas para a fabricação de uma determinada peça podem ser utilizadas para determinar qual máquina se adapta melhor à produção, este tipo de seleção pode aumentar os custos com ferramental, pois, para cada componente, deve haver no estoque peças de reposição. Por outro lado, o responsável pelo processo pode escolher ferramentas mais dedicadas.

**Monitoramento das condições da ferramenta** – O monitoramento da ferramenta tem como funções prevenir que a ferramenta de corte quebre durante a operação de usinagem ou

que a quebra ou desgaste excessivo desta influencie na operação, além disso, acumula dados da performance da ferramenta para processamento posterior da engenharia através da identificação das ferramentas.

**Dispositivos de fixação e adaptadores** – São necessários para conectar a ferramenta de corte com o eixo da máquina ferramenta, os encaixes podem ser classificados de acordo com seus métodos de fixação, como mandril, pinças e outros.

Os dispositivos de fixação e adaptadores têm algumas informações em comum:

- Identificação;
- Comprimento e diâmetro máximos;
- Fabricante;
- Código do fabricante;
- Custo;
- Número de estoque.

**Seleção da Seqüência de Usinagem** – O objetivo da seleção correta de uma seqüência de usinagem é minimizar os tempos principais e secundários. Para isso, é necessário principalmente minimizar o número de troca de ferramentas e movimentação de peças. Este procedimento está sujeito a restrições relativas à seqüência de usinagem das superfícies a serem usinadas, além de suas operações.

### 3.2.4.2 - Planejamento Estratégico

Boogert (1994) afirma que as decisões estratégicas negociam a possibilidade de expandir ou reduzir a capacidade dos recursos, ou seja, são responsáveis por definir a ferramenta correta para cada máquina. O planejamento estratégico é dividido da seguinte maneira:

- Planejamento Estratégico: assegura que a ferramenta desejada esteja disponível na quantidade correta e no tempo certo;
- Controle Estratégico: coordena a transferência da ferramenta entre a máquina e o *preset*;
- Monitoramento Estratégico: identifica e reage se ocorrem imprevistos, além de monitorar a situação da ferramenta.

Conforme Boogert (1994), para um bom desempenho estratégico, a empresa deve possuir os seguintes setores com suas respectivas características:

**Desenvolvimento e Engenharia** – Devem possibilitar um planejamento do processo seguro e preciso, a partir do desenvolvimento do produto.

**Compras** – Obter as informações como o cliente, código de ferramenta, quantidade, deixando assim o sistema mais ágil. O ideal é que, quando uma ferramenta atinge o estoque mínimo, uma ordem de compra seja gerada automaticamente.

**Produção e Planejamento do Processo** - As ferramentas usadas no chão de fábrica são selecionadas pela área que planeja o processo, portanto, as demandas devem ser analisadas considerando os recursos ferramenta e máquina, além de avaliarem a ferramenta em relação à sua capacidade.

**Controle no Chão de Fábrica** – Primeiramente, deve ser determinado o plano de trabalho, o tempo de execução e o tempo de início dos trabalhos. Quando as ferramentas forem removidas, sempre se deve atualizar as informações concernentes à localização da ferramenta e seu armazenamento. No chão de fábrica, indica-se a disponibilidade dos recursos, situação das ferramentas em relação ao seu *preset*, além de armazenar os dados de desempenho das ferramentas.

**Controle do Inventário das Ferramentas** - Através do controle de inventário previnem-se as compras desnecessárias de ferramentas e componentes, analisando-se o estado da ferramenta no processo e localizando-se os componentes e as ferramentas para posteriores utilizações, levando-se em conta a vida da ferramenta e a quantidade existente.

**Tarefas no Chão de Fábrica** - O operador é indispensável para a instalação e monitoração das ferramentas. Os grupos de ferramenta são prefixados no local da ferramenta de acordo com as informações técnicas recebidas do departamento de processo.

**Administração de Dados de Ferramenta** - A administração de informações é a base para a administração das ferramentas. A principal finalidade de criar um banco de dados de ferramenta é estruturar dados, fornecendo assim a flexibilidade para definir seus parâmetros.

**Racionalização da Vida da Ferramenta** - Esta visa à redução dos custos mediante o uso otimizado da ferramenta baseado na inspeção visual do seu corte, monitoramento do som produzido durante o processo, do consumo de energia da máquina e força de corte inspecionando, assim, no final da produção da peça, as tolerâncias do produto através da superfície de acabamento.

A seguir tem-se um modelo de gerenciamento de ferramentas, representado pela Figura 3.12, em que os setores da empresa estão colocados de forma a exemplificar um

planejamento estratégico adequado para a produção de um determinado novo produto fabricado pela empresa segundo Boogert (1994).

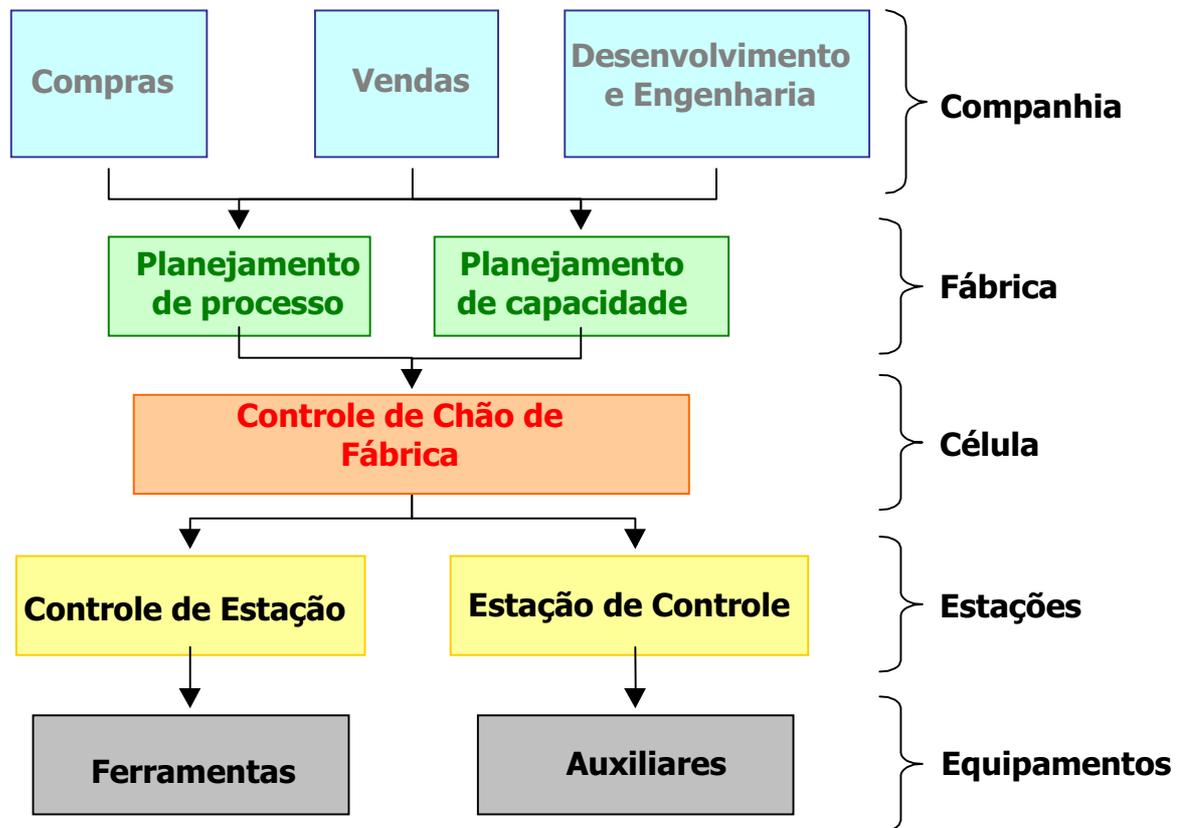


Figura 3.12 – Modelo de Gerenciamento de Ferramentas (Boogert, 1994)

### 3.2.4.3 - Planejamento Logístico

Conforme Boogert (1994), o planejamento logístico possibilita a distribuição da ferramenta no local correto e no prazo determinado, além de gerenciar recursos existentes.

Em decorrência da limitada disponibilidade de recursos relacionados à ferramenta, a seleção da mesma deve considerar uma verificação de capacidade. Para um plano de processo adequado, um planejamento de capacidade é necessário. As ferramentas alternativas para as operações são um requisito para a integração entre o plano de processo e o planejamento de capacidade. O desgaste regular da ferramenta é outro aspecto de fundamental importância para a logística da ferramenta. Em pequenos lotes, a troca contínua é inviável, sendo assim, duas estratégias para este caso são possíveis:

- Estabelecer as condições de corte de forma que a ferramenta produza o lote completamente;

- Definir as ferramentas de reposição que apresentam um desgaste regular maior.

Para um plano de processo em tempo real, o inventário de ferramentas deve ser constantemente atualizado para garantir que a ferramenta escolhida esteja sempre disponível.

Acredita-se que, conforme Francischini (2005), antes de investir para acompanhar o aquecimento da demanda, deve-se estudar o processo produtivo, identificando as perdas e tentando eliminá-las.

Maynard (1970) diz que as companhias melhor sucedidas fazem com que as idéias a serem aproveitadas sejam implantadas o mais breve possível, qualquer que seja sua importância.

Segundo Suzaki (1996), precisa-se reduzir o *lead time* da entrega do produto aos clientes. O desafio fundamental é organizar melhor a expedição, reduzir o tempo de *setup* e diminuir os tamanhos de lote da produção. Ademais, reduzir os níveis de inventário nos sistemas de produção e transporte para reduzir o risco de produzir e transportar materiais desnecessários.

Conforme afirma ainda Jacobsen (1987), o conceito de **otimização** é mais abrangente (e mais correto) que o de **redução de custos**, desde que o aumento de custos represente um aumento da margem de lucro da empresa, que é a diferença entre a Receita total da empresa e os custos (ou despesas) obtidos. Isto se deve principalmente ao fato de que a preocupação com a redução de custos nos leva muitas vezes a despedir a melhor mão-de-obra, cortar verbas de publicidade (e vendendo menos conseqüentemente), diminuir despesas ao extremo, chegando até a desmotivar o pessoal da empresa.

Logo, o que se deve fazer não é gastar menos, e sim gastar de uma forma otimizada, investindo no que, a curto ou a longo prazo, garanta alcançar os objetivos sociais da organização.

Como visto acima, para a otimização dos processos de manufatura que visam estoques reduzidos, ganhos de produtividade, melhorias contínuas e redução de custos, existem várias filosofias a serem seguidas, nas quais o principal objetivo é alcançar uma melhor eficiência na análise e solução dos problemas encontrados na fábrica.

Para Huntzinger (2002), as mais promissoras e atuais técnicas de manufatura são japonesas e expressadas através do desenvolvimento de filosofias como, por exemplo, o 5S, *Kaizen*, Sistema Toyota de Produção e, mais recentemente, por meio do *Lean Thinking* (Mentalidade Enxuta) ou *Lean Manufacturing* (Manufatura Enxuta), que será abordada a seguir para melhor fundamentação do presente estudo.

### 3.3 – Filosofia *Lean Thinking*

Segundo Womack e Jones (2002), *Lean Thinking* (Mentalidade Enxuta) é um termo cunhado para denominar uma filosofia de negócios baseada no Sistema Toyota de Produção que olha com detalhe para as atividades básicas envolvidas no negócio e identifica o que é o desperdício e o que é o valor a partir da ótica dos clientes e usuários.

As práticas envolvem a criação de fluxos contínuos e sistemas puxados baseados na demanda real dos clientes, a análise e melhoria do fluxo de valor das plantas e da cadeia completa, desde as matérias-primas até os produtos acabados, e o desenvolvimento de produtos que efetivamente sejam soluções do ponto de vista do cliente. A adoção dessa filosofia tem trazido resultados extraordinários para as empresas que a praticam.

Conforme Womack e Jones (2002), o *Lean* foi originalmente concebido por Taiichi Ohno e colaboradores, essencialmente como práticas de manufatura, e tem sido gradualmente disseminado em todas as áreas das empresas, dos mais diferentes tipos, tornando-se efetivamente uma filosofia e uma cultura empresarial.

Os resultados obtidos geralmente implicam um aumento da capacidade de oferecer os produtos que os clientes querem, na hora em que eles querem, nos preços que eles estão dispostos a pagar, com custos menores, qualidade superior, "*lead times*" curtos, garantindo assim uma maior rentabilidade ao negócio. Desenvolvido originalmente no ambiente de produção da indústria de manufatura, o *Lean Thinking* vem sendo aplicado, com grandes resultados em eliminação de desperdícios, nos mais diferentes ambientes das organizações, dentro do conceito de "*Lean Enterprise*" (administração, desenvolvimento de produto e produção), bem como em empresas de diversos setores, tais como: automobilístico e seus fornecedores, aeronáutico, eletrônico, serviços, construção, mineração, dentre outros.

O três principais fluxos, presentes em praticamente todas as organizações, aos quais os princípios *Lean* se aplicam, são:

- do pedido ao recebimento ("*order to cash*");
- da concepção ao lançamento do produto;
- da matéria-prima ao consumidor.

#### 3.3.1 – Os 5 Princípios do *Lean Thinking*

Na concepção de Womack e Jones (2002), o ponto de partida para a Mentalidade Enxuta consiste em definir o que é **Valor**. Diferente do que muitos pensam, não é a empresa,

e sim o cliente que define o que é valor. Para ele, a necessidade gera o valor e cabe às empresas determinarem qual é essa necessidade, procurar satisfazê-la e cobrar por isso um preço específico para manter a empresa no negócio e aumentar os lucros via melhoria contínua dos processos, reduzindo os custos e melhorando a qualidade.

O próximo passo consiste em identificar o **Fluxo de Valor**. Significa dissecar a cadeia produtiva e separar os processos em três tipos: aqueles que efetivamente geram valor, aqueles que não geram valor, mas são importantes para a manutenção dos processos e da qualidade e, por fim, aqueles que não agregam valor, devendo ser eliminados imediatamente. Apesar das empresas sempre acompanharem o desempenho de sua cadeia produtiva, elas continuam a focalizar em reduções de custos não acompanhadas pelo exame da geração de valor, pois olham apenas para números e indicadores em curto prazo, ignorando os processos reais de fornecedores e revendedores. As empresas devem olhar para todo o processo, desde a criação do produto até a venda final e, por vezes, a pós-venda.

A seguir, deve-se dar "fluidez" para os processos e atividades que restaram. Isso exige uma mudança na mentalidade das pessoas. Elas precisam ter a consciência de não pensar que a produção por departamentos é a melhor alternativa. Constituir **Fluxo Contínuo** com as etapas restantes é uma tarefa difícil do processo. É também a mais estimulante. O efeito imediato da criação de fluxos contínuos pode ser sentido na redução dos tempos de concepção de produtos, de processamento de pedidos e estoques. Ter a capacidade de desenvolver, produzir e distribuir rapidamente dá ao produto uma "atualidade": a empresa pode atender a necessidade dos clientes quase que instantaneamente.

Isso permite inverter o fluxo produtivo: as empresas não mais obrigam o consumidor a comprar os produtos, mas sim, oferecem descontos e promoções. O consumidor passa a "puxar" a produção, eliminando estoques e dando valor ao produto. É a **Produção Puxada**. Sempre que não se consegue estabelecer o fluxo contínuo, a alternativa é conectar os processos por meio dos sistemas puxados.

**Perfeição**, quinto e último passo da Mentalidade Enxuta, deve ser o objetivo constante de todos os envolvidos nos fluxos de valor. A busca do aperfeiçoamento contínuo em direção a um estado ideal deve nortear todos os esforços da empresa, em processos transparentes em que todos os membros da cadeia (montadores, fabricantes de diversos níveis, distribuidores e revendedores) tenham conhecimento profundo do processo como um todo, podendo dialogar e buscar continuamente melhores formas de criar valor.

### 3.3.2 – Implementação do *Lean Thinking*

Um dos maiores desafios na implementação das técnicas de manufatura enxuta, conforme Berger (2001), é garantir que alterações reais no comportamento aconteçam em todos os níveis da organização. Mesmo a equipe gerencial melhor intencionada, leal e respeitada, não alcançando a adoção entusiástica das mudanças, verá seu plano se reverter nas velhas e familiares rotinas. O próprio termo manufatura enxuta pode ser problemático, já que alguns trabalhadores vêem o termo enxuto como sinônimo de perda de emprego.

A seguir, tem-se algumas considerações a serem analisadas para que um projeto de manufatura enxuta tenha sucesso segundo Berger (2001).

1. Desenvolver uma visão compartilhada dos objetivos de longo prazo da empresa e deixar claro como o projeto da manufatura enxuta se encaixa e dá suporte a essa visão;
2. Certificar-se de que há apoio da alta administração, tal como o comparecimento em reuniões, alocação de verbas suficientes e que suas ações sejam condizentes com o discurso;
3. Os implementadores da mudança devem entender e ter a disposição para a mudança. Estes podem ser testados por meio de entrevistas formais e pesquisas, e/ou por meio de canais informais, como reuniões com os supervisores;
4. Dar tempo suficiente para a implementação das mudanças;
5. Estabelecer metas mensuráveis de desempenho para definir com o que uma implementação enxuta de sucesso deverá se parecer;
6. Educação e treinamento devem ser fornecidos a cada categoria envolvida, com respeito à natureza e benefícios esperados das mudanças;
7. Antecipar-se às resistências à mudança, especialmente se houver na empresa uma história de alterações cujo processo de implementação não tenha tido sucesso. Certificar-se de que o sacrifício da implementação da manufatura enxuta seja visto como uma melhoria em relação à situação atual.

Além dessas considerações acima, Berger (2002) assinala que qualquer comitê de administração que esteja analisando a implementação de um programa de manufatura enxuta não deve subestimar a dificuldade em conseguir que a idéia entusiasme seus empregados. Somente a comunicação constante pode ajudar a gerenciar as expectativas de todos os envolvidos no programa.

Na seqüência, algumas ferramentas práticas que podem ser incluídas no plano de comunicações, dependendo das necessidades conforme Berger (2002).

1. Reuniões gerais com os setores envolvidos para passar grande quantidade de informações, de forma íntegra e consistente;
2. Reuniões itinerantes, ou seja, uma série de pequenas reuniões, com grupos menores;
3. Vídeo, pois este pode transmitir uma mensagem clara e consistente dos problemas e alterações no processo;
4. Perguntas e Respostas: Uma lista escrita de "Perguntas e Respostas" compõe um excelente acessório para responder questões pertinentes, de forma apropriada para cada grupo envolvido;
5. Quadros de avisos para que os progressos possam ser comunicados ao longo do projeto utilizando pôsteres, gráficos e calendários colados por toda empresa.

Womack (2002) afirma que, para um gerenciamento de informações relacionadas à produção e cumprimento de prazos, é preciso tomar alguns cuidados, conforme segue:

1. Simplificar cada processo objetivando minimizar a necessidade de gerenciamento de informações;
2. Programar cada fluxo de valor a partir de somente um ponto. Realizar essa simples tarefa torna o gerenciamento de informações mais fácil para toda operação;
3. Usar um controle de produção que, quando o processo do fluxo abaixo utilizar o material, uma ordem automática seja colocada para reabastecer a mesma quantidade do processo seguinte fluxo acima;
4. Enviar a informação em pequenos lotes, uma vez que muitos sistemas de gerenciamento de pedidos e vendas ainda trabalham com lotes semanais ou de dez em dez dias, ao mesmo tempo em que muitas organizações parecem mover-se para funcionar inclusive à noite com o intuito de produzir uma programação diária;
5. Fazer o gerenciamento de informações transparente e intuitivo. Métodos simples de gerenciamento de informações como cartões de Kanban parecem demasiadamente simples, porém são intuitivos, tornando algumas falhas óbvias.

Segundo Huntzinger (2002), o sistema *Lean* de manufatura aproveita várias metodologias de melhoria contínua, como comentado anteriormente. A metodologia Kaizen é freqüentemente utilizada para workshops com pessoas envolvidas em um processo de fabricação, objetivando proporcionar melhorias na fabricação ou no processo de determinados produtos. Abaixo estão listadas perguntas e passos a seguir que geralmente são aplicados nos grupos de Kaizen objetivando minimizar desperdícios:

- As respostas para “Por quê?” e “O Quê?” identificam detalhes desnecessários a serem eliminados;
- As respostas para “Onde?”, “Quando?” e “Quem?” criam ligações entre combinar e rearranjar;
- A resposta para “Como?” conduz ao desenvolvimento do “único melhor caminho” através da simplificação;
- Trabalhar as próprias idéias com outros membros do grupo;
- Acreditar que os operadores também têm boas idéias e não somente os Engenheiros ou Técnicos que desenvolvem os processos;
- As melhorias não têm valor algum se não colocadas em prática;
- Colocar sempre o novo método em prática até encontrar um jeito melhor de ser desenvolvido;
- Acreditar que sempre há uma maneira melhor de fazer;
- Nunca se pode estar muito ocupado para fazer uma nova melhoria;
- Melhorias devem ser feitas sempre.

Morgan (2002) ainda acrescenta que, para viabilizar o processo *Lean* de manufatura, é preciso também levar em conta os seguintes itens:

- Visitar a fábrica no início do projeto para incorporar medidas a ele;
- Necessidade de ferramentas que reduzem *setup* e variabilidade na manufatura;
- O Projeto precisa respeitar processos padronizados e arquitetura modular;
- Engenharia industrial é uma organização única e centralizada;
- A manufatura é uma prioridade.

### 3.3.3 – Estação de Trabalho *Lean*

Segundo Weber (2005), produção puxada é o princípio básico da produção *Lean*. Em um sistema puxado, atividades fluxo abaixo (como a montagem) sinalizam ou retiram do processo anterior o que as atividades fluxo acima necessitam, como a distribuição de materiais. O mesmo princípio é aplicado para uma estação de trabalho *Lean*; operadores pegam as peças e têm acesso às ferramentas de trabalho quando e onde eles precisam, em um processo baseado no *just-in-time*.

Vista pela primeira vez, uma estação de trabalho *Lean* talvez pareça ser muito similar às estações tradicionais, mas elas são conceitualmente diferentes. Por exemplo, estações de

trabalho *Lean* devem ser projetadas para que haja o mínimo de desperdício no movimento do operador, no que se refere a qualquer tempo e esforço desnecessário requerido para montar o produto com qualidade e ergonomia. Viradas ou voltas excessivas, locais de difícil acesso e deslocamento desnecessário contribuem para o desperdício do movimento.

Weber (2005) ainda afirma que a estação de trabalho *Lean* deve focar em questões críticas do operador, tais como segurança, ergonomia, facilidade de pegar as peças e rapidez de se encontrar as ferramentas. Uma estação de trabalho *Lean* coloca todo o material necessário para a produção ao alcance das mãos do operador. São estrategicamente posicionados para que os operários possam alcançar as ferramentas e ou peças sem mesmo precisar olhar, utilizando, na maior parte do tempo, ambas as mãos.

Além disso, uma estação de trabalho *Lean* obrigatoriamente é centrada no tempo *takt*. Este é um termo comum da produção *Lean* que se refere ao ritmo de trabalho (cadência produtiva), normalmente utilizado para relacionar a demanda com uma produção real. O tempo *Takt* é determinado pela divisão do tempo total de produção disponível em cada turno pela demanda por turno de produção.

Em uma estação de trabalho tradicional, peças e ferramentas são dispostas horizontalmente ao longo de toda a superfície de trabalho, entretanto, uma estação de trabalho *Lean* tem uma apresentação mais verticalizada, para que as ferramentas e peças estejam mais próximas do operador. Isso reduz o espaço e o tempo gasto procurando material.

Conforme Weber (2005), as estações de trabalho alcançam vários estágios do *lean Manufacturing* dependendo de como se sustentam os princípios da produção enxuta por meio dos seus conceitos inerentes. Normalmente, as estações de trabalho *Lean* são amplamente adaptadas para aceitar mudanças de tipos de tarefas ou produtos, podendo ser re-configuradas rapidamente. Assim podem ajudar a obter agilidade máxima através de possibilidades ilimitadas de *layout*, tornando as estações de trabalho de alto nível *Lean*.

O ideal é que se trabalhe para criar estações de trabalho capazes de seguirem o trabalho padronizado e também serem flexíveis.

Estação de trabalho flexível significa que o volume de trabalho do operador pode ser alterado segundo a demanda do cliente e dos tipos de produtos. Conforme o volume varia, o número de operadores em um local também varia, proporcionalmente à mudança. Em um ambiente *Lean*, deve-se sempre manter a flexibilidade em mente, e estar preparado para as variações A, B ou C da estação de trabalho, visando produzir diferentes (itens) com rápida mudança.

Levitinas (1989) cita várias medidas que podem ser tomadas a fim de obter um aumento na produtividade e uma estação de trabalho:

- a) Diminuir o número de componentes de determinada ferramenta utilizada na produção de um produto ou até de um determinado produto resultado de uma montagem de vários componentes;
- b) Padronização de subconjuntos e de detalhes;
- c) Substituição de um material por outro de ferramenta para aumentar a vida útil;
- d) Uso de máquinas semi-automáticas ou automáticas;
- e) Uso simultâneo de várias ferramentas;
- f) Uso de dispositivos de troca rápida de ferramentas;
- g) Diminuição da quantidade de material da peça fabricada a ser retirado pela ferramenta;
- h) Modificação de tolerâncias de ajustes e de acabamento;
- i) Construção de dispositivos para acelerar a medição;
- j) Aperfeiçoamento de métodos e perfis de afiação da ferramenta;
- k) Estudo da forma de dispositivos de fixação e alimentação mais adequados;
- l) Treinamento de operadores;
- m) Sistemas de sugestões de melhorias;
- n) Eliminação de movimentos inúteis no transporte, manipulação e levantamento de peças, tanto materiais como dispositivos e mecanismos.

### **3.3.4 – Excesso de Movimentações**

De acordo com Weber (2005), a eliminação do desperdício de movimentos é um componente crítico de qualquer iniciativa de produção *Lean*. Infelizmente, na maioria das empresas que não possuem um processo de produção *Lean*, as estações de trabalho são notórias fontes de desperdício.

Acredita-se que a adaptabilidade às mudanças de processos e produto seja o mais importante. A única certeza é a inevitabilidade de mudanças nos produtos, processos e ferramentas utilizadas para produzi-los, pois a estação de trabalho não deve ser uma barreira para as mudanças, mas um complemento e um auxílio.

As estações de trabalho devem concordar com os princípios da produção *Lean*. Por exemplo, podem-se incorporar os 5Ss em todas as estações de trabalho projetadas. Para Weber (2005), o *Lean Enterprise Institute (Brookline, MA)* define o 5S como cinco termos

relacionados, cada um começando com um S, que descreve as práticas do local de trabalho que conduzem ao Controle Visual e à Produção *Lean*.

Conforme Weber (2005), o 5S é baseado nas palavras japonesas traduzidas como Senso de Utilização, Senso de Organização, Senso de Limpeza, Senso de Padronização e Senso de Disciplina:

- Analisar – analisar aquilo que se encontra na área de trabalho, separando e eliminando o que não é necessário;
- Classificar – organizar os itens que são necessários de forma clara e fácil de usar;
- Limpar – limpar a área de trabalho, os equipamentos e as ferramentas;
- Ficar com aparência de novo – organização e limpeza geral resultante da prática disciplinada dos três primeiros Ss;
- Sustentar – manter as mudanças através de auditorias.

### **3.3.5 – Observação dos Operadores**

Weber (2005) afirma que observar o operador trabalhando é uma importante parte do processo de melhoria da estação de trabalho, visto que, o operador conhece muito bem os produtos que são fabricados e processados. Portanto, é necessário fazer uma série de perguntas aos operadores, tais como: O que te atormenta ou aborrece? O que acontece antes e depois do produto chegar à estação de trabalho? O que você deseja mudar na área de trabalho? O que você aprecia aqui? Pois esses fatores afetam o tamanho, formato, escolha de acessórios e colocação da estação de trabalho, se deve ser móvel ou estacionário. Deve-se utilizar as informações do operador para definir estações de trabalho modulares que forneçam variações na área de trabalho, tais como altura, profundidade e largura.

### **3.3.6 – Peças versus Ferramentas**

Segundo Weber (2005), quando se projeta uma estação de trabalho *Lean*, deve-se determinar se é mais importante o operador ser capaz de pegar as peças eficientemente ou encontrar as ferramentas rapidamente.

Weber (2005) afirma que deve-se considerar a comparação entre eficiência e velocidade. O dilema peças versus ferramentas deverá ser resolvido pela natureza do trabalho que está sendo feito. Caso uma tarefa tenha intensivo uso de peças, com a necessidade de incorporar muitas peças tendo um curto tempo de ciclo de produção, então provavelmente é

mais importante ter um acesso eficiente de peças. Se for uma tarefa com intensivo uso de ferramentas, em que apenas umas poucas peças são necessárias, mas muitas e variadas ferramentas são precisas para se produzir, ajustar ou calibrar a montagem, então pode ser melhor focar na recuperação da ferramenta. De qualquer forma, deve-se categorizar a operação de montagem em atividade dominante, sendo ‘peças’ ou ‘ferramentas’, e então otimizar o processo através da colocação dos itens mais utilizados dentro das zonas de trabalho e manuseio otimizadas. O volume também afeta, se peças ou ferramentas, qual delas é mais importante para a estação de trabalho. Tipicamente, com volumes menores, o local das ferramentas se torna mais importante, especialmente se há uma utilização especial das ferramentas necessárias para a montagem do produto. Em ambientes de produção de alto volume que usam peças padronizadas, pegar as peças eficientemente para o operador se torna uma consideração mais importante.

### 3.3.7 – Números do *Lean*

Morgan (2002) ressalta que o desenvolvimento de qualquer produto no sistema *Lean* é um fator competitivo decisivo no qual se cria maior oportunidade para a eficiência da manufatura, custo e qualidade do produto. Na Tabela 3.1 se tem um comparativo entre empresas nos EUA que não utilizam o *Lean* e na Toyota onde a manufatura enxuta é aplicada:

**Tabela 3.1 – Comparativo de Tempo Gasto entre EUA e Toyota (Morgan, 2002)**

<b>Evento</b>	<b>Tempo gasto por Empresas Americanas (meses)</b>	<b>Tempo gasto pela Toyota (meses)</b>
<b>Da aprovação do estilo ao projeto de ferramentas</b>	10	5,5
<b>Ferramentas: do projeto à entrega</b>	12,5	4,5
<i>Try-out</i>	2,5	3
<b>TOTAL</b>	<b>25</b>	<b>13</b>

Existem vários estudos e artigos que mostram a eficiência do *Lean Thinking*, como exemplo pode-se citar Ward (2002) e (2003), que apresentam os seguintes dados:

- Compararam-se duas empresas, onde uma delas utilizou o *Lean* para 2 programas de desenvolvimento de produto. Para a empresa que tem o *Lean* implantado, foram

necessários 300 engenheiros durante 2 anos para que os projetos fossem concluídos, enquanto que, em uma empresa americana, também para 2 programas de desenvolvimento de produtos, utilizaram-se 600 engenheiros durante 4 anos até concluir o projeto;

- O tempo de engenheiros em atividades que efetivamente agregam valor aos projetos de desenvolvimento do produto na empresa americana é de 20% e na Toyota, 80%. O restante do tempo é desperdiçado com atividades que não agregam valor ao trabalho como espera por conclusões de partes do projeto por outras equipes ou ainda com a parte burocrática como preenchimento de documentos;
- A Toyota possui um maior índice de reutilização das peças e sistemas de manufatura, já que há uma preocupação muito grande com o mínimo desperdício possível, seja ele de tempo ou de recursos existentes na empresa.

A aplicação da filosofia *Lean Manufacturing* não está restrita apenas às empresas do ramo automobilístico ou de grande porte, mas sim de praticamente todos os ramos da indústria de transformação ou de serviços, ou até mesmo dos diversos setores das empresas, pois caso um determinado produto tenha que passar por diversas áreas, pode-se considerar o setor aonde o produto irá num segundo momento como um cliente do primeiro, e assim sucessivamente, lembrando que a filosofia visa ao mínimo desperdício possível, baixo custo e satisfação do cliente.

No estudo de caso apresentado neste trabalho, aplicou-se a filosofia em um setor de usinagem de uniões, focando principalmente em ferramentas e dispositivos de usinagem, objetivando o ganho de produtividade. Neste trabalho foram aplicados alguns conceitos do *Lean*, uma vez que não há como aplicar a filosofia em sua magnitude, pois trata-se de um estudo de caso específico em um setor e não de uma empresa como um todo.

Além de alguns conceitos da filosofia *Lean*, também se aplicaram os princípios do gerenciamento de ferramentas e os conceitos de organização na fábrica, demonstrados sobretudo na planilha de controle de ferramentas, além dos estudos para diminuição dos tempos de *setup* conforme apresentados no capítulo 5.

Vale a pena ressaltar que a parte da fundamentação teórica referente à pesquisa de campo se encontra no capítulo 4, pois acredita-se que assim a metodologia de realização do trabalho será melhor compreendida pelos leitores.

Na seqüência têm-se a empresa, o setor e as máquinas onde o estudo foi realizado, além da metodologia utilizada na elaboração deste trabalho.

## 4. METODOLOGIA, MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

### 4.1. Materiais e Equipamentos - Caracterização do Ambiente de Pesquisa e Estudo

Este trabalho foi desenvolvido numa grande empresa do setor de fundição, que possui sua sede e principal parque fabril em Joinville-SC. A empresa conta também com uma unidade de fundição em Mauá (SP), além de escritórios de negócios em São Paulo (SP), nos Estados Unidos, México, Alemanha, França e Argentina.

A empresa é considerada a maior fundição da América Latina e uma das maiores do mundo entre as fundições independentes, é uma companhia de capital aberto, controlada desde 1995 por um *pool* de fundos de pensão e bancos.

A empresa desenvolve e fabrica componentes em ferro fundido para os setores automotivo, ferroviário e de máquinas e equipamentos. Produz também conexões de ferro maleável, utilizadas em instalações hidráulicas e outros mecanismos de condução de gases, fluidos industriais, perfis contínuos de ferro, aplicados em construções mecânicas e granelhas de ferro e aço, utilizadas como abrasivo para limpeza de máquinas e para corte e desbaste de minerais.

Os primeiros produtos fabricados foram conexões para instalações hidráulicas, segmento em que logo se destacou como líder.

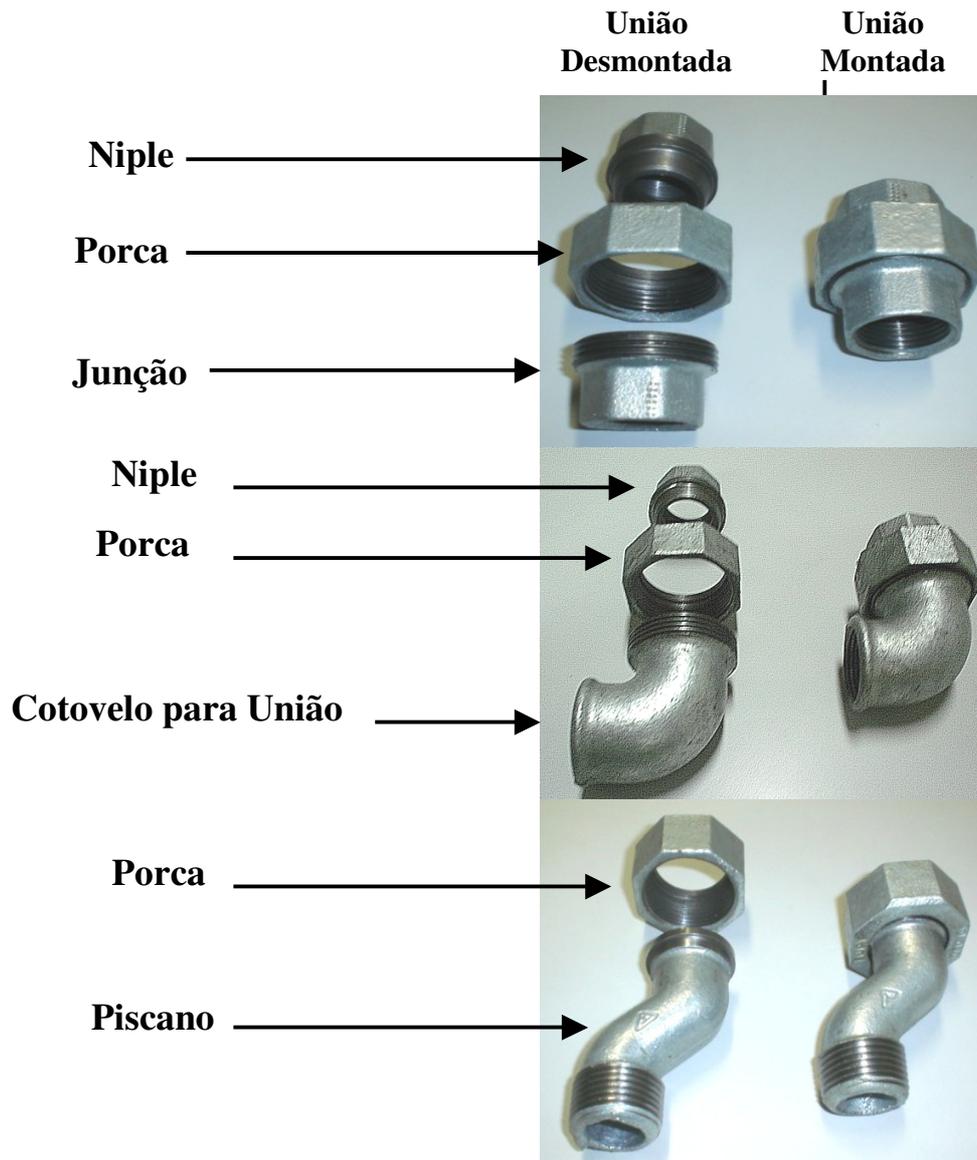
As conexões são produzidas em ferro fundido maleável preto, com diversos acabamentos de superfície e em conformidade com normas nacionais e internacionais. Além de ocuparem posição de liderança no mercado nacional, são exportadas para mais de 40 países da Europa, América Latina, Ásia e África.

Esta pesquisa foi desenvolvida na Unidade Fabril de Conexões, mais especificamente no setor de usinagem de uniões. Dentre as diferentes formas de conexões, as uniões são as peças de maior valor agregado ao produto de todas as conexões devido ao fato de serem formadas por um conjunto de peças. Além disso, diferente da maioria das conexões, as uniões possuem usinagem, não só de rosca, mas também de mandrilamento, torneamento ou fresamento, dependendo do tamanho ou do tipo da peça em questão.

As conexões são classificadas conforme sua forma, acabamento da superfície e também através do diâmetro da rosca medido em polegada. Os diâmetros das roscas são os seguintes: 1/4", 3/8", 1/2", 3/4", 1", 1 1/4", 1 1/2", 2", 2 1/2", 3", 4", 5" e 6". Além dos diâmetros de rosca diferentes, estas possuem duas normas para a confecção de rosca, que são a BSP e a NPT. A rosca BSP é produzida segundo a norma ABNT NBR NM ISO 7-1. E a

rosca NPT conforme a norma ANSI/ASME B 1.20.1. As peças são produzidas com normas de rosca diferentes, principalmente devido à utilização em diferentes países, que exigem a rosca de acordo com seu sistema de unidades.

As uniões são montagens de até 3 peças fundidas em diferentes montagens que caracterizam a forma da união. A Figura 4.1 seguinte mostra as uniões e suas diferentes formas de montagens:



**Figura 4.1- Uniões Fabricadas no Setor**

As uniões mostradas na Figura 4.1 são basicamente as formas fabricadas no setor, porém, as uniões possuem outros fatores que as diferenciam, como os tipos de proteções na

superfície, podendo ser zincagem a fogo, zincagem eletrolítica, apenas mergulhada em óleo, além de outros tipos de proteções. A usinagem de acoplamento também possui diferenças, podendo ser com um anel de bronze acoplado na união, auxiliando a vedação, formando assim a união assento bronze, ou apenas o contato ferro com ferro, formando as uniões assento ferro e assento plano. Estas diferenças fazem com que cada união específica tenha um código diferenciado. Portanto, unindo estas diferenças com os vários diâmetros com os quais cada peça pode ser fabricada, justifica-se o porquê da quantidade elevada de peças, passando de 200 fabricadas no setor.

Na seqüência, será demonstrado o *layout* e as máquinas do setor estudado.

#### 4.1.1 – Apresentação do *Layout* e das Máquinas Referentes ao Setor Analisado

O setor de usinagem de uniões estudado possui as seguintes máquinas:

- 1 Centro de Usinagem – CU 0100
- 2 Tornos CNCs – T100 e T101
- 6 Máquinas Multi-fuso – MF80031, MF81520, MF80002, MF80521, MF80790 e MF81519.

Estas máquinas estão dispostas conforme o *layout* esquemático da Figura 4.2:

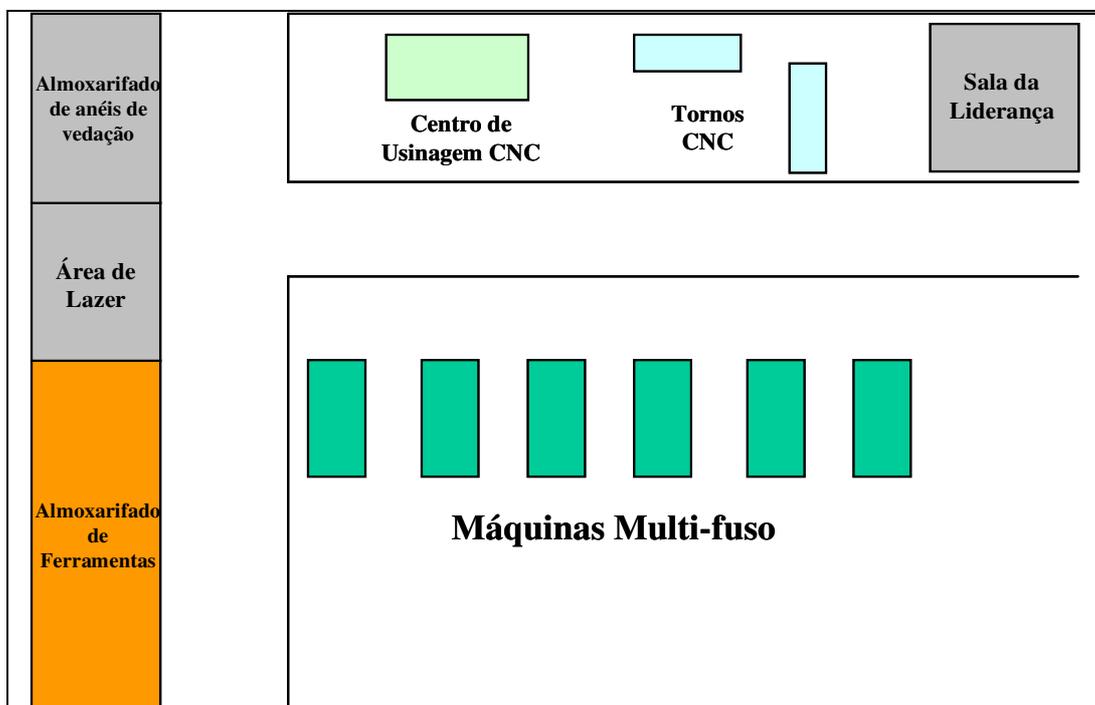
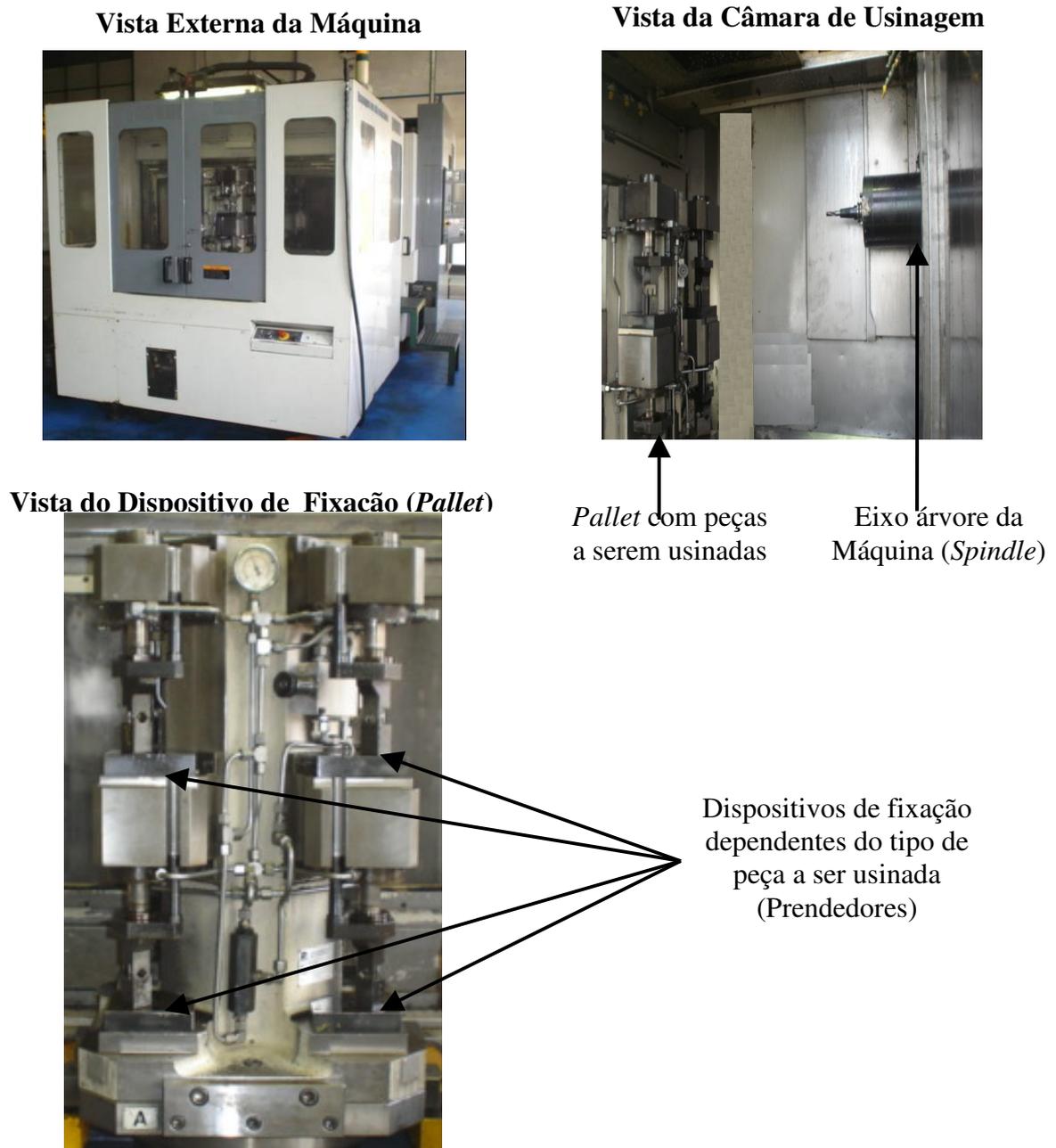


Figura 4.2 – *Layout* Esquemático do Setor de Usinagem de Uniões

Este setor, conforme a fundamentação teórica, está organizado com estações de trabalho unitárias, pois cada máquina faz todas as operações de usinagem necessárias à peça, sendo estas o Centro de Usinagem CNC, as máquinas Multi-fuso e os tornos CNCs.

A seguir, tem-se a descrição das máquinas que fazem parte do setor:

**Centro de Usinagem** – O Centro de Usinagem está representado na Figura 4.3:



**Figura 4.3- Centro de Usinagem CNC**

Esta máquina produz as seguintes formas de peças:

- Cotovelos para união com diâmetros de rosca 1/2", 3/4", 1", 1 ¼", 1 ½", 2", 2 ½" e 3";

- Piskanos com diâmetros de rosca de 1/2" e 1".

As peças nesta máquina são colocadas manualmente em 2 dispositivos de fixação (*pallets*) representados na Figura 4.3. *Pallet* é a base de fixação para os dispositivos que prendem as peças, sendo que cada *pallet* pode ser preparado com até 8 peças diferentes de acordo com o dispositivo de fixação específico (Prendedor) colocado. Estes *pallets* vão para a câmara de usinagem com as peças um de cada vez, portanto, quando um *pallet* está com as peças na câmara de usinagem, o outro está sendo abastecido pelo operador. Este Centro de Usinagem CNC possui capacidade em seu magazine para até 40 ferramentas e produz aproximadamente 100 peças/hora.

**Tornos CNC** – Nessas máquinas são produzidas as seguintes formas de peças:

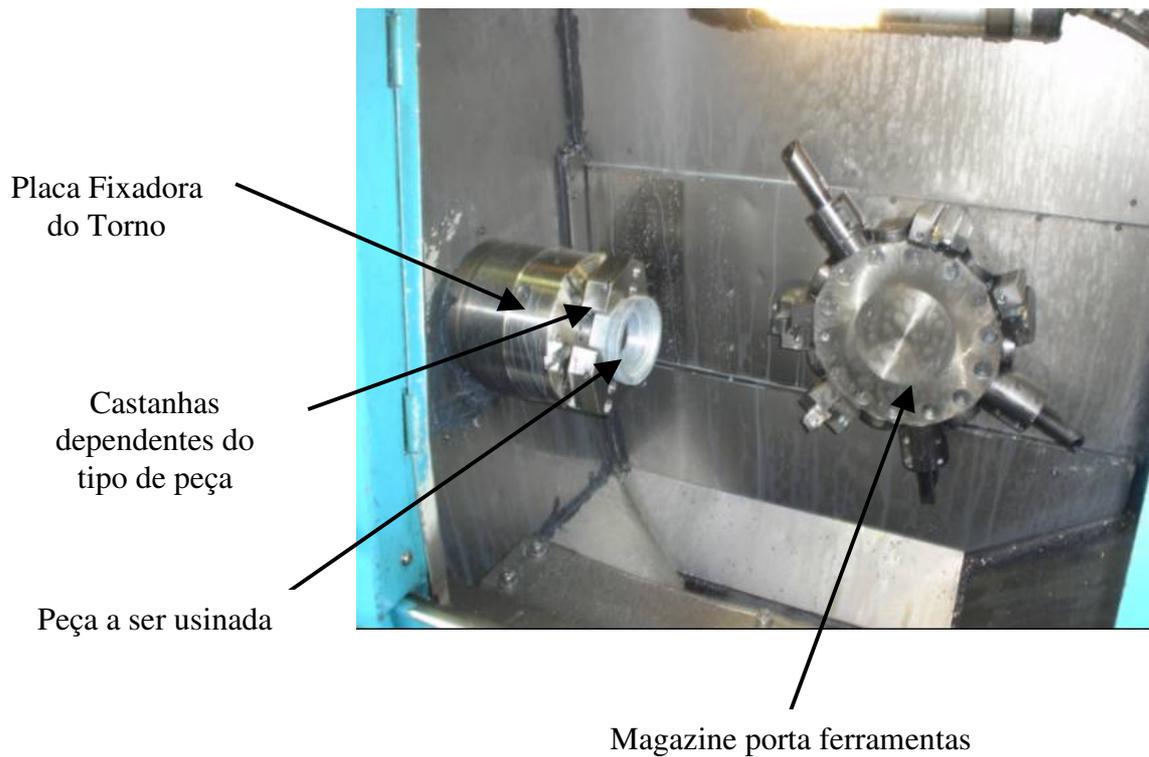
- Junções e Nipples de roscas com diâmetros de 1/4" e 3/8";
- Junções, Nipples e Porcas com diâmetros de 2 1/2", 3" e 4".

Na Figura 4.4 tem-se a representação dos tornos CNCs utilizados no setor de usinagem de uniões:



**Figura 4.4 - Torno CNC**

As peças são colocadas manualmente na placa fixadora através das castanhas que variam de acordo com a peça a ser fabricada. A Figura 4.5 representa a câmara de usinagem do torno CNC.



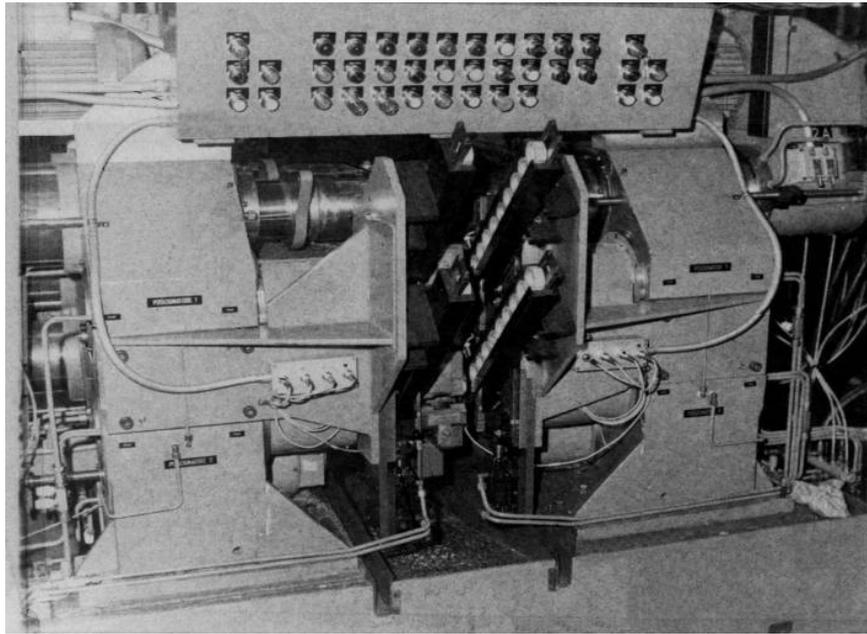
**Figura 4.5- Câmara de Usinagem do Torno CNC**

O magazine da máquina comporta até 7 ferramentas de torneamento, podendo ser colocadas segundo a necessidade ou o tipo de peça a ser fabricada na máquina.

**Máquinas Multi-Fuso** – As 6 máquinas Multi-fuso são as mais antigas do setor, porém, as mais produtivas, chegando a fabricar até 600 peças por hora cada máquina, dependendo do tamanho da peça. Ela é preparada de forma a produzir um niple e uma junção simultaneamente, ou então 2 tipos de porcas diferentes também simultaneamente. As peças produzidas nestas máquinas são as seguintes:

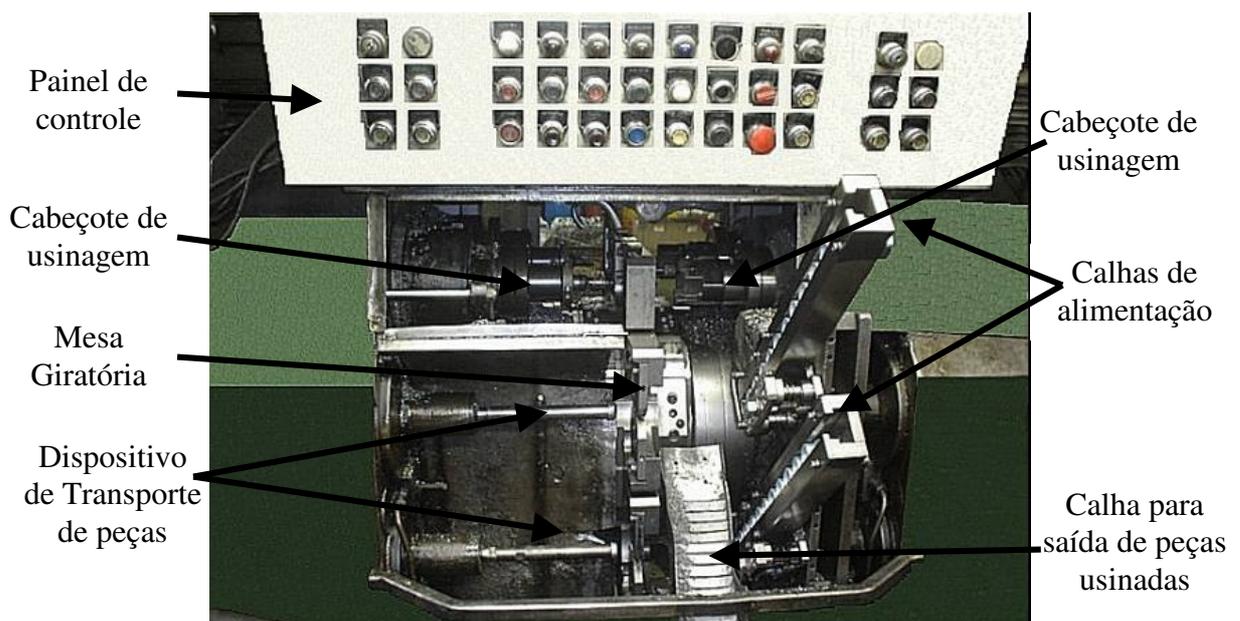
- Nipples, Junções e Porcas com roscas de diâmetros 1/2”, 3/4”, 1”, 1 ¼”, 1 ½” e 2”;

A Figura 4.6 exhibe uma máquina Multi-fuso utilizada no setor:



**Figura 4.6- Máquina Multi-Fuso**

Estas máquinas possuem um sistema de alimentação de peças automático, desde que o operador mantenha as calhas de alimentação abastecidas. A máquina faz o carregamento das peças por meio dos dispositivos de transporte até os dispositivos de fixação que estão acoplados na mesa giratória. Esta, por sua vez, transporta as peças para os vários cabeçotes de usinagem localizados no fuso. Na Figura 4.7, tem-se uma visão geral do sistema de alimentação da máquina:



**Figura 4.7- Sistema de Alimentação da Máquina Multi-fuso**

Portanto, as peças produzidas, as máquinas e o setor onde o projeto foi desenvolvido estão apresentados. No capítulo 5, estão demonstradas as alterações de processo e outras informações a respeito de detalhes sobre o setor.

Na seqüência, será mostrada a metodologia de trabalho utilizada para o desenvolvimento do projeto.

## 4.2 – Metodologia

No presente trabalho, objetiva-se avaliar a produtividade do setor onde se fabrica uniões de Ferro Fundido Maleável. Pretende-se analisar especialmente a influência das perdas de produtividade relacionadas às paradas de máquina devido a ferramentas e dispositivos de usinagem, como *setup*, ajustes e trocas de ferramentas e dispositivos de fixação e alimentação das peças.

### 4.2.1 – Maneira de Determinar Produtividade

Neste trabalho, a produtividade será determinada com base no seguinte índice:

$$\text{Índice de Produtividade} = \frac{h_{\text{disp}} \times t}{H} \quad \text{Equação [4.1]}$$

As variáveis da equação 4.1 têm os seguintes significados:

- $h_{\text{disp}}$  = horas disponíveis de trabalho mensais durante os meses analisados;
- $t$  = peso em toneladas de peças produzidas pelo setor durante os meses analisados;
- $H$  = número de homens que trabalharam no setor durante os meses analisados;

Este índice foi escolhido principalmente porque, Segundo Martins e Laugeni (2001), o conceito mais aceito de produtividade é aquele que relaciona a medida entre o que se produz (*output*) pelo que se consome ao produzir (*input*). Portanto, neste estudo tem-se no numerador as horas de produção e o quanto se produziu, e no denominador, o número de pessoas utilizadas para a produção. Sendo assim, pretende-se aumentar o índice de produtividade através de melhorias de processo com conseqüente aumento das toneladas produzidas levando-se em conta também o tempo disponível à produção. As variáveis da equação 4.1 são conseguidas com precisão, pois a empresa onde o trabalho foi realizado possui em seu banco de dados um controle diário dos índices da equação

para a determinação da produtividade de cada setor, garantindo assim a consistência dos resultados existentes na fábrica.

Portanto, este índice foi medido no início e no final do desenvolvimento deste estudo levando-se em conta o número de horas que as máquinas tinham disponíveis para trabalhar, as toneladas de peças produzidas no setor em estudo que entraram na expedição e a quantidade de homens que trabalham no setor de usinagem durante o estudo.

#### **4.2.2 – Métodos de Desenvolvimento da Pesquisa**

Conforme Yin (2005), toda pesquisa deve ser feita da maneira mais clara e objetiva possível, tornando-se necessário explicitar os objetivos e metas a serem atingidas, assim como os passos a serem seguidos na realização dessas metas.

Marconi (1999) afirma que a pesquisa é, por conseguinte, um procedimento formal, com um método que requer tratamento científico e se constitui no caminho para se conhecer a realidade ou para descobrir verdades parciais.

Na sua forma mais elementar, o método de pesquisa pode ser dividido em qualitativo e quantitativo. Para Bauer (2002), a pesquisa quantitativa lida com números e usa de modelos estatísticos para explicar os dados obtidos. A pesquisa qualitativa, por sua vez, evita números, lida com interpretações das realidades sociais.

A pesquisa realizada é quantitativa e, além disso, é um estudo de caso, que, de acordo com Yin (1981 apud GIL, 1999), é um estudo empírico que investiga um fenômeno atual dentro de seu contexto da realidade, quando as fronteiras entre o fenômeno e o contexto não são claramente definidas e nas quais são utilizadas várias fontes de evidência.

Gil (1999) diz que, o estudo de caso é caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira a permitir o seu conhecimento amplo e detalhado, tarefa praticamente impossível mediante outros tipos de delineamento de pesquisa considerados.

##### **4.2.2.1 – Coleta dos Dados**

Para Rauen (2002), os instrumentos de coleta de dados têm duas funções básicas: permitir a averiguação da presença ou ausência de um fenômeno e capacitar a quantificação e/ou qualificação dos fenômenos presentes. Um instrumento de coleta deve ser capaz de nos fornecer uma mensuração da validade.

Marconi (1999) enfatiza que a aplicação dos instrumentos de coleta deve ser rigorosa e é fator fundamental para evitar erros e defeitos resultantes de entrevistadores inexperientes ou de informantes tendenciosos.

#### 4.2.2.2 – Análise dos Dados

A partir dos dados coletados, o pesquisador deve estabelecer uma organização para que os mesmos possam ser interpretados e as conclusões possam ser obtidas. “Esta organização pressupõe a classificação, a codificação, a tabulação e a análise propriamente dita”.(RAUEN, 1999, p.120).

Conforme Patton (1986 apud CONSALTER, 1999), a análise qualitativa é um processo criativo, laborioso, e de rigor intelectual, exigindo portanto do pesquisador grande dedicação. Contudo, devido a níveis diferenciados de criatividade, não existe uma única metodologia para a análise.

Segundo Minayo (1999), os pesquisadores costumam encontrar três grandes obstáculos quando partem para a análise dos dados capturados em campo:

- ilusão da compreensão espontânea como se o real fosse óbvio;
- o envolvimento do pesquisador com o método de pesquisa a ponto de esquecer do essencial, que são os significados inerentes aos dados;
- dificuldade do pesquisador em juntar teorias e conceitos muito abstratos com os dados recolhidos na própria pesquisa. Isto implica trabalhos cuja elaboração teórica distancia-se, e muito, das realidades observadas.

Sobretudo, dentro dessa visão, fica evidenciada a importância da organização dos dados para uma análise, através da classificação, codificação e tabulação dos dados.

**a) Classificação dos dados** - Classificar ou estabelecer categorias é a primeira etapa a ser realizada num processo de análise de dados. “Classificar é dividir um todo em partes, de forma que se obtenha uma ordem entre as partes e que cada elemento fique em seu devido lugar”. (RAUEN, 2002). A fim de se obter uma classificação eficaz e eficiente, o pesquisador deve levar em conta (RAUEN, 2002):

- Utilizar um critério único;
- Buscar a observação dos dados em sua totalidade;

- Elaborar classes excludentes, de modo que um elemento não possa estar, ora numa classe, ora noutra;
- Não elaborar classes minuciosas demais para não perder a noção do todo;
- Elaborar classes que se adequem ao problema de pesquisa;
- Elaborar classes que permitam interligações.

É necessário que o número de classes seja exaustivo, isto é, elas devem conter todas as respostas. Não se deve, porém, estabelecer um número muito grande de classes, pois isso dificultará a análise dos dados. É conveniente então incluir uma categoria residual para eliminar categorias com poucos elementos. (RAUEN, 2002).

**b) Codificação dos dados** - É o processo pelo qual se estabelecem símbolos específicos para cada classe ou categoria. A finalidade deste trabalho é sintetizar os dados de maneira que a compreensão seja facilitada, otimizando a interpretação dos mesmos. (RAUEN, 2002).

A codificação pode ser realizada antes ou após a coleta dos dados. A pré-codificação ocorre normalmente em questionários com perguntas fechadas, cujas alternativas estão ligadas a códigos impressos no próprio questionário. Também podem ocorrer em técnicas de observação estruturada, nas quais os códigos já aparecem nas folhas de registro. (GIL, 1999).

**c) Tabulação dos dados** - O processo de tabulação consiste na contagem dos elementos que formam cada classe, conforme Rauem (2002). Pode haver tabulação simples ou cruzada. A tabulação simples consiste na contagem das frequências em cada classe. A cruzada, por sua vez, consiste na contagem das frequências que ocorrem juntamente em duas classes distintas, como, por exemplo: pessoas do sexo masculino e idade entre 21 e 30 anos. (GIL, 1999).

**d) Análise dos dados** - Para representar o tratamento dos dados em uma pesquisa, a expressão mais comumente usada é a análise de conteúdo. Berelson (1952 apud MINAYO (1999), p.200) define análise de conteúdo: “É uma técnica de pesquisa para descrição objetiva, sistemática e quantitativa do conteúdo manifesto das comunicações e tendo por fim interpretá-los”. Segundo Richardson (1999), a análise de conteúdo é particularmente usada para entender um material qualitativo, e por sua natureza a análise deve ser eficaz, rigorosa e precisa. Trata-se de compreender melhor uma idéia, aprofundar em suas características e extrair os momentos mais importantes. Portanto, baseia-se na elucidação dos fatos para as descobertas do pesquisador.

Baseado no método de pesquisa descrito acima, este estudo teve como primeira etapa a obtenção de um levantamento das causas de paradas em todas as máquinas de usinagem do setor analisado, durante um período de 3 meses consecutivos. Os meses avaliados foram julho, agosto e setembro do ano de 2005. Decidiu-se analisar estes meses, pois o Projeto de Dissertação foi apresentado no mês de julho/2005, e como o prazo para análise e alterações do processo de usinagem e conclusão da dissertação era agosto de 2006, precisava-se começar o mais cedo possível. Além do mais, estes meses não tiveram paradas por férias coletivas, podendo-se analisar o desempenho do setor trabalhando durante o mês inteiro. Sendo assim, avaliaram-se 3 meses de produção, fazendo uma análise entre estes e posteriormente uma média entre os dados para se obter o índice de produtividade do setor naquele período. Decidiu-se optar pela média em função da demanda variada das peças, pois avaliar apenas um mês não tem sentido, devido aos diferentes tipos de peças que não passam pelo setor apenas em um mês, mas em 3 meses, são produzidos praticamente todos os tipos. Além disso, não mais de 3 meses, pois determinadas alterações de processos deveriam ser iniciadas o mais cedo possível a ponto de, antes do prazo de conclusão do projeto, apresentarem resultados satisfatórios. Isso se deve também ao fato de determinadas alterações, como se pode ver no capítulo 5, não são efetuadas de uma hora para outra, e sim colocadas em prática em etapas.

Portanto, com as informações dos 3 meses de análise, pôde-se calcular o índice de produtividade médio que o setor possuía nas condições de trabalho existentes naquele momento. Percebeu-se então que as ferramentas influenciam muito nas paradas de máquina do setor e resolveu-se fazer uma análise técnica e de inventário das ferramentas conforme segue.

#### **4.2.3 – Análise Técnica e Inventário de Ferramentas**

Sendo assim, a segunda etapa da pesquisa foi fazer uma análise técnica das ferramentas e dispositivos de fixação e alimentação, verificando se as ferramentas e dispositivos de fixação e alimentação estavam com suas classificações e desempenho adequados ao tipo de processo, levando-se em conta as variações existentes na peça fabricada (união), ou até a vida útil das ferramentas de usinagem como insertos, suportes de ferramentas, dispositivos de fixação e alimentação. Outro ponto analisado foi a praticidade na substituição desses dispositivos e ferramentas analisados. Convém ressaltar que a peça a ser usinada está bruta de fundição, podendo estar com alterações dimensionais fora do

especificado, que são as variações na forma da peça, desvios na formação de sua liga, onde o fator que mais influencia é a dureza proveniente de algum desvio no processo de fusão ou no tratamento térmico, ou ainda algumas rebarbas na peça que podem ocasionar problemas de fixação ou de usinagem provenientes de impacto ou de esforço não previsto nas ferramentas de corte.

Com a análise técnica concluída, teve-se um “retrato” de como estava o desempenho das ferramentas e dispositivos de usinagem no setor analisado, podendo assim ter os potenciais de ganho em tempos de paradas de máquina voltadas a estes componentes. Tomando como base estes dados, conseguiu-se então propor mudanças nas ferramentas e dispositivos de usinagem que mais influenciavam as paradas para a conseqüente diminuição desses tempos e aumento de produtividade no setor avaliado.

Paralelo à análise técnica das ferramentas e dispositivos de fixação, avaliaram-se também a quantidade e a logística das ferramentas e dispositivos de fixação existentes no setor de usinagem de uniões.

Este estudo objetivou avaliar a quantidade de ferramentas e dispositivos de fixação e alimentação existentes no setor, descobrindo se havia excessos ou falta desses acessórios de usinagem, facilitando a organização para proporcionar trocas de ferramentas ou preparação de máquinas mais eficientes. Este controle também teve como objetivo adequar a quantidade de ferramentas e dispositivos existentes no setor, pois os componentes em excesso são para a empresa um investimento que poderia estar empregado em outras prioridades, e os que estiverem aquém do necessário, podem ocasionar uma parada de máquina devido sua falta.

A seguir, os principais itens de ferramentas e dispositivos analisados:

- Insertos;
- Machos;
- Suportes de ferramentas;
- Cabeçotes de usinagem;
- Dispositivos de fixação da peça a ser usinada (Prendedores);
- Dispositivos de alimentação das peças.

Decidiu-se avaliar estes componentes, uma vez que eles possuem um maior consumo e movimentação no setor.

#### 4.2.4 – Determinação das Soluções e Resultados

Após a identificação das principais causas de paradas de máquina, conclusão da análise técnica, avaliação do estoque e logística das ferramentas e dispositivos de usinagem, conseguiu-se verificar as principais características do processo de usinagem em uniões de Ferro Fundido Maleável, podendo-se então desenvolver possíveis soluções para minimizar os tempos de parada das máquinas.

Para a determinação das soluções, valeu-se da filosofia *Lean Manufacturing*, principalmente através das técnicas do *Kaizen*, descritas no capítulo 3, visando sempre ao auxílio das pessoas envolvidas no processo e da principal característica desta linha de raciocínio, que é a melhoria contínua buscando os menores desperdícios no processo e, obrigando assim que a produção trabalhe com menores tempos de trocas, ajustes e preparações de ferramentas e dispositivos. Traçadas as soluções, foi necessário implantá-las fazendo com que essas alterações fossem assimiladas de acordo com a nova realidade de trabalho.

Uma vez traçadas e colocadas em prática as alterações no processo, foram avaliados os ganhos deste projeto, comparando o índice de produtividade da situação anterior com a nova realidade. Para isso, foi avaliado o resultado durante um período de 3 meses, conforme a primeira análise, sendo que esses meses foram abril, maio e junho do ano de 2006, seguindo-se os mesmos critérios da primeira análise, concluindo-se então o projeto com o cálculo do novo índice de produtividade.

## 5. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são mostrados os resultados da melhoria da produtividade feita no processo de usinagem de uniões fabricadas em Ferro Fundido Maleável Preto. Este estudo começa apresentando os motivos pelos quais as máquinas do setor de usinagem de uniões mais pararam, influenciando assim nas perdas de produtividade. Num segundo momento, são exibidos os resultados da primeira análise do processo de usinagem, mostrando como estava o setor antes das alterações de processo para melhorar a produtividade. Lembrando que a análise é feita em 2 momentos, uma antes e outra depois das alterações de processo. Através dos dados obtidos na primeira análise, calculou-se o primeiro índice de produtividade e foi traçado um objetivo a se alcançar para a melhora desse índice. A análise dos tempos de paradas foi feita nas 9 máquinas do setor, que, aliada ao auxílio da filosofia *Lean Manufacturing* e do *Kaizen*, definiram-se os principais tempos de paradas a serem trabalhados para, conseqüentemente, melhorar o índice de produtividade do setor. As alterações foram concentradas nos tempos de paradas que envolvem ferramentas e dispositivos de usinagem, já que são o principal objetivo deste trabalho.

Com o auxílio do *Kaizen*, pôde-se desenvolver alterações no processo de usinagem para a melhora do desempenho nas máquinas do setor analisado, lembrando que, de acordo com a própria filosofia *Lean*, nunca se consegue chegar a uma condição máxima e ideal de desempenho dos equipamentos, pois sempre há como melhorar ainda mais, considerando principalmente as inovações tecnológicas e as novas idéias que eventualmente possam surgir.

Uma vez implantadas as alterações de processo, foram avaliados novamente os tempos de paradas de cada máquina do setor, sendo que, para isso, foram utilizados os mesmos critérios de análise da primeira etapa, podendo-se assim obter claramente o quanto essas alterações do processo de usinagem influenciaram no índice de produtividade.

Na seqüência, é mostrado detalhadamente como os resultados foram obtidos, além de quantificar o desempenho do setor antes e depois das alterações, bem como são explicitadas as mudanças feitas nas máquinas.

### 5.1 – Determinação Inicial das Paradas de Máquinas

Segundo Gil (1999), o estudo de caso é caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira a permitir o seu conhecimento amplo e detalhado. Marconi (1999) afirma ainda que a coleta de dados é a etapa em que se inicia a aplicação dos

instrumentos elaborados e das técnicas selecionadas para a execução da pesquisa, a fim de se efetuar a coleta dos dados previstos. Portanto, como o objetivo da coleta de dados era saber os motivos de paradas de máquina, criou-se então uma tabela na qual são pré-definidos os fatores considerados mais relevantes em termos de paradas de máquina. Para cada fator foi associado um código, conforme a Tabela 5.1, para identificar os motivos escolhidos de acompanhamento de paradas. Estes motivos foram selecionados segundo o acompanhamento do processo de usinagem do setor analisado, visto que não há outras situações de paradas de máquina que não estejam descritas nesta tabela.

**Tabela 5.1 – Descrição dos Códigos de Paradas**

<b>Código</b>	<b>Descrição do código</b>
1	Ajuste da calha
2	Ajuste de ferramenta
3	Troca de ferramenta
4	Preparação de máquina
5	Manutenção elétrica
6	Manutenção mecânica
7	Falta de peças
8	Falta de operador
9	Limpeza
10	Diversos

Abaixo tem-se a descrição de cada Código.

**Ajuste da calha** – esta parada é ocasionada quando os preparadores de máquina, no decorrer da usinagem de determinada peça, precisam fazer ajustes nas calhas de alimentação, pois estas, devido ao uso contínuo, ficaram fora de posicionamento em relação ao dispositivo de carregamento da máquina ou então com folgas na fixação;

**Ajuste de ferramenta** – é ocasionado quando a ferramenta de corte, insertos, fresas e cabeçotes saem das dimensões pré-ajustadas pelos preparadores de máquina e precisam ser posicionadas novamente. Este problema é ocasionado principalmente pelo desgaste das ferramentas;

**Troca de ferramenta** – É determinada quando a vida da ferramenta chega ao fim, ou então no caso de quebra. Para saber se a vida da ferramenta terminou, faz-se uma análise dimensional da peça usinada por meio de calibradores, determinando assim se a peça ainda está dentro das tolerâncias, no caso de não estar com o dimensional correto, nem ter como

ajustar a ferramenta em seu suporte para a peça ficar na dimensão correta novamente, troca-se a ferramenta;

**Preparação de Máquina** – Quando há a troca de peça a ser usinada por outra de forma ou bitola diferente tendo que mudar as ferramentas e dispositivos de usinagem da máquina como cabeçotes, alimentadores e prendedores;

**Manutenção Elétrica** – Esta parada é ocasionada principalmente por problemas de acionamentos elétricos na máquina, ou seja, quando os comandos elétricos do painel não funcionam de acordo com o especificado;

**Manutenção Mecânica** – São considerados para esse tipo de parada os problemas hidráulicos ou qualquer quebra, falta de sincronismo ou manutenção preventiva mecânica da máquina;

**Falta de Peças** – Esta parada é ocasionada quando há um problema na programação das peças para determinada máquina e esta fica parada, pois a peça programada ainda não chegou no setor para ser usinada;

**Falta de Operador** – Acontece quando algum operador falta ou precisa se deslocar para outra área devido a um problema urgente ocorrido naquele momento;

**Limpeza** – Realizada geralmente na troca de turno quando um operador deixa a máquina limpa para o do turno seguinte;

**Diversos** – Este item é colocado quando a máquina para por um motivo não descrito acima, como, por exemplo, uma reunião de emergência do setor.

Após a criação dos códigos e descrições de paradas das máquinas, foi necessário criar um formulário, no qual essas anotações de paradas fossem claramente descritas e pudessem ser analisadas posteriormente, tendo-se, deste modo, uma clara representação da realidade das paradas de máquina do setor estudado.

Além de criar o formulário, foi preciso também instruir os preparadores e operadores de máquina a fazer as anotações de acordo com as exigências pedidas na tabela, com o objetivo de extrair ao máximo as informações pertinentes ao processo de usinagem.

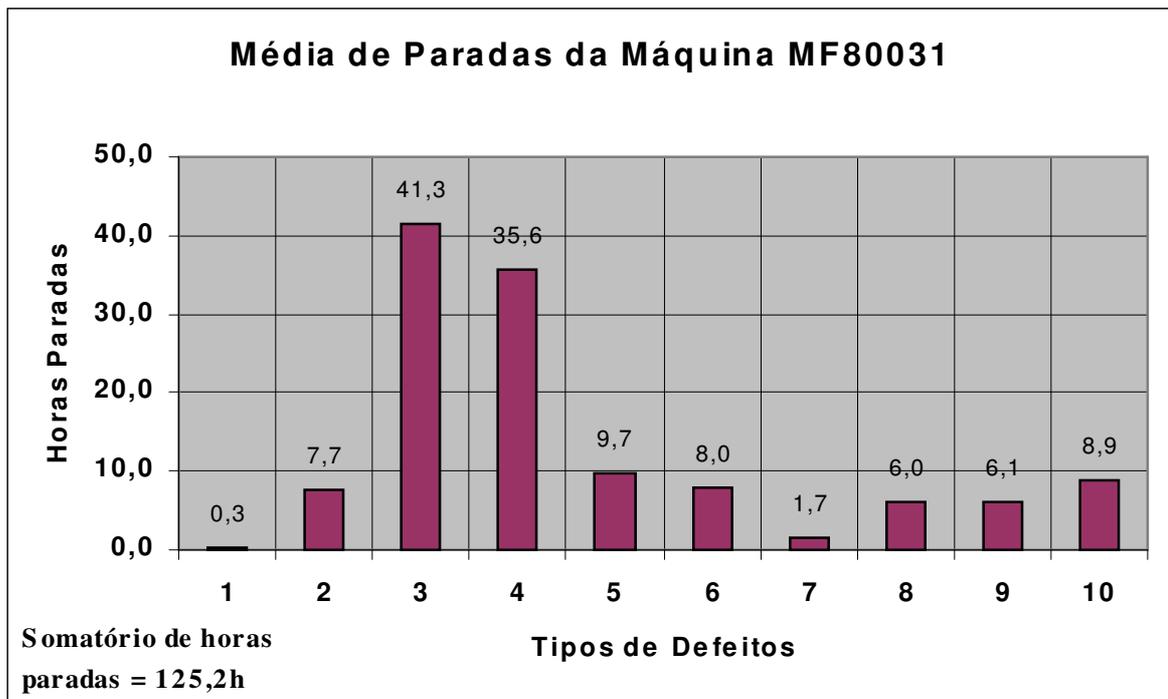
No anexo 1, tem-se o formulário de acompanhamento de paradas de máquina, com as especificações necessárias de identificação das máquinas que estão sendo analisadas, bem como os tempos de paradas, a peça que estava produzindo, e demais informações, conforme segue:

- Código da máquina onde está se fazendo o acompanhamento;
- Nome do operador daquela máquina;
- Data do acompanhamento;

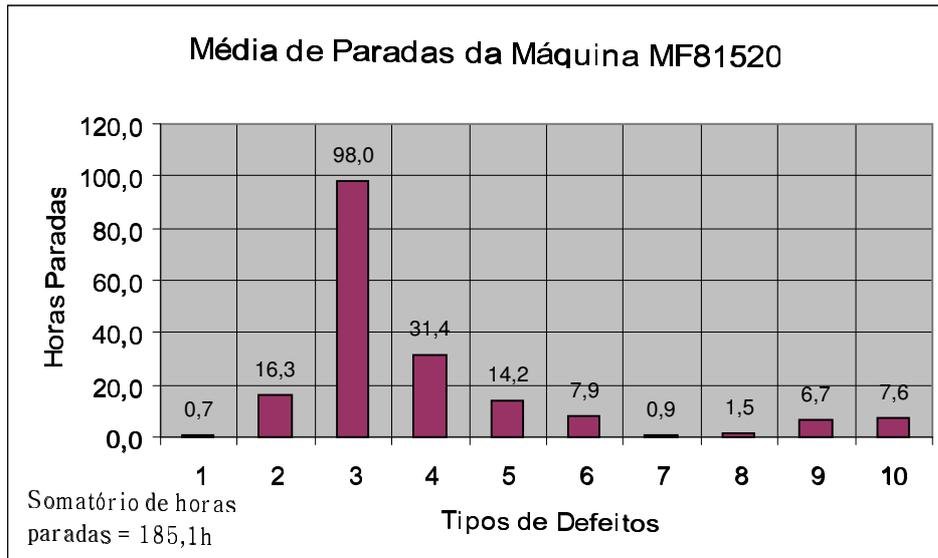
- O turno que a máquina parou;
- A hora em que a máquina parou;
- O código do motivo da parada ou tipo de defeito, de acordo com a Tabela 5.1;
- A peça que estava sendo produzida no momento da parada;
- A hora em que a máquina voltou a trabalhar.

Depois de definidas as variáveis a serem acompanhadas, o formato do formulário para serem feitas as análises e o treinamento dos operadores para o preenchimento deste, iniciou-se o período de coleta dos dados na fábrica fazendo a contagem de cada tempo de parada diariamente durante os 3 primeiros meses da análise dos dados. Esta primeira análise foi realizada nos meses de julho, agosto e setembro de 2005.

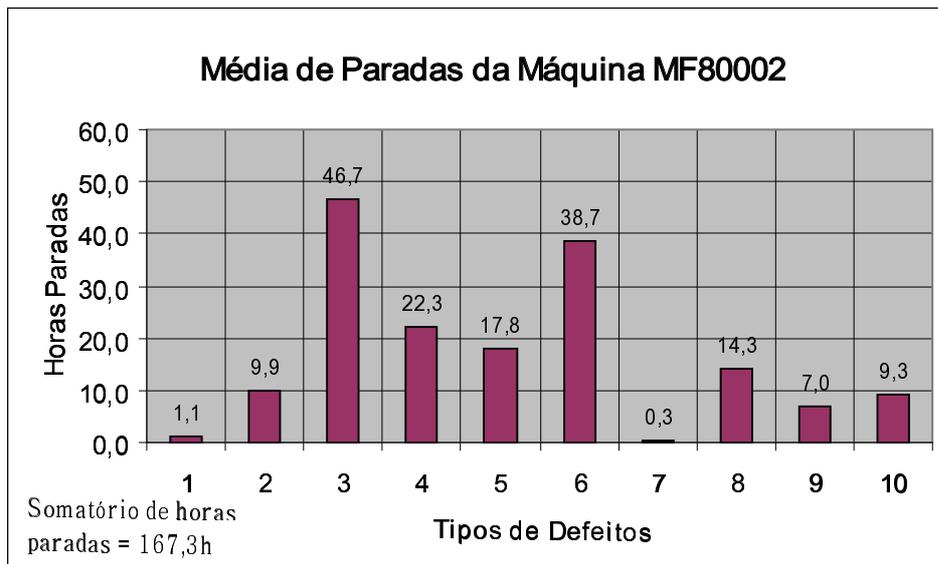
Sendo assim, com este acompanhamento diário, pôde-se obter uma média de paradas durante 3 meses levando-se em conta os seus motivos. Na seqüência está demonstrado o resultado dos acompanhamentos para cada máquina durante o período determinado. Os gráficos apresentam, na média dos 3 meses, o quanto cada máquina parou e quais foram os códigos de paradas. A seguir, têm-se os resultados médios de paradas das máquinas do setor analisado referentes aos 3 meses de acompanhamento anteriores às alterações no processo de usinagem, respectivamente descritos nas Figuras 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 e 5.9.



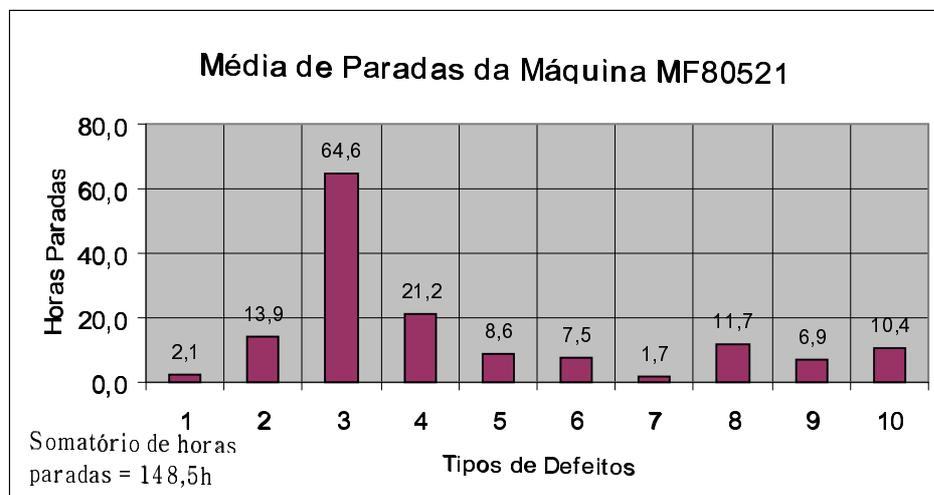
**Figura 5.1 – Média de Paradas da Máquina Multi-fuso MF80031**



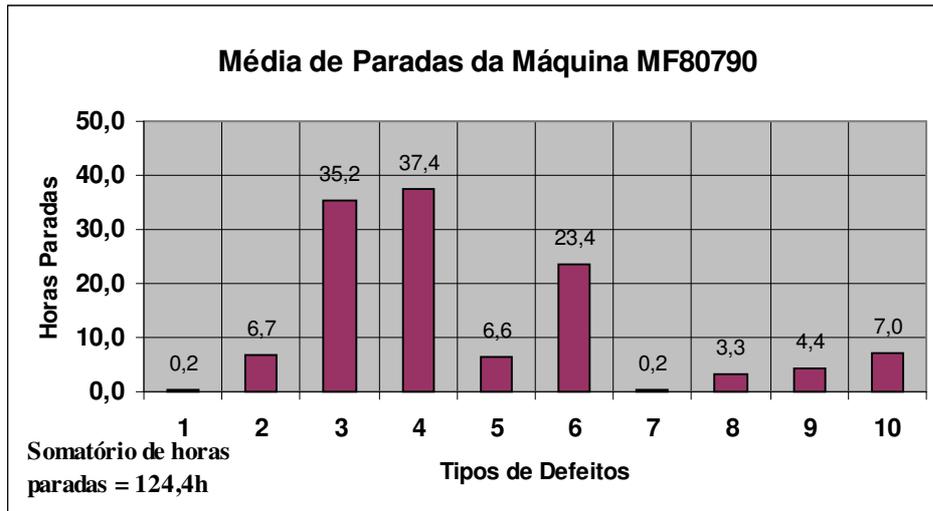
**Figura 5.2 – Média de Paradas da Máquina Multi-fuso MF81520**



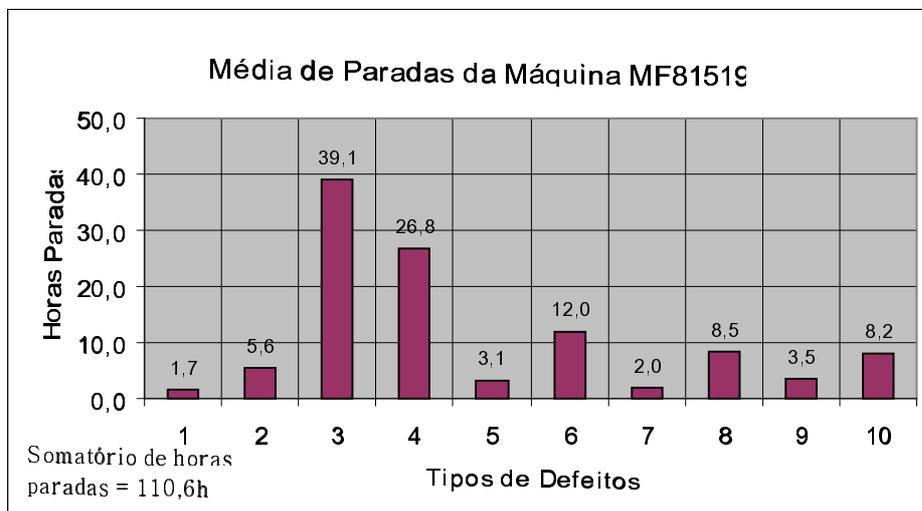
**Figura 5.3 – Média de Paradas da Máquina Multi-fuso MF80002**



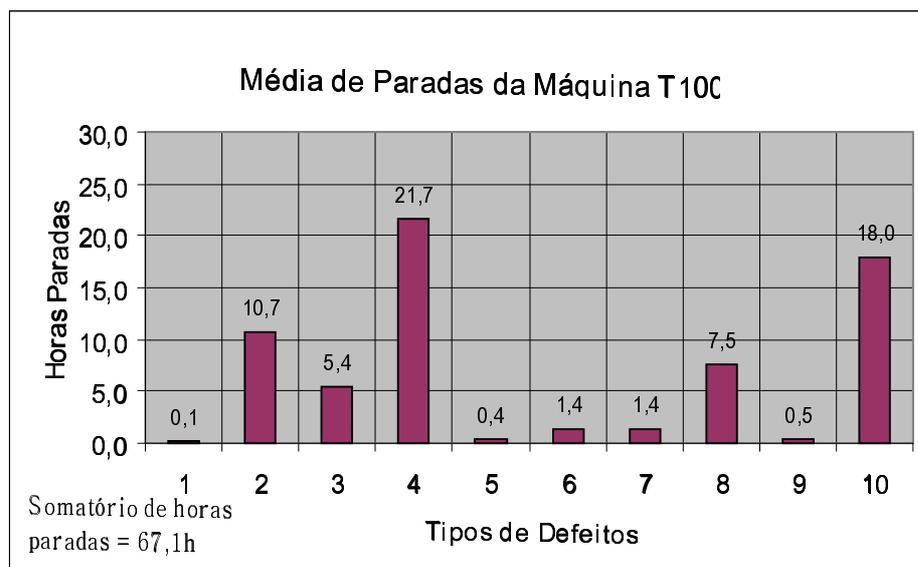
**Figura 5.4 – Média de Paradas da Máquina Multi-fuso MF80521**



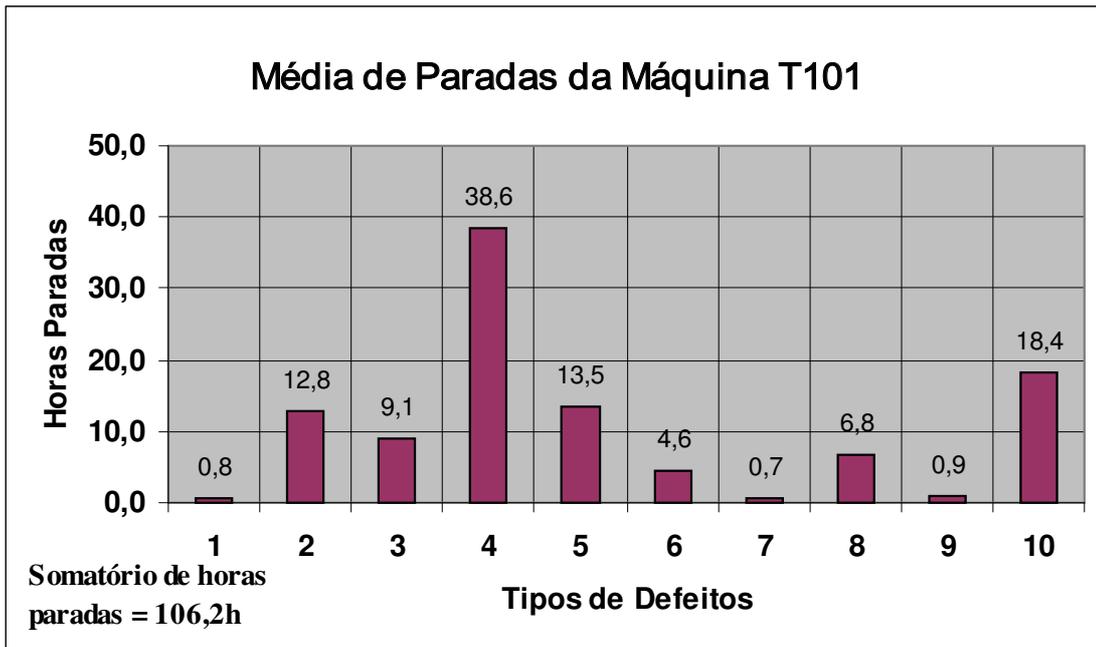
**Figura 5.5 – Média de Paradas da Máquina Multi-fuso MF80790**



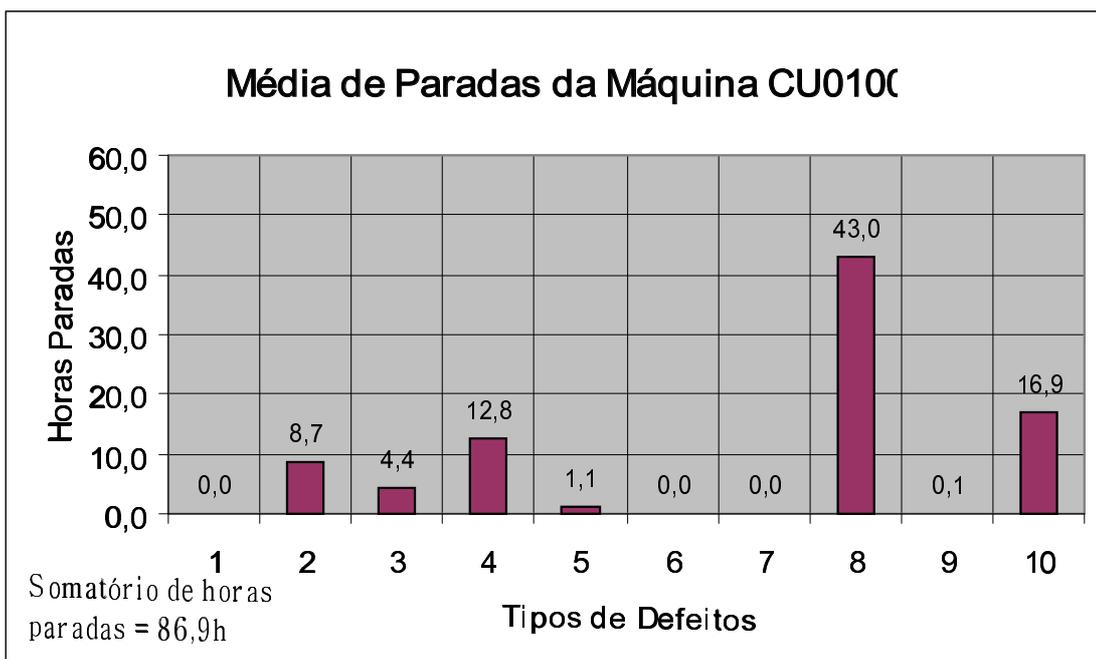
**Figura 5.6 – Média de Paradas da Máquina Multi-fuso MF81519**



**Figura 5.7 – Média de Paradas do Torno CNC T100**

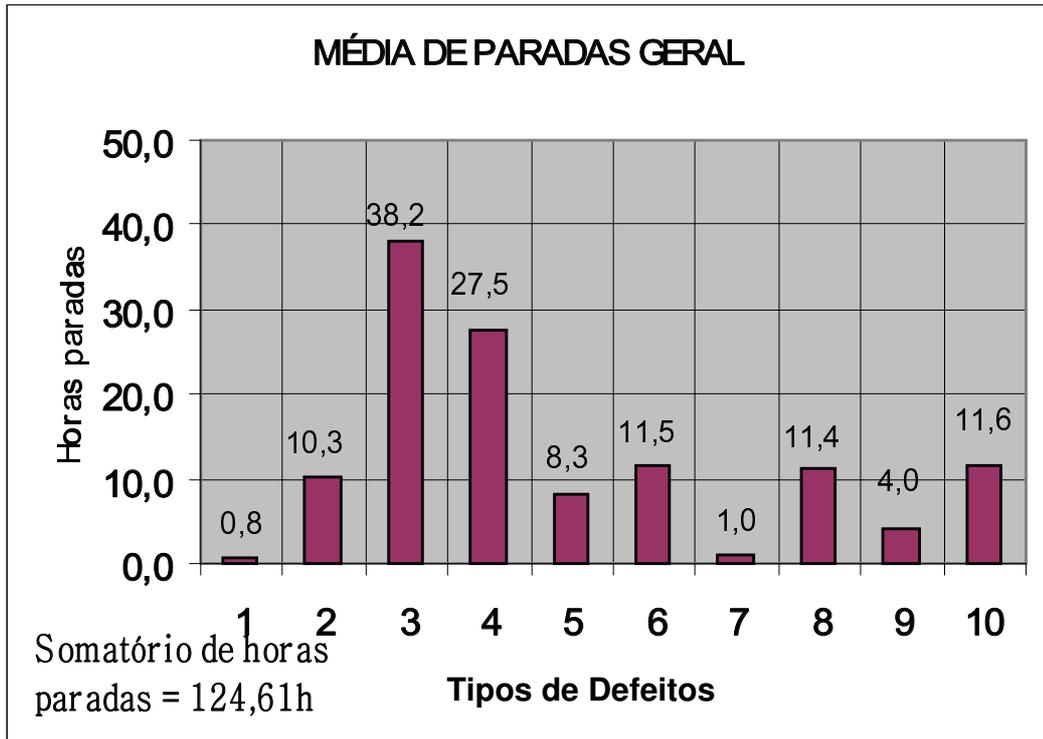


**Figura 5.8 – Média de Paradas do Torno CNC T101**



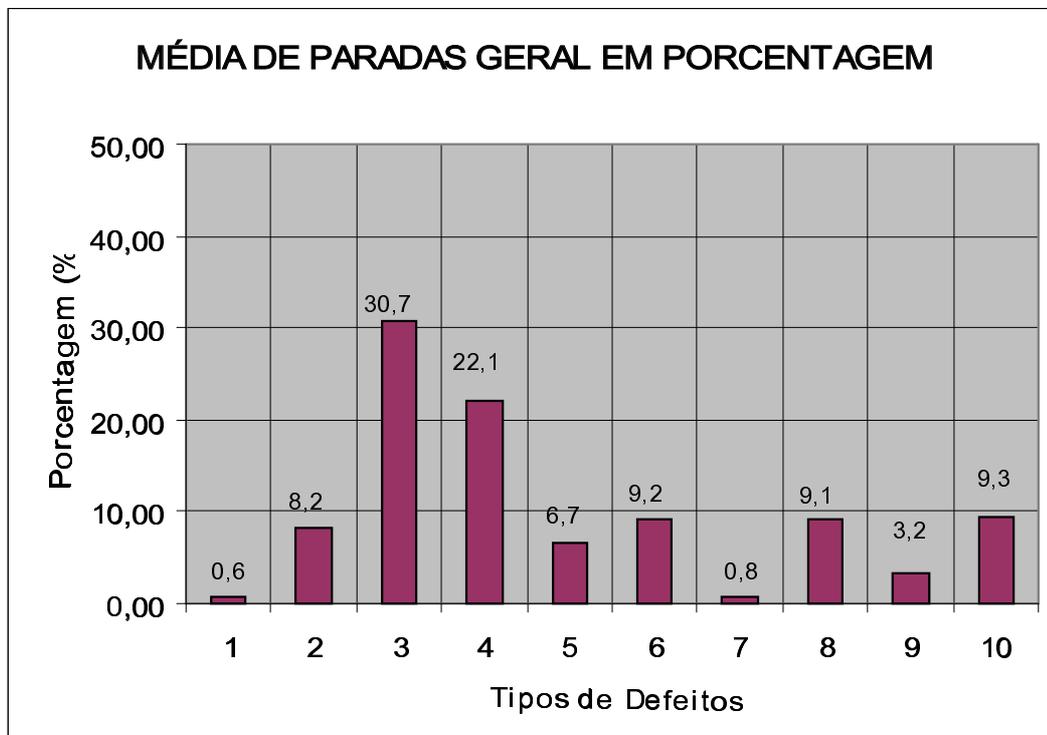
**Figura 5.9 – Média de Paradas do Centro de Usinagem CNC CU0100**

Portanto, de acordo com a filosofia *Lean*, na qual um dos passos mais importantes é identificar as principais perdas, pode-se afirmar que, neste caso, as alterações em ferramentas e dispositivos são de fundamental importância, pois representam os principais motivos de paradas das máquinas.



**Figura 5.10 – Média Inicial de Paradas das Máquinas**

Em porcentagem, a Figura 5.10 fica da seguinte maneira:



**Figura 5.11 – Média Inicial de Paradas das Máquinas (%)**

Com base nos resultados apresentados nas Figuras 5.1 a 5.9 e demais informações coletadas por ocasião do levantamento de dados, conclui-se que as máquinas Multi-fuso têm maiores paradas relacionadas à troca de ferramentas (Código 3), enquanto que, principalmente os Tornos CNCs, têm maiores índices de paradas relacionadas à Preparação de Máquina (*setup*) (Código 4). Já as paradas relacionadas a ajuste de ferramentas (Código 2), ambas as máquinas possuem um valor considerável de tempo parado, portanto, atuando em alterações que diminuam os tempos de paradas em ambos os tipos de máquinas no que se refere a ferramentas de corte e dispositivos de fixação e alimentação, o ganho em produtividade será bastante significativo.

As Figuras 5.10 e 5.11 mostram a média dos motivos que influenciaram nas paradas de máquinas, podendo-se então visualizar os mais representativos. Analisando os motivos de paradas de máquinas voltados a ferramentas, chega-se à conclusão que estes influenciam mais do que os outros nas paradas de máquinas. Os principais motivos são os ajustes de ferramentas (código 2), trocas de ferramentas (código 3) e preparação de máquinas (código 4). Focam-se as atenções deste trabalho nestes motivos de paradas, pois o objetivo principal é melhorar o índice de produtividade do setor, concentrando-se em paradas de máquinas voltadas a ferramentas e dispositivos de usinagem.

Além dos gráficos com a média de paradas das máquinas, também se pode calcular um índice de eficiência das máquinas através do tempo que elas tinham disponíveis para trabalhar descritos na Tabela 5.2 e o tempo que elas realmente trabalharam, descontando o tempo disponível pelo parado e calculando um índice mediante a seguinte equação:

$$\text{Eficiência} = \frac{(h_{\text{disp}} - h_{\text{parada}})}{h_{\text{disp}}} \times 100 \text{ (\%)} \quad \text{Equação [5.1]}$$

$h_{\text{parada}}$  = média de horas em que a máquina ficou parada durante os meses analisados

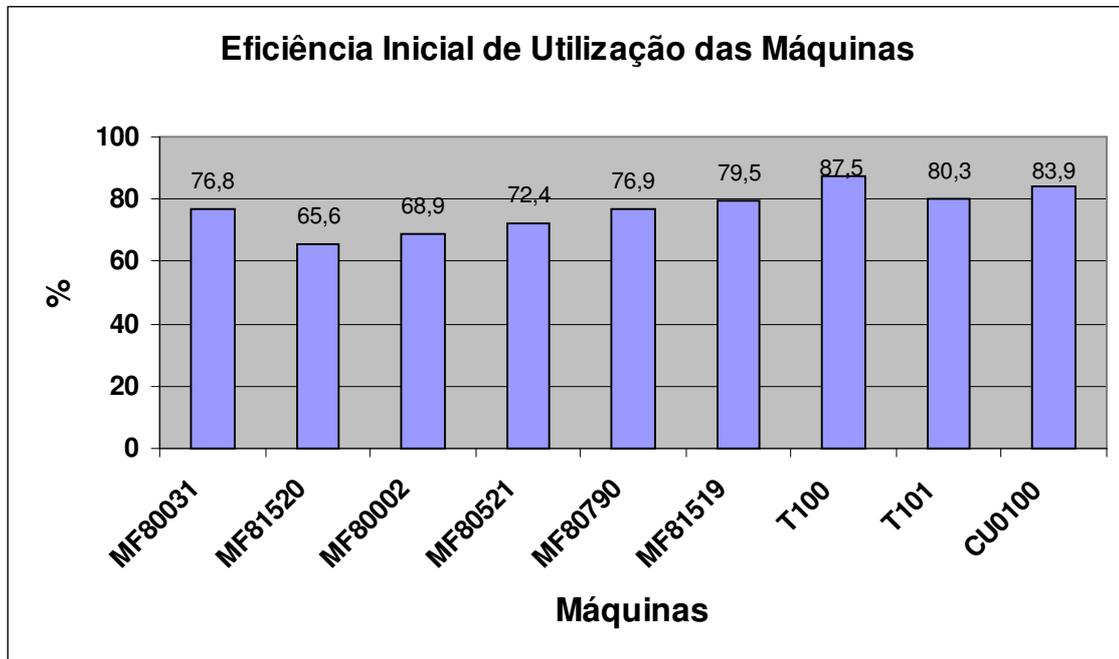
$h_{\text{disp}}$  = média de horas disponíveis de trabalho durante os meses analisados

**Tabela 5.2 – Tempo Disponível de Trabalho nos 3 Primeiros Meses de Acompanhamento**

	julho/05	agosto/05	setembro/05	MÉDIA
<b>Horas disponíveis</b>	<b>530,8</b>	<b>565,7</b>	<b>520,2</b>	<b>538,9</b>

Portanto, as eficiências foram calculadas pela média em horas que cada máquina trabalhou durante os meses de acompanhamento, que são as médias de horas disponíveis menos as paradas, dividido pela média de horas disponíveis. Com a eficiência das máquinas

identificou-se mais claramente quais pararam com maior frequência, podendo-se concentrar nestas máquinas as principais atenções no decorrer do desenvolvimento das alterações de processo de usinagem. As eficiências das máquinas estão representadas na Figura 5.12 conforme segue:



**Figura 5.12 – Eficiência Inicial das Máquinas**

Analisando estes valores de eficiência acima, pode-se concluir que, de uma forma geral, as máquinas Multi-fuso ficam um maior tempo paradas do que as máquinas CNCs, devendo assim o trabalho se concentrar mais em alterações de processo que envolvam estas máquinas, principalmente a MF 81520, MF 80002 e MF80521.

Por conseguinte, determinadas as maiores causas de paradas de máquinas e as máquinas com menores eficiências, pôde-se trabalhar em função dos maiores problemas conforme indicado pela filosofia *Lean* através das técnicas do *Kaizen*, apresentadas na fundamentação teórica no capítulo 3. As alterações de processo estão demonstradas na seção 5.5.

## 5.2 – Determinação do Índice de Produtividade Médio Inicial

Para se calcular o índice de produtividade antes do início das alterações de processo, foi necessário fazer um acompanhamento das toneladas produzidas e o número de pessoas que trabalharam no setor em média durante 3 meses de análise já referidos anteriormente.

Os números relacionados com a produção de peças foram retirados do sistema interno da empresa baseado no fechamento de cada mês conforme indicado pelo setor de Controladoria, garantindo assim a veracidade das informações. Os valores constam nas Tabelas 5.3 e 5.4:

**Tabela 5.3 – Toneladas Fabricadas no Setor de Usinagem de União Inicial**

<b>Produção(toneladas/mês)</b>			
jul/05	ago/05	set/05	<b>MÉDIA</b>
194,4	148,3	157,3	<b>166,7</b>

**Tabela 5.4 – Pessoas que Trabalharam no Setor de Usinagem de União Inicialmente**

<b>Número de Pessoas Envolvidas no Processo</b>			
jul/05	ago/05	set/05	<b>MÉDIA</b>
38	38	38	<b>38</b>

A partir dos dados constantes na Tabela 5.2, determinou-se a média de horas disponíveis para o setor trabalhar durante os 3 meses de acompanhamento, que foi de 538,8 horas.

Agora com os dados médios de horas disponíveis, tonelagem de peças produzidas e pessoas que trabalharam no setor, pôde-se calcular o índice de produtividade inicial do setor, segundo equação 4.1:

$$\text{Índice de Produtividade} = \frac{h_{disp} \times t}{H} \quad \text{Equação [4.1]}$$

$$\text{Índice de Produtividade inicial} = 2363,6 \frac{h \times t}{H}$$

Conforme proposto no objetivo deste trabalho, determinou-se uma melhora no índice de produtividade em 10%, pois acredita-se que, diminuindo os tempos de paradas, isto é, conseguindo aumentar a eficiência das máquinas e com aumento conseqüente da tonelagem devido aos trabalhos de melhorias em máquinas e ferramentas, a meta será alcançada ou até mesmo ultrapassada.

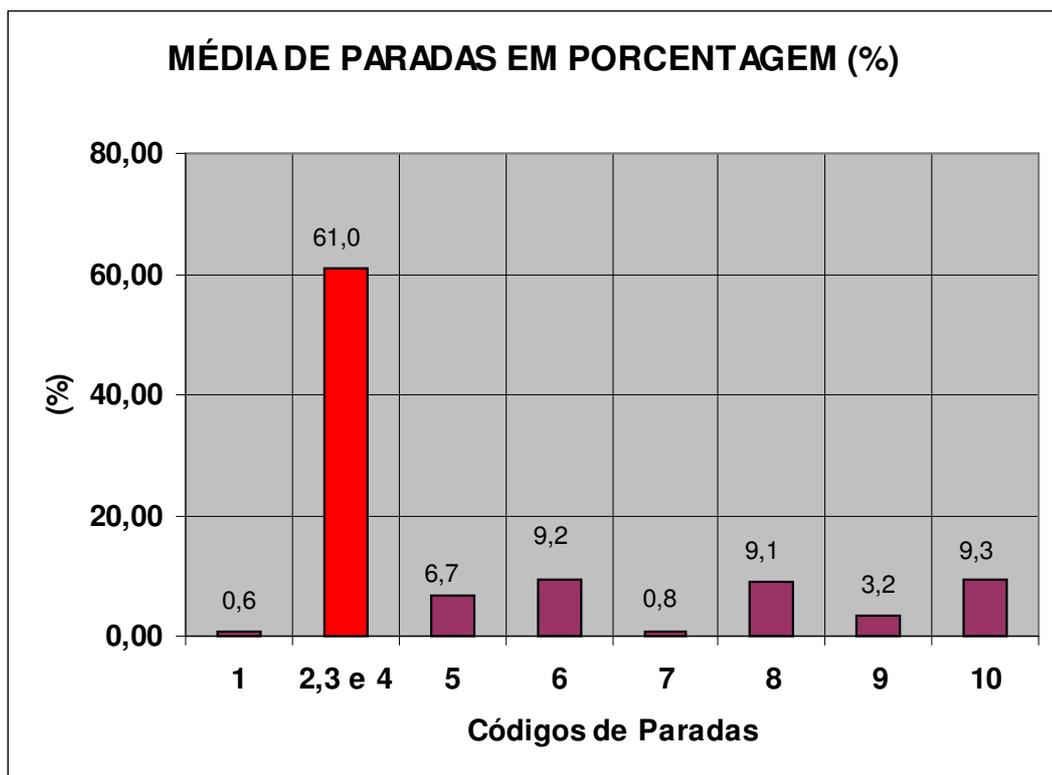
Sendo assim, a meta do índice de produtividade com aumento de 10% é a seguinte:

$$\text{Meta do Índice de Produtividade} = 2600,0 \frac{h \times t}{H}$$

Na seqüência, tem-se o estudo focado em ferramentas e dispositivos de usinagem para se alcançar ou ultrapassar a meta para o índice de produtividade.

### 5.3 – Paradas que Envolvem Ferramentas e Dispositivos de Usinagem

Baseado na Figura 5.10, pode-se obter um gráfico que contenha em uma só coluna os principais códigos de paradas que envolvem ferramentas e dispositivos de usinagem (Códigos 2,3 e 4), e assim ter uma noção melhor do quanto estas paradas são significativas no desempenho do setor analisado:



**Figura 5.13 – Parada Relacionada a Ferramentas**

A Figura 5.13 vem demonstrar que, para o caso específico na usinagem de uniões de Ferro Fundido Maleável Preto, os tempos de máquinas paradas devido às ferramentas e dispositivos de usinagem (Códigos 2,3 e 4) são determinantes, representando 61% dos tempos

de máquinas paradas do setor. Isso se deve principalmente ao fato de que as máquinas que mais produzem são as especiais, do tipo Multi-fuso com concepção para grandes produções, não possuindo, assim, a mesma versatilidade de uma máquina como um torno ou um centro de usinagem CNC. Isso se comprova também observando a Figura 5.12 (Eficiência das Máquinas), pois também neste gráfico, as máquinas especiais Multi-fuso têm uma eficiência menor em relação aos tornos e ao centro de usinagem, ocasionada sobretudo pela dificuldade das trocas de ferramentas e dispositivos de fixação e alimentação existentes neste tipo de máquina. Como as máquinas especiais Multi-fuso se caracterizam por sua produção elevada, cada hora de produção a mais representa um ganho em peças produzidas muito alto, melhorando especialmente os índices de produtividade e os custos do setor.

O resultado de 61% de paradas de máquinas relacionadas às ferramentas vem comprovar, conforme a fundamentação teórica, que, em usinagem, paradas decorrentes de preparações de máquinas e a falta de um gerenciamento de ferramentas adequado com relação principalmente a questões técnicas, logísticas e estratégicas influenciam muito no desempenho do setor de usinagem e, conseqüentemente, no seu índice de produtividade, pois as ferramentas ou dispositivos de usinagem mal projetados ou gerenciados ocasionam excessos de ajustes ou dificuldades na troca das ferramentas com conseqüente desperdício de tempo e de produção no setor de usinagem.

#### **5.4 – Análise da Logística das Ferramentas e Dispositivos de Usinagem**

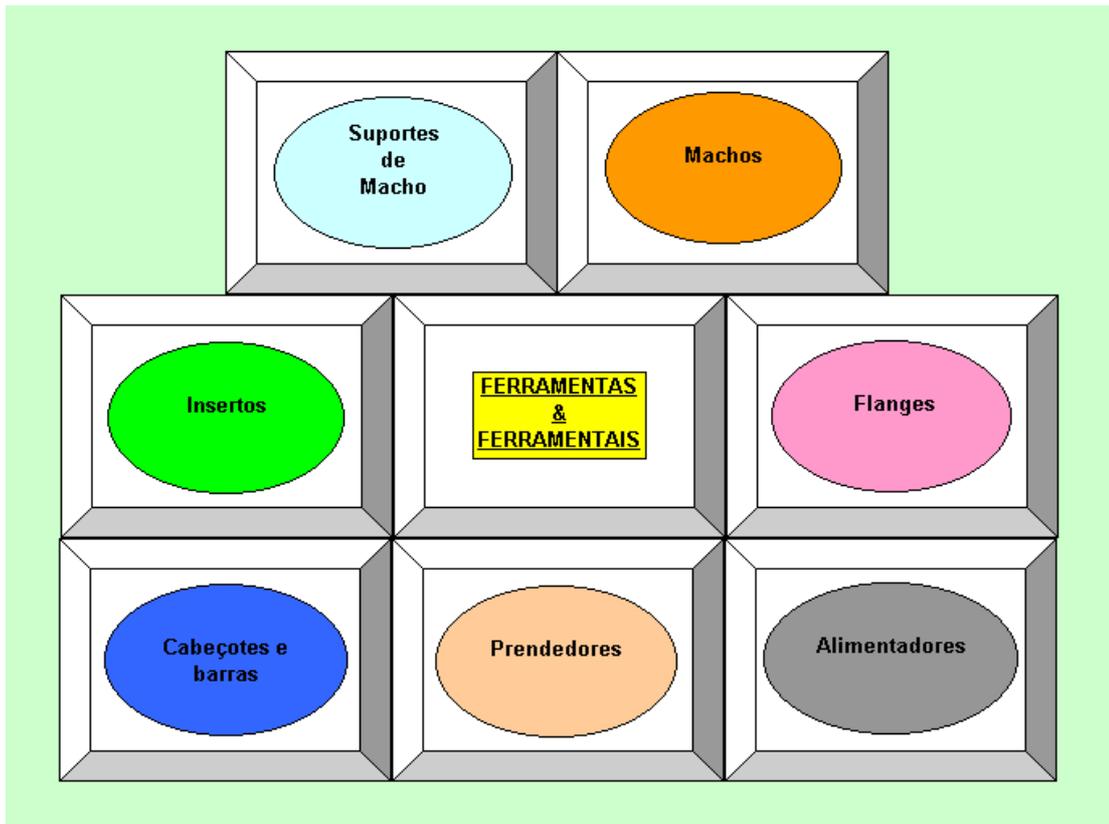
Conforme descrito nos objetivos específicos, após determinação das principais causas de paradas das máquinas, o passo seguinte foi avaliar a logística e em especial a quantidade de ferramentas e os dispositivos utilizados nas máquinas, como os de fixação e alimentação de peças. Criou-se um método de controle, visto que até então se tinha informações muito restritas a respeito desses componentes na fábrica. Os componentes avaliados foram os seguintes:

- Machos;
- Suportes de machos;
- Insertos;
- Cabeçotes e barras;
- Prendedores;
- Alimentadores;
- Flanges.

Estes itens foram escolhidos, pois, segundo a fundamentação teórica, tanto para o gerenciamento de ferramentas, quanto para a filosofia *Lean*, é de fundamental importância controlar e não ter estoques desnecessários. Portanto, as ferramentas e dispositivos de usinagem descritos acima são os principais utilizados, baseado em acompanhamentos feitos no processo do setor de usinagem de uniões.

Para se ter o controle desses componentes, foi criada uma planilha com as ferramentas e dispositivos. Esta planilha está alocada numa rede de dados, podendo-se acessá-la de qualquer microcomputador da empresa, desde que o usuário tenha uma senha de permissão. Colocou-se um microcomputador na sala de preparação de ferramentas e dispositivos, onde apenas um almoxarife tem o acesso à rede. Todos os dispositivos de fixação e alimentação, bem como as ferramentas, foram inseridos nesta planilha, sendo de responsabilidade do preparador de máquinas manter as informações atualizadas de acordo com a utilização do setor.

A planilha eletrônica tem uma tela principal onde se pode acessar informações de acordo com o tipo de dispositivo ou ferramenta que se deseja verificar, conforme Figura 5.14.



**Figura 5.14 – Tela Principal do Programa de Controle de Ferramentas**

Cada ícone representa um tipo de ferramenta que quando clicado, as informações de cadastramento e consumo aparecem, como mostrado na Figura 5.15. Nesta figura estão

representados o controle dos machos de rosca com as informações necessárias de acordo com as necessidades do setor:

- Código – nesta coluna é colocado o código de almoxarifado da ferramenta;
- Desenho – Código do desenho da ferramenta;
- Bitola – Diâmetro da peça que é usinada por esta ferramenta;
- Rosca – Tipo da rosca que no caso esta ferramenta fabrica;
- Estoque – Quantidade do item no primeiro dia do mês;
- Entrada – Quantidade de peças novas que entram no setor durante o mês;
- Saída – Quantidade de peças consumidas no setor durante o mês;
- Saldo – Quantidade de peças no estoque.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	<b>MACHOS</b>														
2	<b>Código</b>	<b>Desenho</b>	<b>Bitola</b>	<b>Rosca</b>	<b>Estoque</b>	<b>Entrada</b>	<b>Total</b>	<b>Saída</b>				<b>Total</b>	<b>Saldo</b>		
3	18080-2	R-04-146-33	1/4"	BS21	0		0						0	0	
4	18982-3	R-04-146-34	3/8"	BS21	0		0						0	0	
5	18351-8	R-04-146-35	1/2"	BS21	12		0	2					2	10	
6	18340-1	R-04-146-36	3/4"	BS21	15		0	2					2	13	
7	18342-7	R-04-146-39	1"	BS21	32		0						0	32	
8	18343-5	R-04-146-37	1 1/4"	BS21	14		0						0	14	
9	18344-3	R-04-146-38	1 1/2"	BS21	15		0	4					4	11	
10	18345-0	R-04-140-61	2"	BS21	28		0	2					2	26	
11	18979-0	R-04-140-62	2 1/2"	BS21	1		0						0	1	
12	18995-6	R-04-140-63	3"	BS21	5		0						0	5	
13	18996-7	R-04-140-64	4"	BS21	6		0						0	6	
14	18082-8	R-04-146-26	1/4"	NPT	4		0						0	4	
15	18083-6	R-04-146-27	3/8"	NPT	8		0						0	8	
16	18346-8	R-04-146-28	1/2"	NPT	7		0						0	7	
17	18347-6	R-04-146-29	3/4"	NPT	10		0						0	10	
18	18348-4	R-04-146-30	1"	NPT	1		0						0	1	
19	18349-0	R-04-146-31	1 1/4"	NPT	4		0						0	4	
20	18350-0	R-04-146-32	1 1/2"	NPT	4		0						0	4	
21															
22															

**Figura 5.15 – Planilha de Controle de Ferramentas (Machos de rosca)**

O almoxarife responsável pela inclusão dos dados na planilha preenche apenas as colunas de entrada e saída sempre que a quantidade de ferramentas for alterada no estoque e o saldo é calculado automaticamente.

Quando a coluna na qual é indicado o saldo fica vermelha, a quantidade de ferramentas no almoxarifado está abaixo do especificado para aquele item, tendo que ser repostas imediatamente.

A quantidade limite de cada item é calculada baseada no consumo mensal atendendo a filosofia *Lean Manufacturing* de ter no estoque o mínimo possível para manter a fábrica funcionando sem excesso de ferramentas, porém também sem permitir que as máquinas parem por falta. O limite foi baseado no histórico de acompanhamento mensal dos itens cadastrados na planilha de controle. No final de cada mês, tem-se o consumo total dos itens, podendo-se alimentar os dados em uma nova planilha com o histórico de consumo das ferramentas e dispositivos, conforme Figura 5.16.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	<b>HISTÓRICO MACHOS</b>									
2	Código	Desenho	Bitola	Rosca	Consumo Março	Consumo Abril	Consumo Maio	Média de consumo mensal	Estoque Atual	Meses de Estoque
3	18080-2	R-04-146-33	1/4"	BS21	9	15	9	11,00	12,0	1,09
4	18982-3	R-04-146-34	3/8"	BS21	12	6	13	10,33	15,0	1,45
5	18351-8	R-04-146-35	1/2"	BS21	5	3	4	4,00	18,0	4,50
6	18340-1	R-04-146-36	3/4"	BS21	2	3	1	2,00	8,0	4,00
7	18342-7	R-04-146-39	1"	BS21	7	1	4	4,00	15,0	3,75
8	18343-5	R-04-146-37	1 1/4"	BS21	6	2	4	4,00	14,0	3,50
9	18344-3	R-04-146-38	1 1/2"	BS21	3	2	1	2,00	7,0	3,50
10	18345-0	R-04-140-61	2"	BS21	5	2	4	3,67	10,0	2,73
11	18979-0	R-04-140-62	2 1/2"	BS21	0	2	2	1,33	1,0	0,75
12	18995-6	R-04-140-63	3"	BS21	2	5	6	4,33	4,0	0,92
13	18996-7	R-04-140-64	4"	BS21	10	12	9	10,33	4,0	0,39
14	18082-8	R-04-146-26	1/4"	NPT	7	5	4	5,33	10,0	1,88
15	18083-6	R-04-146-27	3/8"	NPT	6	2	5	4,33	3,0	0,69
16	18346-8	R-04-146-28	1/2"	NPT	9	5	8	7,33	14,0	1,91
17	18347-6	R-04-146-29	3/4"	NPT	2	1	0	1,00	4,0	4,00
18	18348-4	R-04-146-30	1"	NPT	7	9	5	7,00	8,0	1,14
19	18349-0	R-04-146-31	1 1/4"	NPT	3	5	8	5,33	8	1,50
20	18350-0	R-04-146-32	1 1/2"	NPT	12	16	13	13,67	25	1,83

**Figura 5.16 – Histórico de Consumo de Ferramentas (Machos)**

Baseado na média de consumo mensal, pode-se estimar o tempo que o estoque durará e automaticamente repor as ferramentas, quando necessário. No caso da Figura 5.16, a última coluna, a de “Meses de Estoque”, está programada para alertar em vermelho quando o estoque não estiver suficiente para 1 mês. Este período pode ser ajustado dependendo do tempo que uma ferramenta leva para chegar no almoxarifado quando solicitada ao fornecedor.

Lembrando que esta planilha de controle é alimentada por um almoxarife que apenas insere os dados de entrada e saída das ferramentas e dispositivos, esta é administrada por um responsável técnico que mantém as previsões de consumo e quantidade de ferramentas necessárias para o bom andamento do controle de ferramentas.

Semanalmente os itens de maior consumo, principalmente os machos e insertos, são verificados pelo almoxarife e o responsável técnico, a fim de constatar se o que está no sistema condiz com a realidade no setor.

Com este sistema implantado, pôde-se obter as informações necessárias de consumo de ferramentas e dispositivos, como também uma estimativa de sua vida útil, facilitando a identificação dos itens mais críticos, podendo então fazer trabalhos de melhoria destes, sobretudo relacionados à vida útil e à adequação do estoque no almoxarifado, visando diminuir paradas de máquina, desperdícios de recursos, aumentando a produção e, conseqüentemente, melhorando o índice de produtividade.

Portanto, o sistema de gerenciamento de ferramentas implantado está de acordo com a filosofia *Lean* no que se refere à identificação de desperdícios na fábrica e também com o gerenciamento de ferramentas, uma vez que possibilita que alterações técnicas, logísticas ou estratégicas sejam realizadas, baseadas principalmente no consumo das ferramentas e dispositivos controlados no sistema.

## **5.5 – Modificações no Processo de Usinagem**

Para a identificação das possíveis soluções associadas aos desperdícios existentes no processo de usinagem de uniões, seguiu-se principalmente a filosofia *Lean*, no que se refere a melhorias contínuas conforme o *Kaizen*, utilizando especialmente as questões relacionadas e possíveis de se utilizar no processo. Na seqüência estão relacionadas as principais técnicas que foram aplicadas e estão descritas na fundamentação teórica do trabalho:

**Reuniões** – Foram feitas várias reuniões entre gerente, líderes, responsáveis técnicos, preparadores de máquinas e demais pessoas envolvidas no processo do setor visando à identificação de possíveis perdas;

**Identificação do desperdício** – Com base nas reuniões com as pessoas envolvidas no processo, observações feitas nas máquinas, operadores e preparadores, além de análises de tempos de usinagem e gráficos como o de consumo de ferramentas, tempos e motivos de máquinas paradas, chegou-se a possíveis mudanças necessárias para agilizar a produção e reduzir tempos de paradas de máquina;

**Fluxo contínuo e demanda puxada** – Para cumprir este requisito, foi preciso reduzir as paradas das máquinas, pois devido ao *lead time* reduzido, conseguiu-se colocar as peças na expedição mais rapidamente, não necessitando de estoques altos e facilitando a demanda puxada, fabricando somente as peças de acordo com o pedido do cliente;

**Olhar p/ o processo como um todo** – Apesar do trabalho estar focado em ferramentas e não em peças produzidas, é preciso manter o estoque de ferramentas mais “enxuto”, necessitando assim de uma sincronia entre produção, compras e fornecedores, portanto, deve-se ter uma visão geral do processo relacionado principalmente à ferramentas;

**Visão compartilhada com objetivos claros** – Nas reuniões realizadas com as pessoas envolvidas no processo, os objetivos foram postos de forma clara, assim como a necessidade da participação destas para o sucesso do projeto;

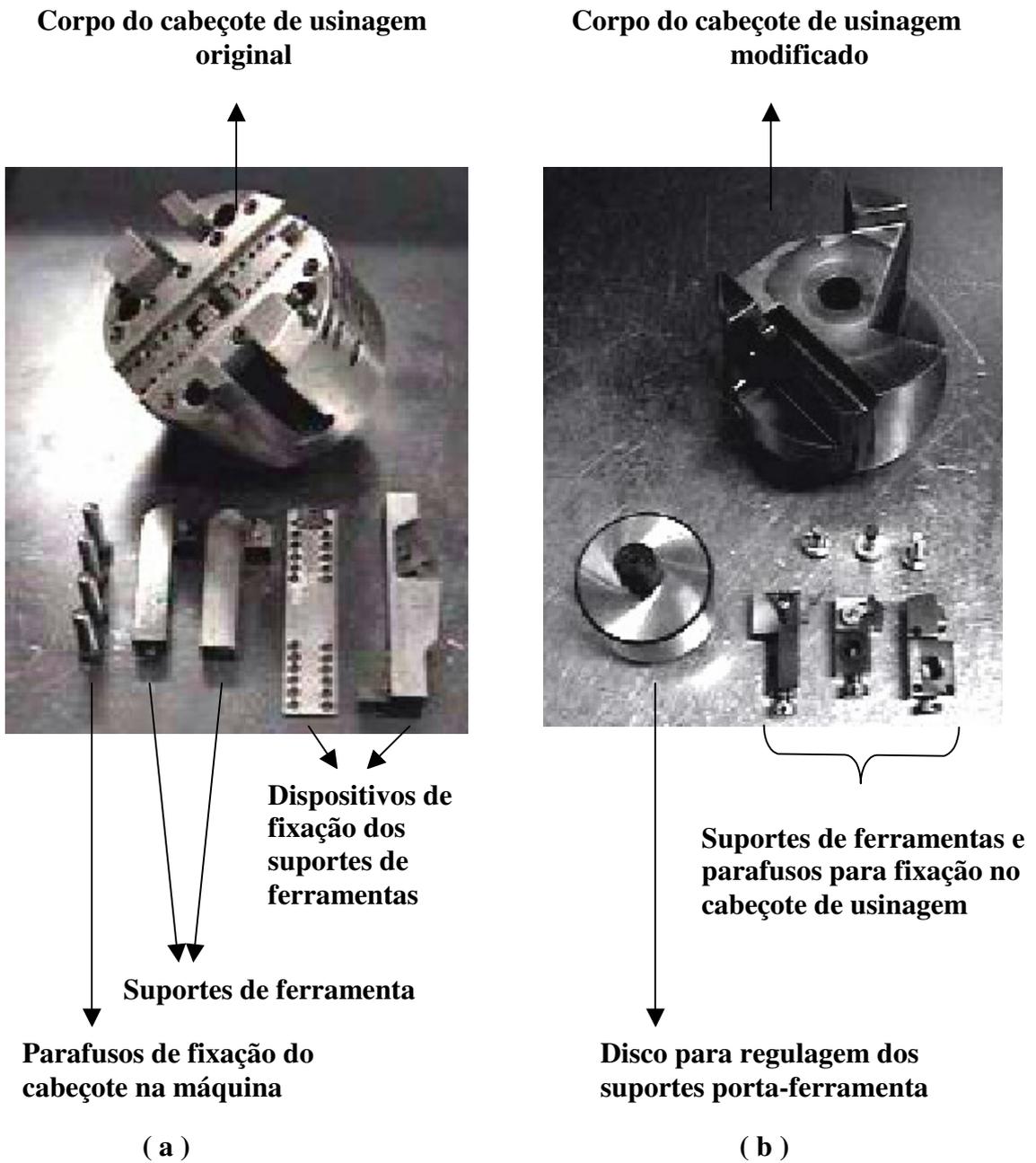
**Apoio da alta direção** – O gerente do setor apoiou o projeto, disponibilizando os recursos da empresa, inclusive financeiro, além de estar ciente das modificações que seriam realizadas no setor;

**Metas mensuráveis** – As metas foram traçadas de forma a se ter a máxima confiabilidade nos dados, principalmente por se tratar de dados da rotina de produção obtidos na empresa diariamente e fáceis de serem avaliados no caso de alteração de valores;

Após a realização desta etapa de planejamento para a aplicação da metodologia, passou-se para a execução das tarefas detalhando as mudanças realizadas no processo. Estas alterações foram sugeridas após análise efetuada com a ajuda de toda a equipe envolvida no processo de usinagem do setor estudado, utilizando o princípio da manufatura enxuta, mais voltada ao *Kaizen*, no qual se deve ter o menor tempo possível de máquinas paradas e a melhor utilização dos seus recursos relacionados à produção e organização do setor e do ambiente de trabalho.

### **5.5.1– Modificações nos Cabeçotes de Usinagem (Troca Rápida)**

As máquinas Multi-fuso, Figura 4.6, possuem cabeçotes de usinagem que se deslocam apenas no eixo X da máquina, ou seja, é um cabeçote de mandrilamento que avança ao encontro da peça de modo que as ferramentas estão dispostas para usinar o perfil desejado, sendo que este cabeçote apenas avança e recua. Este cabeçote, conforme mostrado na Figura 5.17a, possui uma massa grande, de aproximadamente 12kg, é colocado manualmente pelo preparador de ferramentas na máquina. Além da dificuldade que o preparador de máquinas encontra em colocar o cabeçote na máquina devido ao peso, existe ainda o problema de fazer os ajustes das ferramentas necessários em decorrência do tamanho, peso, forma construtiva e acesso na máquina deste cabeçote de usinagem.



**Figura 5.17 – Cabeçotes Original e Modificado da Máquina Multi-fuso**

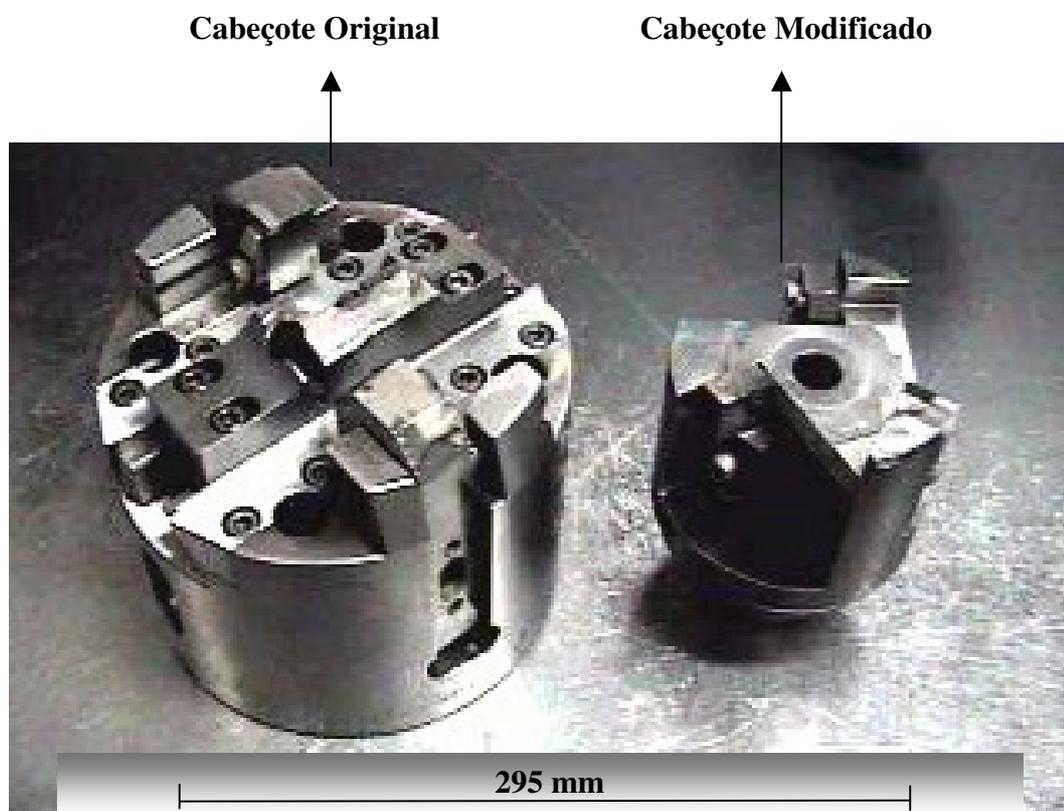
Em consenso com as pessoas envolvidas no processo, chegou-se à conclusão que havia muita perda de tempo com a colocação deste cabeçote na máquina, principalmente devido ao fato de que, na montagem do cabeçote, o preparador tem que segurá-lo com apenas uma mão e apertar 4 parafusos de fixação com a outra, para então fixá-lo na máquina. Assim, existia uma dificuldade grande na hora de uma preparação de máquina ou troca do cabeçote por completo.

Desta forma, através de contatos com fornecedores de ferramentas e reuniões com pessoas envolvidas no processo de usinagem, projetou-se outro cabeçote, com tamanho

menor, de fácil acesso para as regulagens das ferramentas e fixação na máquina por apenas 2 parafusos, agilizando qualquer tipo de montagem ou regulagem. Este cabeçote pesa apenas 3kg e está demonstrado na Figura 5.17b.

O disco de regulagem que está no lado esquerdo inferior da Figura 5.17b serve para a regulagem dos suportes de ferramentas, e deste modo não há mais a necessidade do preparador fazer grandes regulagens com o cabeçote já montado na máquina, pois ele ajusta os suportes do cabeçote de acordo com a peça a ser fabricada. Antes de colocá-lo na máquina, para cada tipo de peça a usinar que tenha dimensões diferentes, há um disco de regulagem específico.

Na Figura 5.18, tem-se a comparação dos cabeçotes original e modificado para se ter uma noção da diferença de tamanho e forma de ambos.



**Figura 5.18 – Comparativo entre Cabeçote Original e Modificado**

Com esta modificação, além de melhorar na ergonomia de trabalho para o preparador, o tempo de troca de um cabeçote foi reduzido bruscamente, pois antes, para efetuar a troca de um cabeçote original, por outro de uma peça diferente e fazer os ajustes, demorava-se em torno de 1 hora, dependendo do tempo de ajuste do cabeçote. Com o cabeçote modificado, como ele já vem pré-ajustado e a fixação na máquina é consideravelmente mais fácil, o tempo

de troca agora é de apenas 5 a 10 minutos, representando um ganho de aproximadamente 80% no tempo. Além disto, deve-se ressaltar também que aumentou muito a agilidade nas trocas dos inserts fixados nos suportes depois de terminada sua vida útil.

Esta modificação de processo, de acordo com a fundamentação teórica, está relacionada diretamente com a preparação de máquina (*setup*), onde se considera que o *setup*, quanto mais demorado, pior, já que aumenta o tempo de máquina parada ocasionando perdas na produtividade. A alteração proposta acima diminuiu consideravelmente o tempo de preparação de máquina, além dos tempos de ajustes de ferramentas, pois assim consegue-se ajustá-las mais facilmente, tornando-se desta maneira uma alteração relevante para o processo de usinagem do setor estudado.

### 5.5.2 – Revestimento TiN nos Machos de Rosca

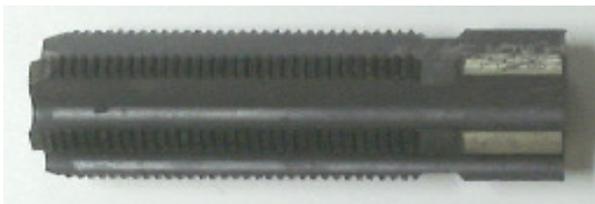
A partir da análise de tempos das máquinas Multi-fuso, segundo Figura 5.19, verificou-se a seqüência de operações realizadas nestas máquinas e pôde-se determinar algumas que estavam sendo “gargalos” de produção, podendo-se então fazer modificações para reduzir estes tempos de usinagem e obter ganhos no índice de produtividade. A Figura 5.19 demonstra duas análises de tempos de usinagem em peças diferentes, conforme segue:

Peça: Junção de 2" rosca BSP	Tempo total de usinagem em segundos																	
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0
Carregamento da peça	█																	
Usinagem da face		█	█	█	█	█	█	█	█	█								
Pré-usinagem de rosca		█	█	█	█	█	█											
Giro da mesa para 2ª posição											█							
Usinagem Rosca externa												█	█	█				
Usinagem sangramento												█	█					
Usinagem Rosca interna												█	█	█	█			
Giro da mesa e descarregamento																	█	█

Peça: Junção de 1/2" rosca NPT	Tempo total de usinagem em segundos																	
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0
Carregamento da peça	█																	
Usinagem da face		█	█	█	█	█	█											
Pré-usinagem de rosca		█	█	█	█													
Giro da mesa para 2ª posição								█										
Usinagem Rosca externa									█	█	█							
Usinagem sangramento									█	█								
Usinagem Rosca interna									█	█	█	█						
Giro da mesa e descarregamento														█	█			

Figura 5.19 – Tempo de Usinagem na Máquina Multi-fuso

Analisando os dados apresentados na página anterior, nota-se que os tempos que devem ser alterados primeiramente, ou seja, os tempos “gargalos”, são as operações de usinagem da face e da rosca interna, tanto para a peça maior de 2” quanto para a menor de ½”. Como na usinagem da face existe uma dificuldade maior para realizar alterações devido ao número de insertos de usinagem nas operações simultâneas, além de já terem sido trabalhadas quando se confeccionou os cabeçotes de usinagem mostrados no item 5.5.1, foi decidido trabalhar em possíveis alterações nos machos que fazem a usinagem da rosca interna. Ademais, estes machos possuíam apenas um tratamento de oxidação na superfície, semelhante à cementação, podendo alterar, portanto, seu revestimento, pois atualmente a tecnologia de coberturas está muito avançada, permitindo o uso de várias opções diferentes. Lembrando que este tipo de macho é utilizado somente nas máquinas Multi-fuso e nas seguintes bitolas: ½”, ¾”, 1”, 1 ¼”, 1 ½” e 2”. Os machos com oxidação estão representados pela Figura 5.20a.



( a )



( b )

**Figura 5.20 – Machos de Rosca com Oxidação e Cobertura TiN**

Com base nos contatos com fornecedores de ferramentas, chegou-se à conclusão que seria melhor colocar um revestimento TiN nos machos de rosca, pois este segundo o fabricante, se caracteriza pelos bons resultados relacionados a desgaste e vida útil em velocidades de corte não muito altas (abaixo de 60 mm/min) e para o tipo de material especificado (Ferro Fundido Maleável Preto). A Figura 5.20b mostra o macho com cobertura TiN.

O macho de rosca com cobertura TiN foi colocado nas máquinas Multi-fuso com o objetivo de aumentar a velocidade de corte na operação de rosqueamento em 10%, fazendo com que a usinagem total da peça fosse reduzida em até 2 segundos, aumentando o número de peças fabricadas e também a vida útil dos machos, diminuindo também os tempos de parada das máquinas para a troca de ferramenta. A seguir, a Tabela 5.5 exibe uma comparação entre o rendimento dos dois tipos de revestimentos.

**Tabela 5.5 – Rendimento dos Machos Oxidados e com Cobertura TiN**

Tamanho do macho	Vida dos machos oxidados na 1ª afiação (roscas produzidas)	Vida dos machos TiN na 1ª afiação (roscas produzidas)	Relação de Vida dos machos TiN a mais que os machos oxidados (%)
1/2"	11667,00	30882,50	264,7
3/4"	11000,00	28000,00	254,5
1"	10333,00	45176,00	437,2
1 1/4"	10000,00	26000,00	260,0
1 1/2"	10000,00	27423,00	274,2
2"	9000,00	33303,00	370,0

Para o resultado da Tabela 5.5, foram utilizadas as vidas úteis da primeira afiação de cada bitola em 3 machos diferentes colocados e acompanhados nas máquinas pelos preparadores e os responsáveis pelo processo de usinagem das respectivas peças, fazendo então uma média para se chegar aos valores apresentados acima. Nota-se claramente que os machos com revestimento TiN, mesmo com velocidade de corte 10% acima da velocidade normal dos machos oxidados, ainda possuem uma vida útil muito superior. Os machos com revestimento TiN custam em média 20% a mais que os machos com oxidação, porém este valor a mais é compensado pelo número de roscas produzidas, como pode ser visto na última coluna da Tabela 5.5.

Por conseguinte, com a implantação dos machos com revestimento TiN, teve-se um ganho considerável em produtividade, pois, com a vida útil maior, pára-se menos para trocar os machos e se produz com velocidade de corte praticamente 10% superior. Estes machos foram colocados para usinar em todas as máquinas Multi-fuso, ajudando assim na melhora do índice de produtividade do setor. Como este trabalho apresenta várias alterações de processo, no final será medido novamente o índice de produtividade geral do setor, tendo-se assim o quanto todas as alterações em conjunto influenciaram neste índice.

Esta alteração está de acordo com a filosofia *Lean*, mostrada na fundamentação teórica, já que, como as peças são produzidas mais rapidamente nas máquinas Multi-fuso, permite-se, portanto, que a necessidade de produção determinada pelo cliente possa ser atendida num tempo menor, não necessitando aumentar o estoque para compensar maiores perdas de tempo do processo de usinagem. Além de permitir que a produção aumente sem a necessidade das pessoas do setor trabalharem em horas extras para atender a demanda de produção.

### 5.5.3 – Troca de Insertos para Aumentar a Vida das Ferramentas

A partir da análise da Figura 5.10, em que a troca de ferramentas é o item que mais consome tempo nas paradas de máquinas, decidiu-se verificar os insertos de corte mais consumidos, principalmente nas máquinas Multi-fuso, que poderiam ser trocados por classes diferentes ou mesmo os revestimentos, objetivando o aumento da sua vida útil, diminuindo assim suas trocas na máquina e com conseqüente redução do número de paradas dessas máquinas. Para a análise de cada inserto, levou-se em consideração também o custo dele para que fosse avaliado o seu “custo-benefício”, ou usinagem econômica, que é um dos fatores importantes nos processos de usinagem para avaliar qual ferramenta vale mais a pena ser utilizada. A Tabela 5.6 mostra um exemplo de comparação entre duas ferramentas, isto é, dois tipos de insertos.

**Tabela 5.6 – Comparativo de Custo Benefício entre 2 Ferramentas**

<b>TABELA DE CUSTO BENEFÍCIO</b>		
	<b>INSERTO A</b>	<b>INSERTO B</b>
Descrição do Inserto	WNMG 080412 K20	WNMG 080412 K10
MÁQUINA	Torno T100	Torno T100
OPERAÇÃO	Desbaste Ø50,0 mm	Desbaste Ø50,0 mm
VELOCIDADE DE CORTE (mm/min)	200	200
AVANÇO (mm/rot)	0,2	0,2
NÚMERO DE ARESTAS DE CORTE	6	6
<b>CUSTO DO INSERTO (R\$)</b>	<b>30,00</b>	<b>35,00</b>
Peças produzidas aresta 1	90	110
Peças produzidas aresta 2	80	108
Peças produzidas aresta 3	84	107
Peças produzidas aresta 4	92	106
Peças produzidas aresta 5	80	112
Peças produzidas aresta 6	86	108
MÉDIA DE PEÇAS PRODUZIDAS POR ARESTA	85,33	108,50
<b>TOTAL MÉDIO DE PEÇAS PRODUZIDAS POR INSERTO</b>	<b>512</b>	<b>651</b>
GANHO EM CUSTO (%)	16,66	0,00
GANHO EM VIDA DA FERRAMENTA (%)	0,00	27,15
<b>CUSTO PARA FABRICAR 1000 PEÇAS (R\$)</b>	<b>58,59</b>	<b>53,76</b>
<b>CUSTO BENEFÍCIO (%)</b>	<b>0</b>	<b>8,98</b>

No exemplo da Tabela 5.6, consideraram-se os insertos de classes diferentes, visto que um é K20 e outro K10, sendo que o K10 possui uma dureza maior que o K20, que, por sua vez, tem uma tenacidade mais acentuada. Além da diferença de dureza e tenacidade, os

custos dos insertos e a quantidade de peças fabricadas também possuem valores diferentes. Para se chegar na melhor relação “custo benefício”, foi considerada uma quantidade de peças fictícias de 1000 unidades, analisando-se assim quanto se gastaria na produção, lembrando que o inserto A é mais barato que o B e o B fabricou mais peças que o A. Logo, dividiu-se a quantidade de peças a serem fabricadas hipoteticamente (1000) pela quantidade de peças que cada inserto fabricou em média, achando-se, desta forma, a quantidade de cada inserto necessário para a fabricação do lote fictício. Em seguida, multiplicou-se o número de insertos necessários pelo custo deles, achando o custo de fabricação do lote. Na seqüência, foi calculado o percentual da diferença entre os custos dos lotes para saber o quanto se economiza utilizando o mais barato, tendo assim o “custo benefício” da melhor ferramenta a ser utilizada. Neste caso, ficou claro que, para uma mesma máquina, operação de usinagem e dados de corte, o inserto B tem um “custo benefício” melhor.

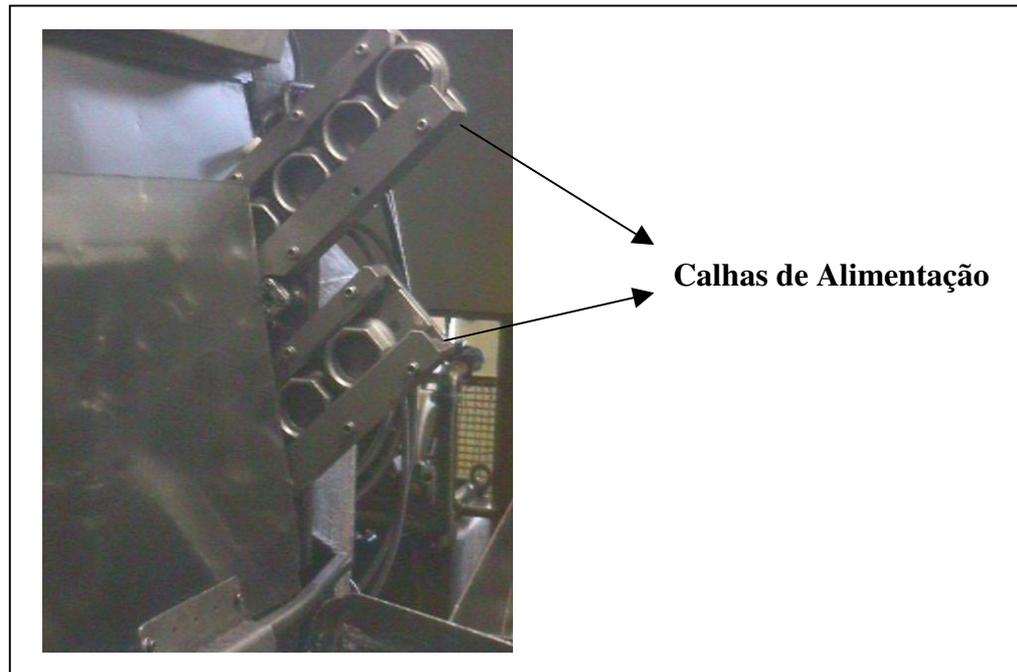
Assim como no exemplo da Tabela 5.6, várias outras ferramentas e insertos foram e são comparados seus desempenhos entre os diferentes fabricantes, tornando este processo freqüente, levando-se em conta o fato de que neste ramo as tecnologias em materiais de ferramentas e revestimentos estão em constante mudança e evolução, ocasionando então a necessidade da busca por de novas tecnologias a fim de cada vez mais melhorar os processos de usinagem.

É importante destacar que, a partir do momento em que se decide fazer alterações nos processos de usinagem seja devido à produtividade ou redução de custos, a constante avaliação das novidades tecnológicas em termos de ferramentas deve ser sempre considerada, garantindo, desse modo, uma das características importantes do *Lean*, que é a melhoria constante dos processos produtivos.

Esta alteração de processo está de acordo com a fundamentação teórica descrita no gerenciamento de ferramentas pelo planejamento técnico, pois este deve ser feito possibilitando um processo de usinagem mais econômico e que atenda as necessidades de qualidade dos produtos.

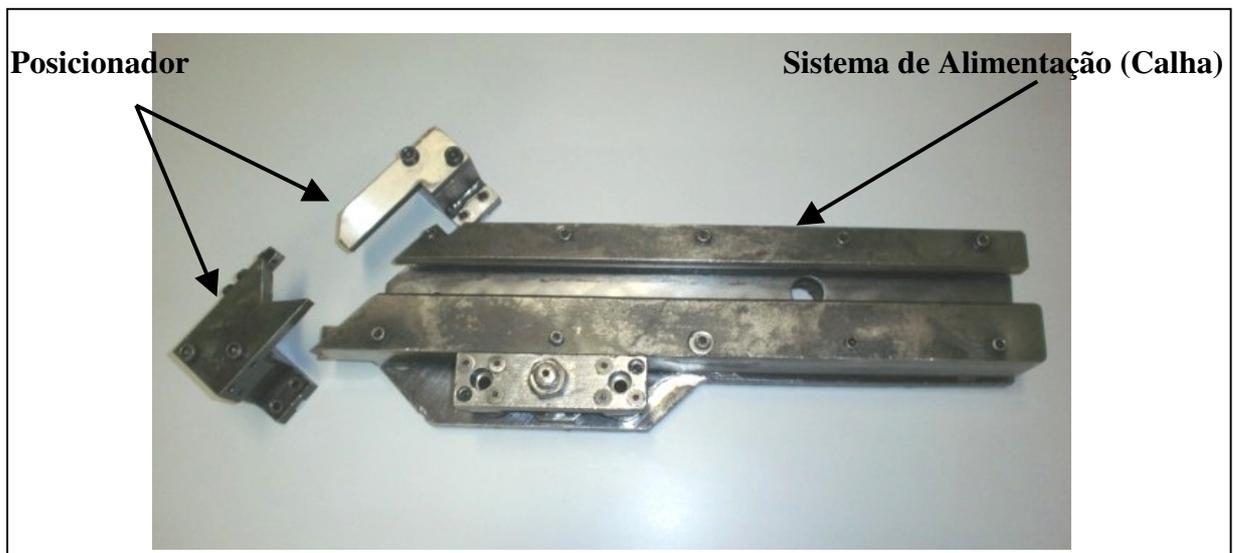
#### **5.5.4 – Modificação no Sistema de Alimentação das Máquinas Multi-fuso**

Como os ajustes e trocas de ferramentas das máquinas Multi-fuso são complexos e demorados, além das alterações já realizadas nos capítulos 5.5.1, 5.5.2 e 5.5.3, decidiu-se melhorar também o sistema de alimentação dessas máquinas Multi-fuso, representado na Figura 5.21.



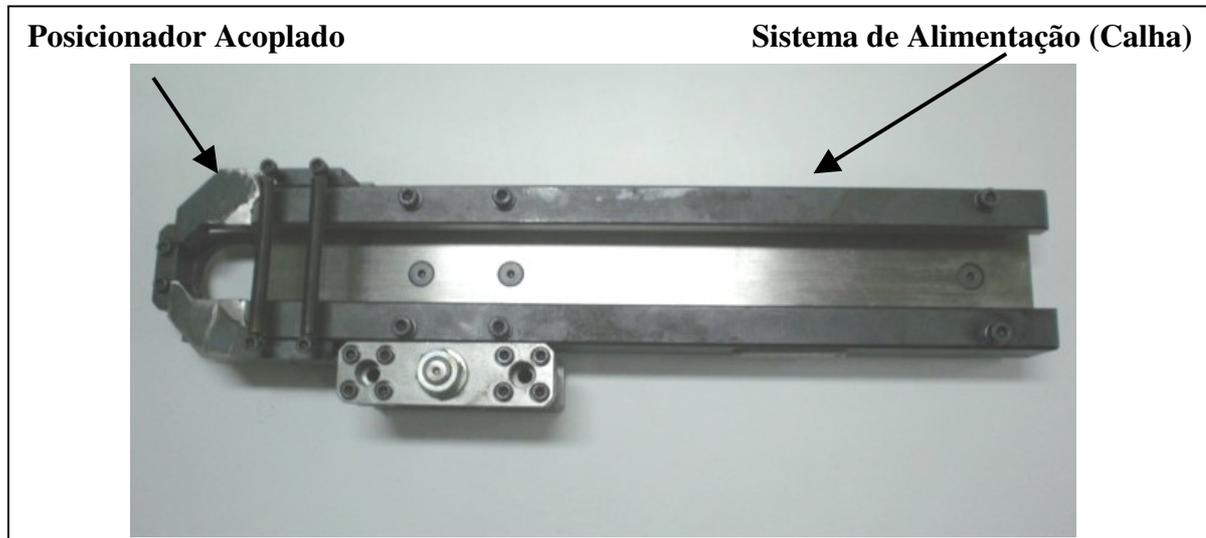
**Figura 5.21 – Sistema de Alimentação da Máquina Multi-fuso**

Inicialmente, o sistema de alimentação era fixado nas máquinas com os dispositivos de posicionamento das peças. Esses dispositivos de posicionamento são necessários para que as peças possam ser levadas até os prendedores dessas máquinas, sendo que cada máquina possui dois dispositivos. A Figura 5.22 mostra o sistema de alimentação anterior, juntamente com os dispositivos posicionadores que eram ajustados conforme o posicionamento dos alimentadores na máquina.



**Figura 5.22 – Sistema de Alimentação e Posicionamento de Peças Anterior**

Com estes sistemas separados, havia a necessidade de ajuste entre eles, além da perda de tempo na fixação dos mesmos. Assim, através de reuniões com as pessoas envolvidas no processo de usinagem, decidiu-se unir os dispositivos e eliminar os ajustes, bem como houve a necessidade de fixação de ambos nas máquinas, tornando-os uma peça única, conforme mostrado na Figura 5.23.



**Figura 5.23 – Sistema de Alimentação e Posicionamento de Peças Alterado**

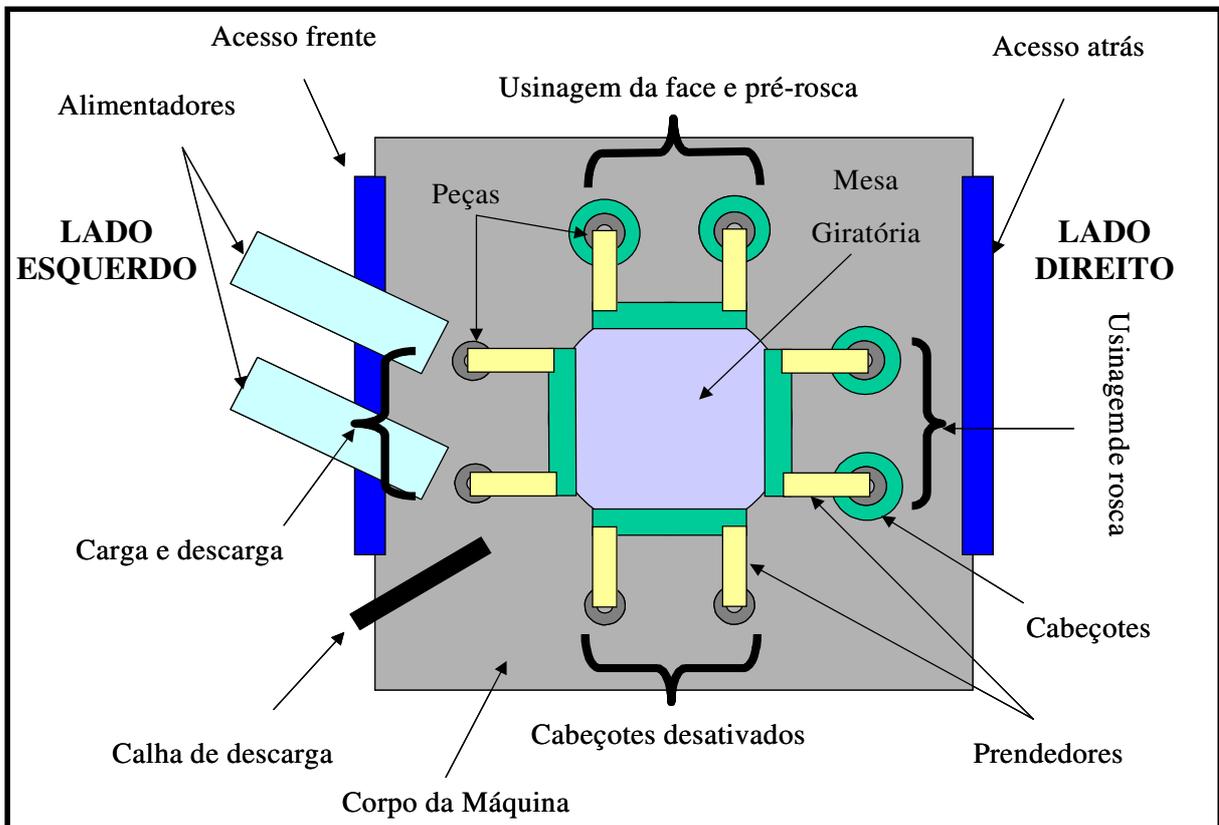
Tal alteração de processo diminuiu o tempo de preparação de máquinas em aproximadamente 10 minutos, uma vez que este era o tempo que o preparador demorava para ajustar os posicionadores de peças com a máquina e o sistema de alimentação. Segundo a fundamentação teórica, este item está relacionado aos aspectos considerados em uma preparação de máquinas eficiente, pois esta alteração diminuiu o tempo de preparação de máquina, que deve ser realizada no menor tempo possível para que não haja desperdício de tempo, aumento de peças produzidas, com conseqüente aumento do índice de produtividade.

#### **5.5.4 – Alterações na Preparação de Máquinas (*Setup*)**

Análises dos tempos de *setup* das máquinas Multi-fuso indicaram que o tempo de uma troca completa, isto é, cabeçotes de usinagem, prendedores de peças e alimentadores, realizada por um preparador de ferramentas, poderá levar até 5 horas de trabalho, entre troca de ferramentas, dispositivos e ajustagem dos componentes.

Essas máquinas Multi-fuso apresentaram um grau de complexidade elevado em termos de preparação de máquina, pois existem vários dispositivos de difícil acesso na desmontagem e ajustes de ferramentas e dispositivos de fixação e alimentação.

Na Figura 5.24, tem-se, de uma forma detalhada, o esquema de funcionamento das máquinas Multi-fuso. É importante destacar que essas máquinas possuem um sistema de mesa giratória que leva as peças para os cabeçotes de usinagem das faces, pré-usinagem e usinagem das rosças.



**Figura 5.24 – Vista Frontal do Esquema de Funcionamento da Máquina Multi-fuso**

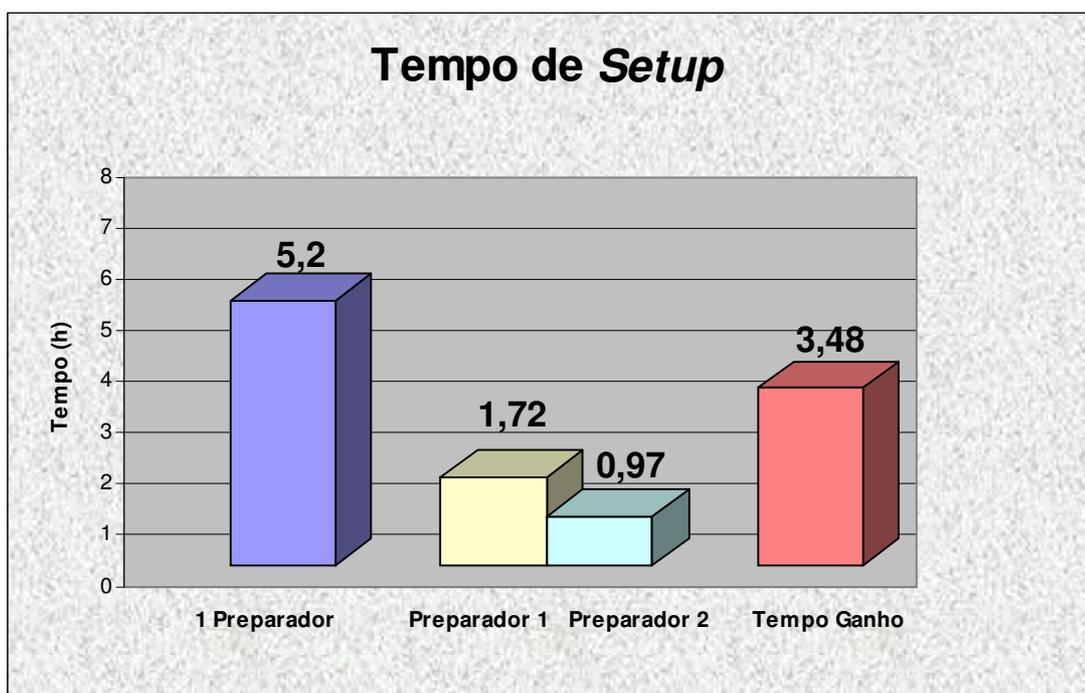
Para melhor entender as alterações que foram realizadas na preparação das máquinas Multi-fuso, é importante apresentar o seu funcionamento. As peças a serem produzidas são colocadas nos alimentadores, através dos quais, por gravidade, chegam até o carregamento de peças na máquina e são fixadas nos prendedores. Uma vez presa no prendedor, elas são levadas e posicionadas a cada  $\frac{1}{4}$  de giro da mesa, sendo posicionadas para uma operação diferente na máquina. O primeiro estágio é o posicionamento e fixação das peças nos prendedores localizados na região esquerda da máquina, setor de carga e descarga de peças. No segundo estágio, as peças são colocadas para usinagem da face e pré-usinagem da rosca interna. No terceiro estágio, é feita a usinagem da rosca interna, o quarto estágio está desativado, pois não é necessário para o processo de usinagem de uniões, e finalmente, no quinto estágio, que se localiza na mesma posição do primeiro, faz-se o descarregamento das peças na calha. Lembrando que são usinados um niple e uma junção simultaneamente em

cada estágio de usinagem, sendo que essas mesmas máquinas também fazem a usinagem das porcas, porém, quando isso acontece, somente ela é produzida.

Anteriormente mostraram-se duas alterações importantes do processo de usinagem que foram as descritas nos itens 5.5.1, referindo-se aos cabeçotes de troca rápida, e 5.5.4 aos alimentadores de peças integrados aos dispositivos de posicionamento, que contribuíram muito para o processo de *setup* das máquinas.

A partir da análise do *setup* realizada pela equipe responsável pelo processo, fez-se outra importante alteração, que foi a utilização de 2 preparadores de máquinas para efetuar esta operação de *setup*. Como se pode observar na Figura 5.26, as máquinas possuem dois acessos para seu interior, um pela esquerda e outro pela direita. Sendo assim, padronizou-se a seqüência de operações de forma que o preparador 1, que está à esquerda da máquina, troque e ajuste os alimentadores, prendedores, um cabeçote de usinagem da face e outro da pré-usinagem da rosca que se localiza neste lado. O preparador 2, no lado direito da máquina, troca e ajusta o outro cabeçote de usinagem da face e da pré-usinagem da rosca, além dos machos para usinagem de roscas e os dispositivos de fixação daquele lado.

Com essa padronização e utilização de 2 preparadores de máquina simultaneamente, diminuiu-se em 67% o tempo de *setup* devido à seqüência de desmontagem, montagem e ajustes executados por cada preparador. Na Figura 5.25, pode ser visto a diferença nos tempos de preparação antes e depois das mudanças, utilizando 2 preparadores de máquina.



**Figura 5.25 – Tempo de Setup com 1 e 2 Preparadores de Máquinas**

A diferença entre o término das atividades do preparador 1 e 2, se deve ao fato de que, no lado esquerdo da máquina, há mais dispositivos de usinagem a serem montados e desmontados, como é o caso do sistema de alimentação, não tendo como o preparador 2 ajudar na operação devido ao espaço restrito existente na máquina.

Este *setup* com 2 pessoas nem sempre é possível, pois como são 6 máquinas Multi-fuso trabalhando 24 horas por dia, com 2 ou 3 preparadores por turno, algumas vezes há mais de uma máquina parada para troca ou ajuste de ferramenta, ou dispositivo de fixação e alimentação, não podendo assim ficar os 2 preparadores do começo ao fim de um *setup* específico de uma determinada máquina. Porém, agora, sempre que possível, esta seqüência de preparação é feita conforme a nova solução apresentada, agilizando assim, o *setup* das máquinas, e diminuindo os tempos de paradas com conseqüente melhora no índice de produtividade. Para melhorar ainda mais o tempo de *setup* das máquinas, seria necessário alterar radicalmente a concepção de projeto. No entanto se torna inviável, pois seria mais rentável a compra de um equipamento novo.

Esta alteração soma-se às anteriores realizadas nas ferramentas e dispositivos de fixação e alimentação, que tiveram como objetivo a diminuição dos tempos de paradas das máquinas, com conseqüente melhora do índice de produtividade. Todas elas estão de acordo com a fundamentação teórica, pois prioriza, conforme a filosofia *Lean* e o *Kaizen* relacionados à melhorias de processo, a eliminação dos desperdícios. Além disso, essas alterações atendem as exigências do gerenciamento de ferramentas, como por exemplo, as alterações técnicas para um processo mais econômico, redução de estoques, bem como com a diminuição de paradas por preparação de máquinas, que conforme visto nos levantamentos realizados no início do trabalho, juntamente com as trocas e ajustes de ferramentas, são os grandes responsáveis pela maioria das paradas de máquinas do setor estudado. Estas importantes mudanças impactaram fortemente nos resultados do setor, conforme pode ser observado na seqüência, provando que nos processos de alta produção, como neste caso de usinagem de uniões de Ferro Fundido Maleável Preto, os tempos de paradas de máquinas dedicados às ferramentas de usinagem e dispositivos de fixação e alimentação, estão fundamentalmente ligados ao índice de produtividade.

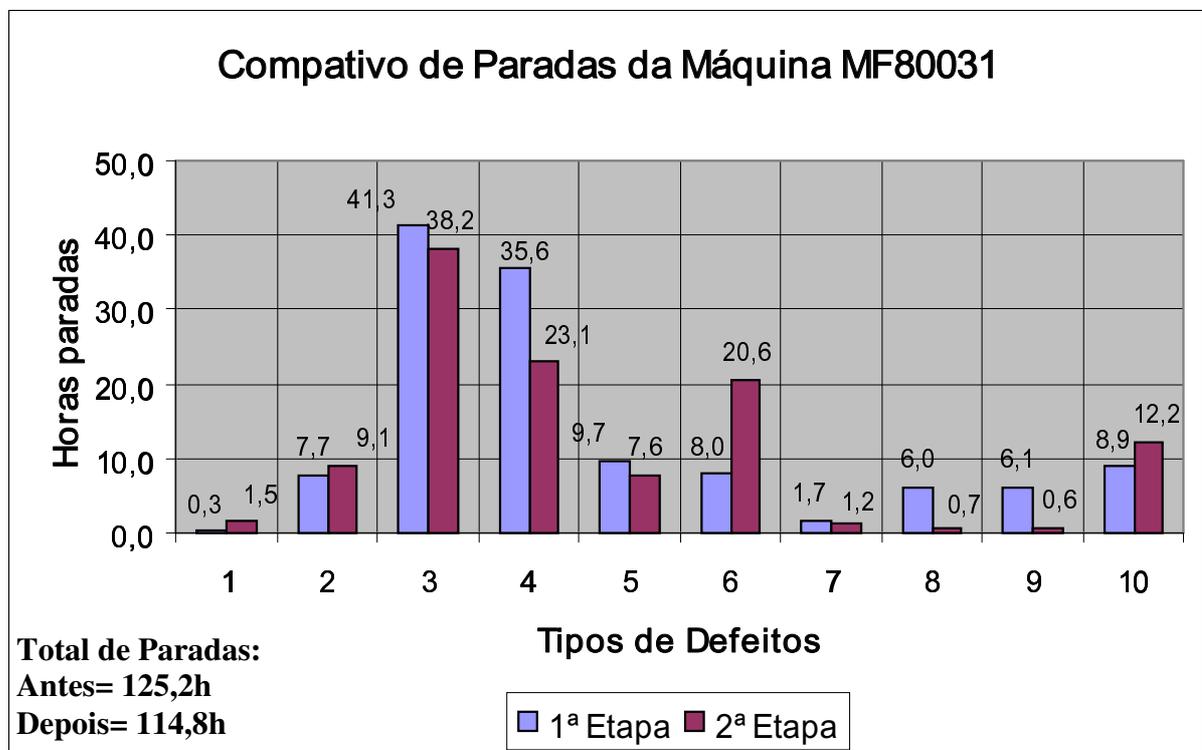
## **5.6 – Resultados Obtidos com as Alterações no Processo de Usinagem de Uniões**

Após concluída as alterações no processo de usinagem de uniões fabricadas em Ferro Fundido Maleável Preto, analisou-se novamente as paradas de máquinas durante um período

de três meses, sendo eles, abril, maio e junho de 2006. Mantiveram-se os mesmos critérios utilizados no início do trabalho. Com essa análise posterior às alterações, pôde-se observar os efeitos causados por elas sobre o desempenho do processo de usinagem de uniões em Ferro Fundido Maleável Preto, cujos resultados são apresentados e discutidos a seguir.

### 5.6.1 – Determinação das Paradas de Máquinas Resultantes

Nas Figuras 5.26 a 5.31, são apresentados os comportamentos mensais das paradas para as máquinas Multi-fuso. Já as Figuras 5.32 e 5.33 são referentes aos Tornos CNCs, e por último, a Figura 5.34 representa o comportamento do Centro de Usinagem CNC. As figuras estão apresentadas comparando-se a 1ª e a 2ª etapa do trabalho para melhor observar o quanto os valores se alteraram em relação ao primeiro resultado. Lembrando que os valores exibidos são referentes à média de paradas durante o período de 3 meses de acompanhamento, que foram abril, maio e junho de 2006. Deve-se ainda salientar que as atenções devem ser focadas principalmente nas diferenças de tempos relacionadas às ferramentas e dispositivos de usinagem, que são os ajustes e trocas de ferramentas (Códigos 2 e 3) e a preparação de máquinas (Código 4).



**Figura 5.26 – Paradas da Máquina MF80031 Antes e Depois das Alterações de Processo**

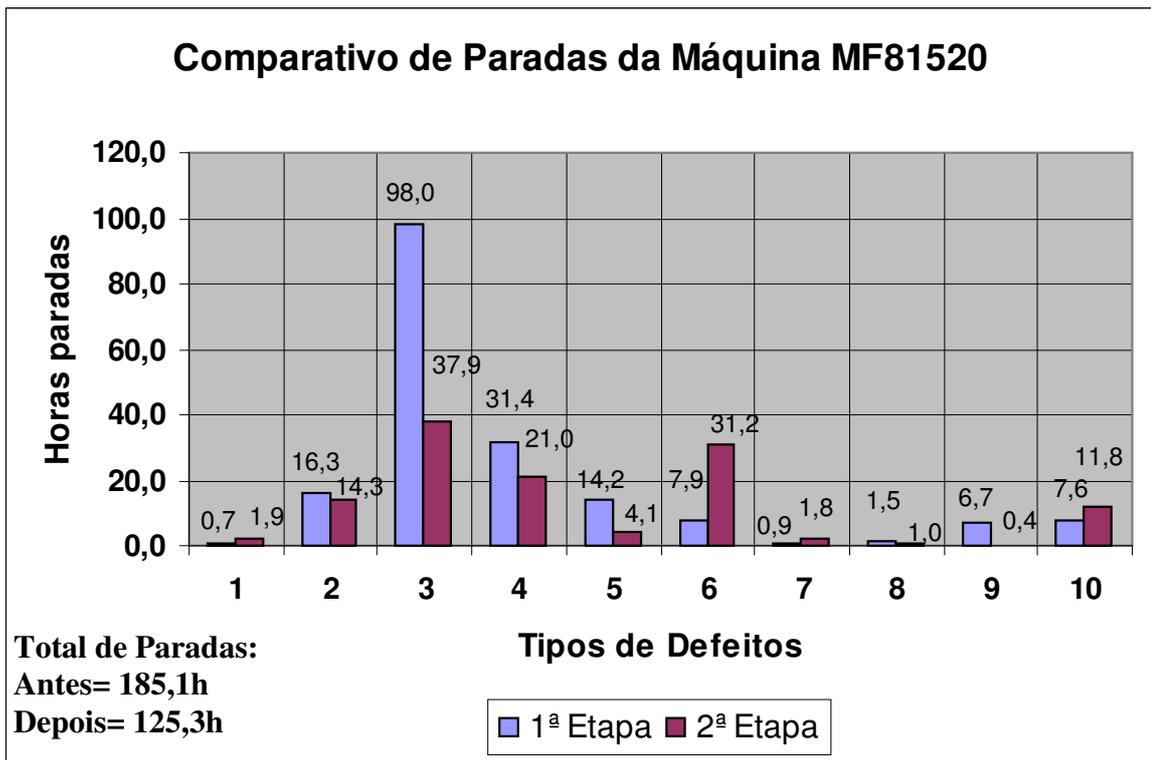


Figura 5.27 – Paradas da Máquina MF81520 Antes e Depois das Alterações de Processo

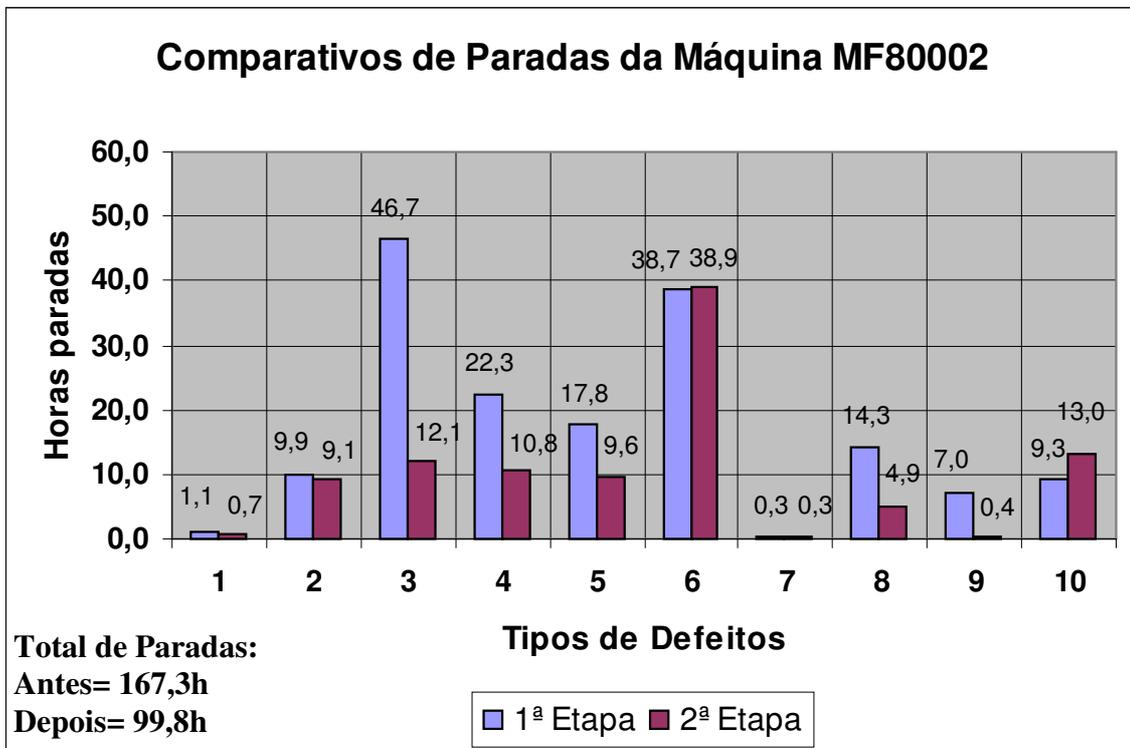


Figura 5.28 – Paradas da Máquina MF80002 Antes e Depois das Alterações de Processo

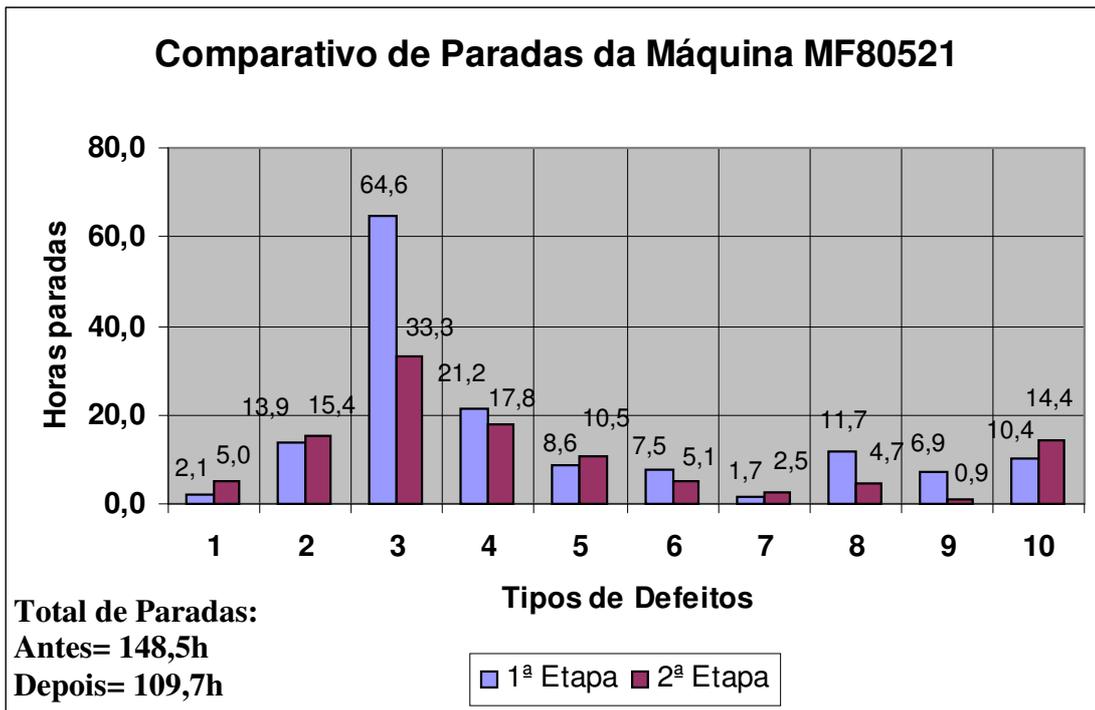


Figura 5.29 – Paradas da Máquina MF80521 Antes e Depois das Alterações de Processo

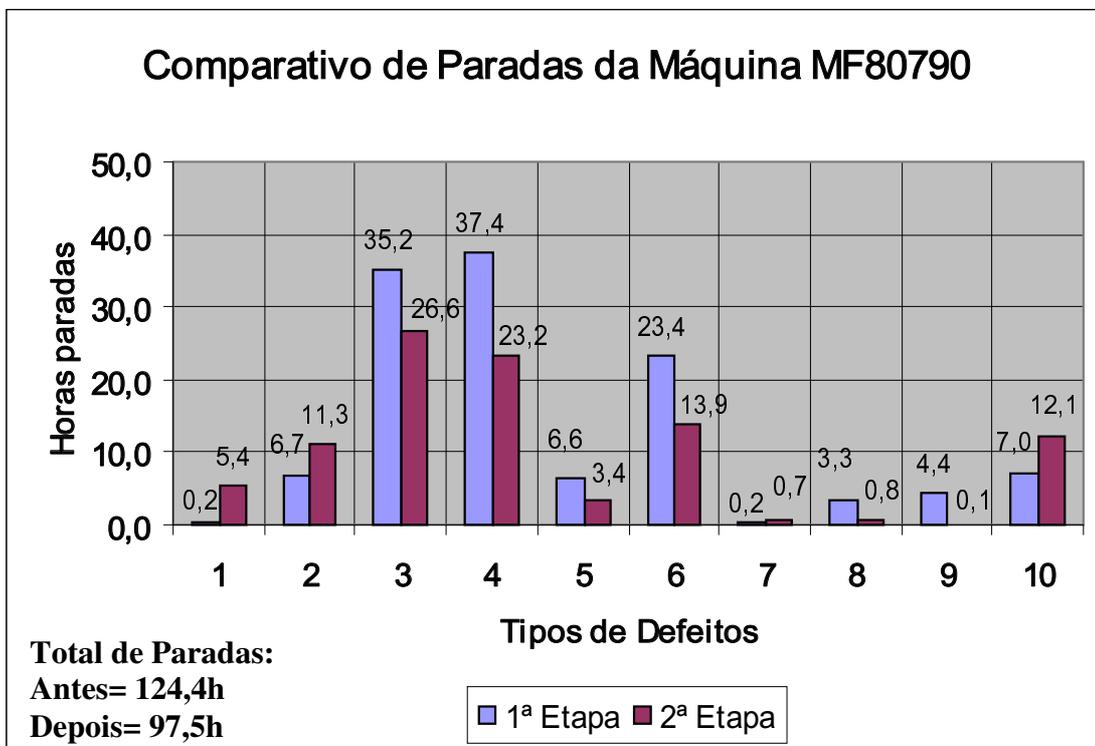
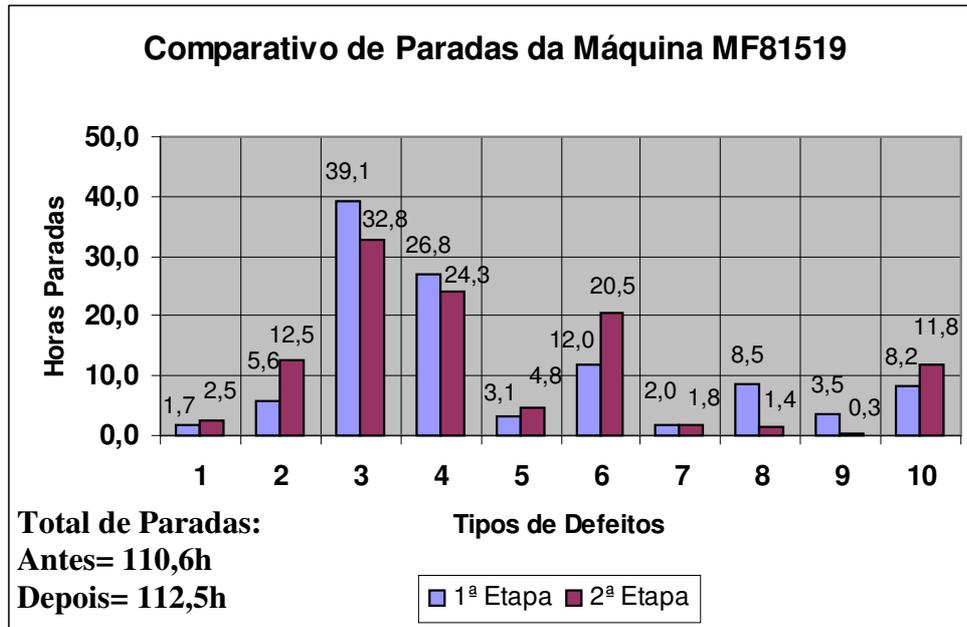


Figura 5.30 – Paradas da Máquina MF80790 Antes e Depois das Alterações de Processo



**Figura 5.31 – Paradas da Máquina MF81519 Antes e Depois das Alterações de Processo**

Para melhor compreender o quanto representaram as alterações de processo para os meses de análise da 1ª e da 2ª etapa, têm-se a seguir, na Tabela 5.7, os comparativos entre esses 2 momentos, concentrados nos motivos de paradas ajuste de ferramentas (2), troca de ferramentas (3) e preparação de máquina (4).

**Tabela 5.7 – Comparativo de Paradas das Máquinas Multi-fuso**

	Somatório médio de paradas na 1ª Etapa (h)	Porcentagem de parada relacionada a horas disponíveis na 1ª etapa (538,8h) em média (%)	Somatório médio de paradas na 2ª Etapa (h)	Porcentagem de parada relacionada a horas disponíveis na 2ª etapa (508,5h) em média (%)
Ajuste de Ferramentas (Código 2)	10,0	1,9	12,0	2,4
Troca de Ferramentas (Código 3)	54,2	10,1	30,2	5,9
Preparação de Ferramentas (Código 4)	29,1	5,4	20,0	3,9
<b>Somatório da Porcentagem total de paradas devido aos motivos 2, 3 e 4</b>		<b>17,3</b>		<b>12,2</b>
<b>Redução total de paradas em porcentagem (%)</b>		<b>5,1</b>		

De acordo com os resultados das alterações de processo referentes às máquinas Multi-fuso demonstrados nas Figuras 5.26 a 5.31 e na Tabela 5.7, percebe-se claramente que estes foram bastante significativos principalmente nos códigos de paradas 3 e 4, que são troca de ferramenta e preparação de máquinas (*setup*). Na troca de ferramentas (Código 3), a média de horas paradas das máquinas baixou de 10,1% do total de horas disponíveis de trabalho para 5,9%, isso significa uma redução de aproximadamente 4,2% do tempo perdido em paradas de máquinas relacionadas à troca de ferramentas. Em relação às paradas devido à preparação de máquinas, na 1ª etapa estas representavam 5,4% do tempo total disponível para a operação, baixando para 3,9%, com uma redução de aproximadamente 1,5% de tempo perdido em paradas por preparação de máquinas.

O motivo de parada denominado ajuste de ferramenta (código 2) aumentou em média de 1,9% para 2,4% relacionado ao tempo total disponível, representando 0,5% a mais do valor obtido na 1ª etapa do estudo. Este aumento se dá em virtude da adaptação dos preparadores de máquinas às novas ferramentas, pois, até a adaptação ser completa, um certo tempo é despendido. Contudo, acredita-se que a tendência é este motivo de parada diminuir à medida que as adaptações dos preparadores de máquinas com os novos dispositivos de usinagem aumentem. Além do mais, como os valores de paradas de máquinas devido aos ajustes de ferramentas são consideravelmente menores que os tempos de paradas relacionados à troca de ferramentas e preparação de máquinas, tal aumento não teve grandes impactos negativos no resultado do estudo.

Deve-se destacar também que, de uma forma geral, conforme Tabela 5.7, as alterações feitas em ferramentas e dispositivos de usinagem diminuíram as paradas relacionadas a ajustes e trocas de ferramentas e preparação de máquinas em aproximadamente 5,1%. Isso se deve sobretudo à eficiência das alterações realizadas nos dispositivos de usinagem apresentadas anteriormente. Para o setor de Usinagem de Uniões, essas alterações representam um grande avanço em termos de produção e eficiência das máquinas, pois, como estas são extremamente produtivas, com a diminuição dos tempos de parada, a produção pode atender melhor as exigências do *Lean Manufacturing*, especialmente relacionadas às trocas rápidas de ferramentas e dispositivos de usinagem, não necessitando assim de grandes lotes de produção, já que as máquinas conseguem fazer paradas mais rápidas fabricando em pequenos lotes apenas o necessário para atender as demandas dos clientes.

Na seqüência, está demonstrado o comportamento dos tornos CNCs após as alterações de processo, conforme Figuras 5.34 e 5.35.

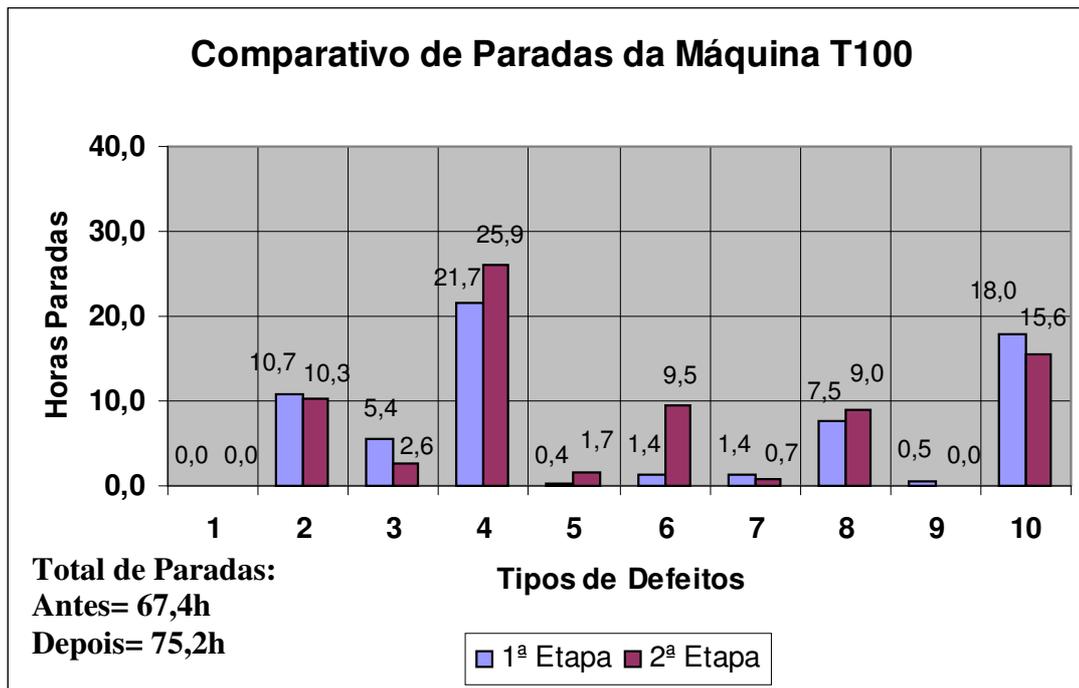


Figura 5.32 – Paradas da Máquina T100 Antes e Depois das Alterações de Processo

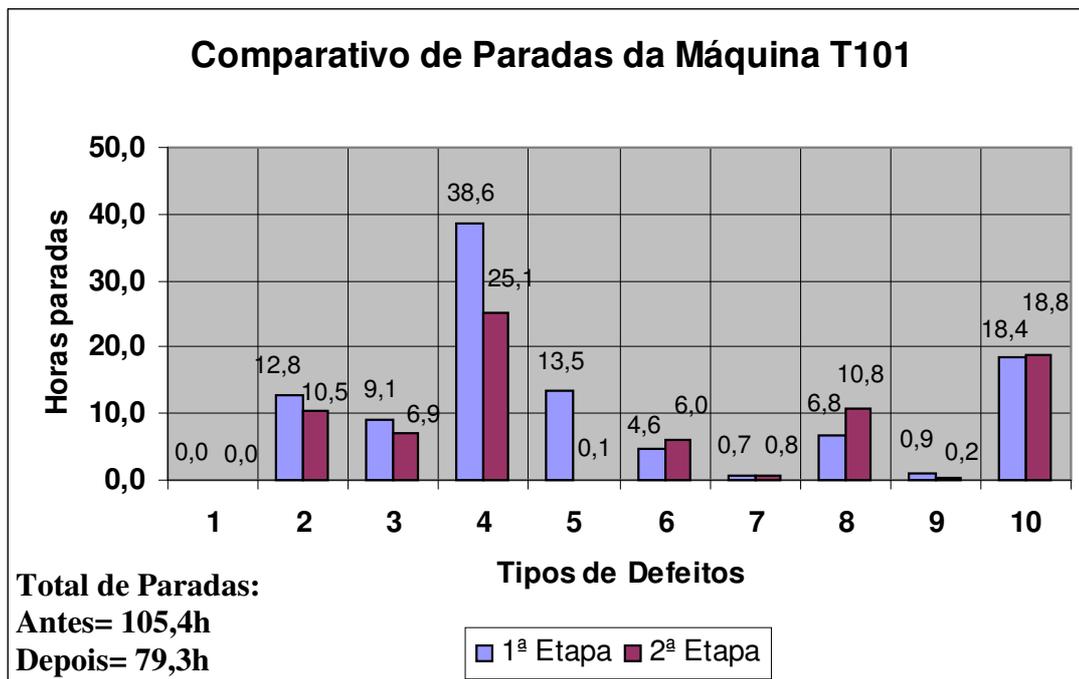
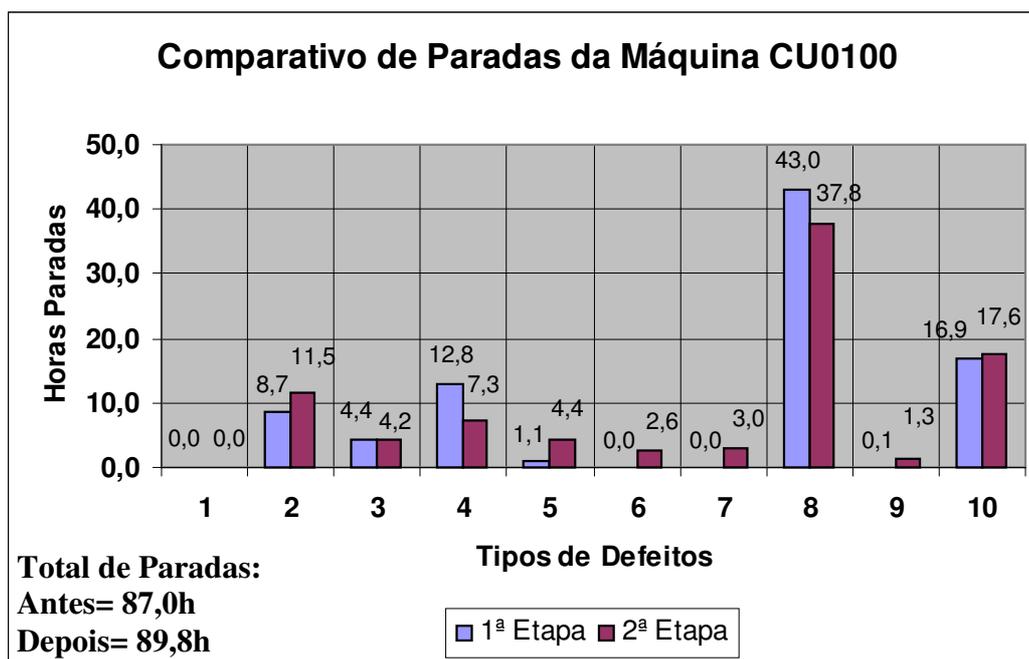


Figura 5.33 – Paradas da Máquina T101 Antes e Depois das Alterações de Processo

Quanto aos Tornos CNCs, observa-se uma melhora nos itens relacionados à troca e ajustes de ferramentas, códigos de paradas 2 e 3. Isso se deve às alterações em termos de vida dos insertos, segundo demonstrado no capítulo 5.5.3. Já o código de parada 4 (Preparação de

Máquinas (*setup*) na máquina T100 piorou devido a problemas de alinhamento desta máquina que ocasionaram, conseqüentemente, uma parada maior em razão de problemas mecânicos (código 6), conforme Figura 5.32. Já a máquina T101 teve uma melhora no código de parada 4 devido a um trabalho de conscientização feito com os operadores de máquinas, de modo a deixar claro que, como o setor já trabalhava praticamente com sua capacidade máxima e havia a necessidade de produzir mais peças, cada segundo ganho em preparação, ajustes ou trocas de ferramentas era de fundamental importância para os resultados do setor, criando-se assim uma mentalidade de evitar ao máximo as paradas de máquinas. Além da conscientização dos operadores de CNCs, o gerenciamento de ferramentas e a mudança de alguns insertos e suportes de ferramentas também contribuíram para a diminuição desse motivo de parada da máquina. Acredita-se que, com a solução dos problemas principalmente de alinhamento da máquina T100, a preparação de máquinas nesta também terá o mesmo resultado que no Torno T101.

A seguir, está demonstrado o comportamento do Centro de Usinagem CNC após as alterações de processo, de acordo com a Figura 5.34.



**Figura 5.34 – Paradas da Máquina CU0100 Antes e Depois das Alterações de Processo**

Nesta máquina, como praticamente não se alterou o processo de usinagem, pois o maior problema não está em ferramentas, e sim na falta de peças devido à demanda que essa máquina produz, os valores de horas paradas envolvendo ferramentas e até as paradas como

um todo da máquina praticamente não se alteraram. Portanto, o índice de produtividade do setor quase não será afetado pelo desempenho da referida máquina.

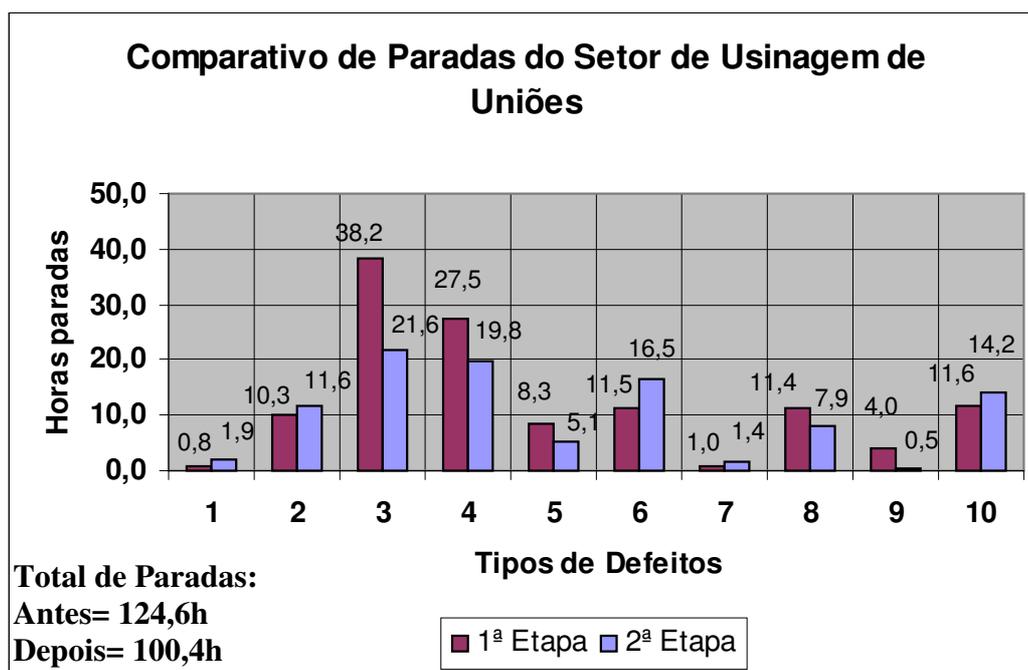
Lembrando que, para esses resultados de acompanhamento acima, as horas disponíveis para se trabalhar em 3 turnos, baseado nos dados fornecidos pela empresa, estão representadas na Tabela 5.8 na seqüência:

**Tabela 5.8 – Tempo Disponível de Trabalho nos 3 Meses de Acompanhamento Após Alterações de Processo**

	abril/06	maio/06	junho/06	MÉDIA
<b>Horas disponíveis</b>	<b>462,5</b>	<b>542,9</b>	<b>520,2</b>	<b>508,5</b>

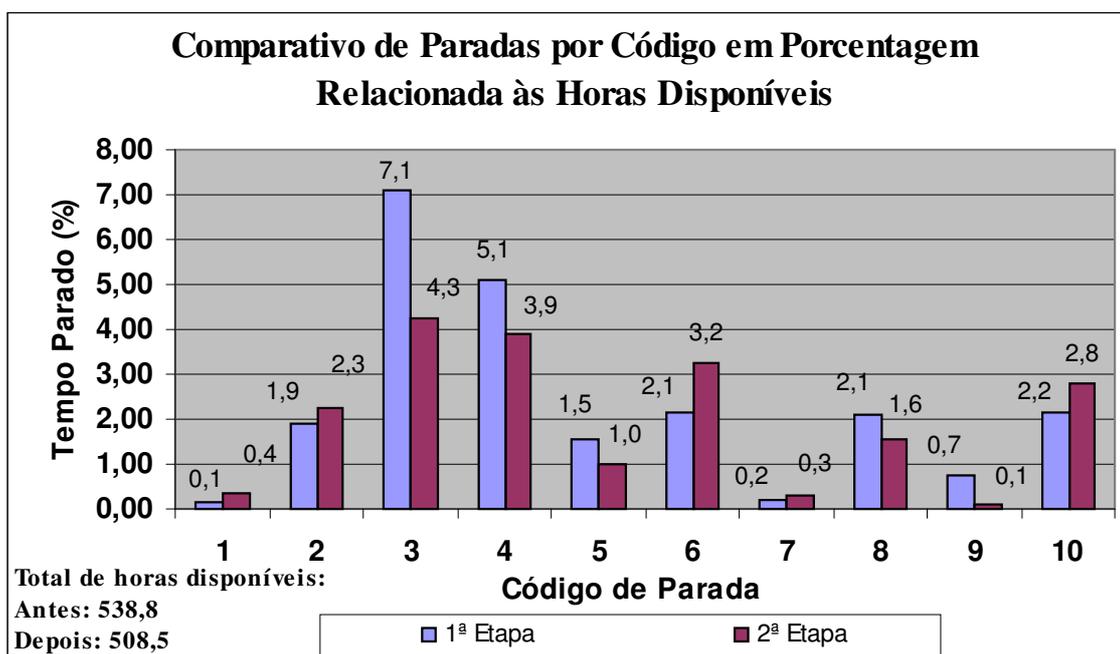
### 5.6.2 – Tempos de Paradas Gerais do Setor

A Figura 5.35 apresenta o resultado do setor como um todo, tratando as máquinas CNCs e Multi-fuso juntas, visto que agora o objetivo é obter os dados para o cálculo do novo índice de produtividade geral do setor, após realizadas as alterações de processo focadas em ferramentas e dispositivos de usinagem. Por conseguinte, considerando-se a nova média de horas de máquinas paradas no setor e fazendo-se um comparativo com a média anterior às alterações, tem-se o seguinte resultado:



**Figura 5.35 – Comparativo de Paradas no Setor de Usinagem de Uniãoes Referentes às Alterações no Processo de Usinagem**

Em porcentagem, os tempos de paradas ficaram distribuídos da seguinte maneira, como demonstrado na Figura 5.36:



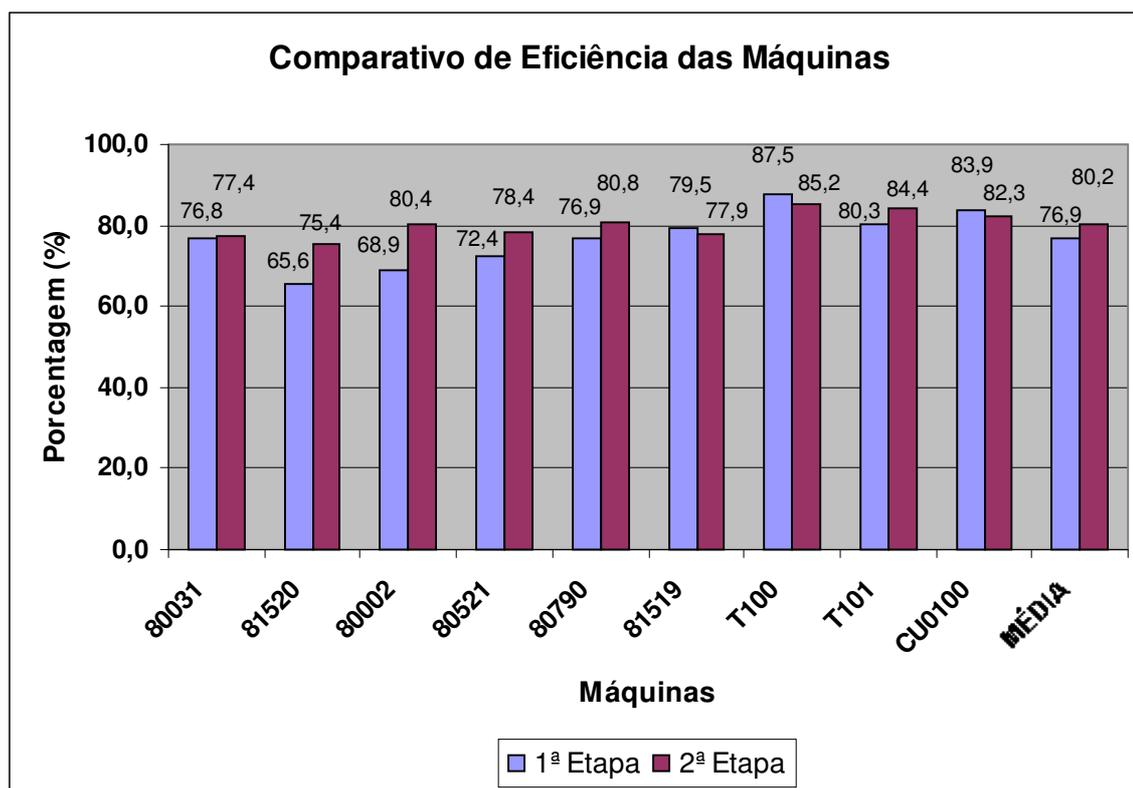
**Figura 5.36 – Comparativo de Paradas em Porcentagem do Setor de Usinagem de União Referentes às Alterações de Processo**

Analisando, portanto, as Figuras 5.35 e 5.36, nota-se claramente que houve uma redução nas paradas de máquinas relacionadas aos códigos 3 e 4 (Troca de ferramentas e Preparação de Máquinas(*setup*)) no setor de usinagem de uniões como um todo. Já o código 2 (Ajuste de Ferramenta) não teve uma melhora, porém ficou praticamente em linha com o resultado anterior, sendo que os ajustes de ferramentas são dependentes das habilidades dos preparadores de máquinas que, por sua vez, ainda não estavam completamente familiarizados com as novas ferramentas e dispositivos, ocasionando uma parada maior de máquinas para os ajustes de ferramentas. Acredita-se que, com o passar do tempo, esta parada de máquina também diminuirá conforme as outras que envolvem ferramentas e dispositivos de usinagem.

Apesar das paradas de máquinas por ajuste de ferramentas não terem diminuído, os demais motivos de paradas envolvendo ferramentas e dispositivos de usinagem (códigos 3 e 4) tiveram uma redução considerável. As paradas por troca de ferramentas diminuíram praticamente 2,8% em relação à 1ª etapa e as paradas por preparação de máquinas diminuíram aproximadamente 1,2%, fazendo com que este resultado influencie fortemente no desempenho do setor. Posteriormente será apresentado o quanto esta diminuição dos tempos de paradas influenciou na quantidade de peças produzidas pelo setor, representado neste

trabalho pela quantidade em toneladas de peças produzidas. Este valor em toneladas é retirado do sistema de controle interno da empresa que representa o quanto foi produzido durante o período em análise.

Após determinados os tempos de paradas das máquinas, pôde-se calcular, segundo o capítulo 5.1, o índice de eficiência das máquinas. O resultado está representado na Figura 5.37 em forma de comparativo com a situação anterior às alterações de processo de usinagem:



**Figura 5.37 – Comparativo de Eficiência das Máquinas Antes e Depois das Alterações**

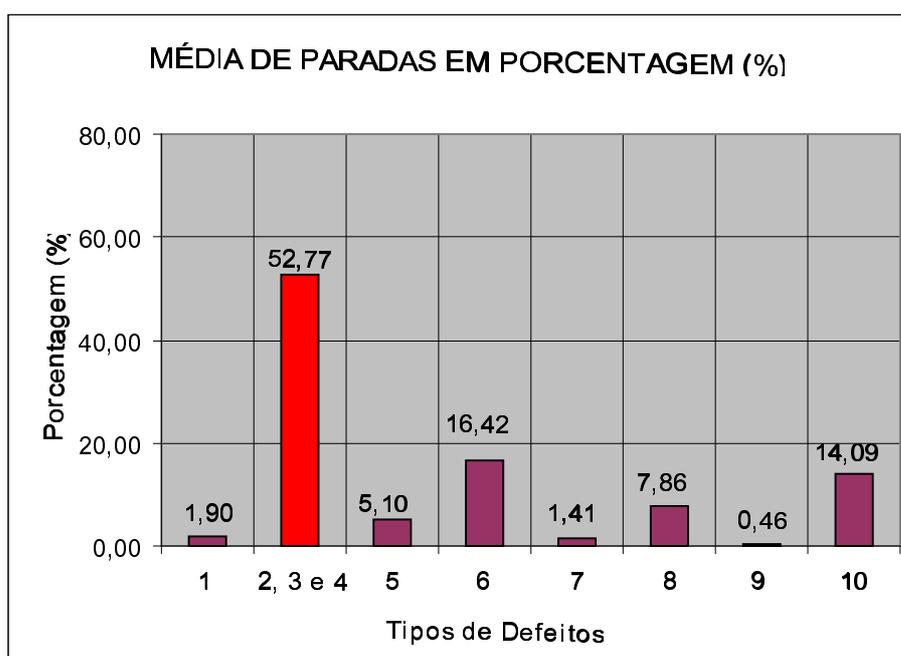
Analisando a Figura 5.39, percebe-se que houve um aumento na eficiência de 6 máquinas, que foram a MF80031, MF81520, MF80002, MF80521, MF80780 e T101 e, por outro lado, uma pequena queda nas máquinas MF81519, T100 e CU0100. De uma forma geral, diferentemente da primeira análise feita na 1ª etapa do estudo, a eficiência das máquinas se equiparou e aumentou mais devido às alterações de processo que causaram uma diferença menor das eficiências, pois, com a análise da 2ª etapa de trabalho, praticamente todas as máquinas estão com sua eficiência entre 75% e 85%, enquanto que anteriormente estas ficavam entre 65 e 85%. Esta maior homogeneidade das eficiências é resultado das alterações e principalmente da padronização das operações, como preparação de máquinas e trocas de ferramentas, já que, quando cada preparador faz do seu jeito, existe a tendência de maior perda de tempo, como se pode observar nos resultados das análises feitas na 1ª etapa.

Justifica-se o fato de algumas máquinas terem ficado com um valor menor de eficiência, o aumento dos tempos de paradas referentes a outros motivos como manutenção mecânica (6), por exemplo. Isto ocorre, uma vez que as máquinas que estavam com a eficiência em torno de 80% não paravam tanto por motivos de ferramentas e dispositivos de usinagem quanto aquelas com tempos de paradas inferiores a 77,0%. Sendo assim, para aumentar ainda mais as eficiências das máquinas, seriam necessárias análises referentes a outros tipos de paradas ou novas análises em ferramentas com investimentos maiores e modificações mais radicais nas máquinas.

Portanto, na média, a eficiência das máquinas do setor analisado passou de 76,9% para 80,2%, aumentando em 3,3%. Isso representa um aumento em horas trabalhadas e, conseqüentemente, em peças produzidas influenciando diretamente o índice de produtividade do setor, que será apresentado na seção 5.6.4.

### 5.6.3 Paradas que Envolvem Ferramentas e Dispositivos de Usinagem

A Figura 5.38 a seguir mostra o quanto as paradas de máquinas referentes a ferramentas e dispositivos de usinagem influenciaram nas paradas totais do setor, após as alterações do processo, ou seja, na 2ª etapa de análise, lembrando que, para isso, foram somadas as porcentagens de paradas referentes aos códigos 2, 3 e 4, que são ajustes e trocas de ferramentas e preparação de máquinas (setup).



**Figuras 5.38 – Paradas Relacionadas a Ferramentas e Dispositivos de Usinagem Após Alterações**

Logo, há uma diminuição referente aos motivos de paradas que envolvem ferramentas e dispositivos de usinagem mostrando os resultados das alterações de processo, pois anteriormente os motivos de paradas 2, 3 e 4 eram responsáveis por 61,0% do total de paradas das máquinas e agora diminuíram para 52,8%, numa redução total de 8,2% dessas causas de paradas.

#### 5.6.4 – Determinação do Índice de Produtividade Final

Como as paradas de máquinas já foram devidamente analisadas, precisa-se agora determinar os demais valores para o cálculo do Índice de Produtividade Final e compará-lo com o Inicial, obtendo-se, então, o quanto este trabalho contribuiu para a produtividade.

Para tanto, fez-se também um levantamento do número de pessoas que trabalharam no setor e a quantidade de peças em toneladas produzidas durante os 3 meses posteriores às alterações do processo de usinagem de uniões.

Estes números, assim como os determinados anteriormente, foram retirados do sistema interno da empresa baseado no fechamento do balanço dos meses, conforme calculado pelo setor de Controladoria, garantindo assim a veracidade das informações. A Tabela 5.9 mostra o número de pessoas que trabalharam no setor e a 5.10, a quantidade de peças em toneladas produzidas nos meses de acompanhamento, que foram abril, maio e junho de 2006.

**Tabela 5.9 – Pessoas que Trabalharam no Setor de Usinagem de Uniões Após Alterações**

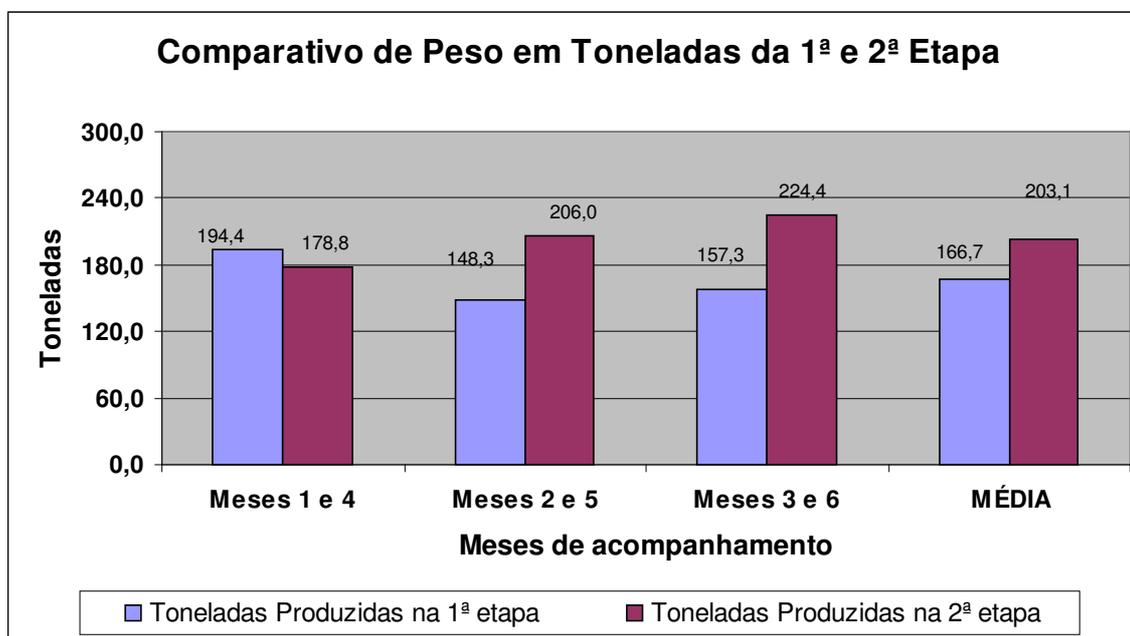
<b>Número de Pessoas envolvidas no processo (2ª etapa)</b>			
<b>Abril/06</b>	<b>Maiio/06</b>	<b>Junho/06</b>	<b>MÉDIA</b>
<b>38</b>	<b>38</b>	<b>38</b>	<b>38</b>

**Tabela 5.10 – Toneladas Fabricadas no Setor de Usinagem de Uniões Após Alterações**

<b>Produção 2ª Etapa (toneladas/mês)</b>			
<b>Abril/06</b>	<b>Maiio/06</b>	<b>Junho/06</b>	<b>Média</b>
<b>178,8</b>	<b>206,0</b>	<b>224,4</b>	<b>203,1</b>

Verifica-se que o número de pessoas não se alterou dos 3 primeiros meses até os meses de análise das alterações do processo de usinagem.

Em relação à quantidade de peças fabricadas em toneladas, teve-se um aumento de 21,8%. A Figura 5.39 destaca os acompanhamentos mensais das toneladas fabricadas no setor.



**Figura 5.39 – Comparativo de Tonelagem do Setor de Usinagem de Uniãoes**

A diferença existente entre um mês e outro de produção é devido à diferença sobretudo do mix de produção de peças, ou seja, no mês que são fabricadas mais peças grandes, conseqüentemente estas são mais pesadas e influenciarão para mais o balanço final de peso do setor, pois, para fabricar uma peça que pesa 300g e outra que pesa 900g, o tempo de usinagem é praticamente o mesmo, sendo assim, aquela de 900g influenciará para mais o peso produzido pelo setor. Para minimizar este efeito é que foram acompanhadas durante um período de 3 meses as toneladas produzidas pelo setor, uma vez que nesse período passaram praticamente todos os tipos de peças que são fabricadas, tirando-se então uma média para obter com maior exatidão o índice de produtividade.

Na Tabela 5.8, tem-se a média de horas de trabalho disponíveis para o setor durante os 3 meses de acompanhamento, que foi de 508,5 horas.

Com os dados das tabelas 5.8 (horas disponíveis), 5.9 (tonelagem média de peças produzidas) e 5.10 (pessoas disponíveis), pode-se calcular o índice de produtividade após as mudanças de processos, conforme equação 4.1:

$$\text{Índice de Produtividade} = \frac{h_{\text{disp}} \times t}{H}$$

$$\text{Índice de Produtividade Final} = 2717,8 \frac{h \times t}{H}$$

Como visto na página 75, o Índice de Produtividade Inicial, isto é, levantado no início do presente estudo, foi o seguinte:

$$\text{Índice de Produtividade Inicial} = 2363,6 \frac{h \times t}{H}$$

Como objetivo deste trabalho, estabeleceu-se um aumento de 10% no índice de produtividade para o ambiente de estudo em questão. Isto significa que a meta de produtividade a ser alcançada é de:

$$\text{Meta do Índice de Produtividade Final} = 2600,0 \frac{h \times t}{H}$$

Assim, considerando-se a diferença em porcentagem do Índice de Produtividade Inicial e o Índice de Produtividade Final, que é o ganho em produtividade do trabalho em função da realização das alterações de processo de usinagem, tem-se o seguinte resultado:

$$\text{GANHO DE PRODUTIVIDADE} = 14,98\%$$

Portanto a meta estabelecida foi superada ocasionando uma grande conquista além de mostrar que as paradas de máquina ocasionadas por motivos relacionados a ferramentas de corte e dispositivos de fixação e alimentação influenciam fortemente no desempenho de um processo de usinagem.

Além desse ganho em produtividade, pode-se considerar também em valores a margem de contribuição financeira das peças fabricadas a mais, devido ao aumento da capacidade de produção das máquinas. Este cálculo realizado pela área de Controladoria da empresa leva em conta todos os itens de peças fabricados tanto nos 3 meses antes das alterações de processo, quanto nos 3 meses depois, considerando a diferença de peças

produzidas e multiplicando pela margem de contribuição que cada produto representou para a empresa.

O resultado do ganho mensal considerando as demandas médias de produção nos períodos de análise está contido na Tabela 5.11.

**Tabela 5.11 – Ganho Financeiro Decorrente do Presente Estudo**

	<b>1ª Etapa</b>	<b>2ª Etapa</b>
<b>Tonelagem Média de Peças (uniões)</b>	166,69	203,07
<b>Margem de Contribuição Média das Peças (R\$)</b>	989.029	1.071.205
<b>Diferença em Tonelagem</b>	+ 36,38	
<b>Ganho Financeiro Adicional (R\$/mês)</b>	<b>82.175,98</b>	

Portanto, com o aumento da produtividade, tem-se, conseqüentemente, um aumento na capacidade produtiva que, aliado ao maior volume de produção das peças, gera um lucro maior para a empresa. Lembrando, é claro, que esse lucro somente tem sentido levando em conta que todas as peças fabricadas serão vendidas, pois não adianta fabricar mais se não há demanda de venda e criar estoque, pois este, segundo a filosofia *Lean*, deve ser o menor possível, apenas para atender o cliente no momento em que ele precisar do produto.

Os resultados obtidos por esta pesquisa mostram que a afirmação feita por Harmon e Peterson (1997), Schonberger (1988) e Plute (1998), que os principais motivos de perda de produtividade na fábrica estão relacionados à manutenção, organização das linhas, preparação de máquinas (*setup*) e gerenciamento de ferramentas, realmente está correta. Chega-se a esta conclusão, já que, de acordo com os resultados obtidos pelo trabalho, em que foram analisadas principalmente as preparações de máquinas e troca de ferramentas, obteve-se um aumento da produtividade do setor em 14,98%, além de um incremento na produção de 21,8% sem adquirir novas máquinas ou alterar o número de pessoas, apenas trabalhando-se em alterações de processo que demandavam um tempo excessivo e comprometiam a produtividade do setor.

## 6. CONCLUSÃO

Realizado o estudo de melhoria da produtividade no setor de usinagem de uniões fabricadas em Ferro Fundido Maleável Preto, pode-se afirmar que, diminuindo as paradas de máquinas que envolvem ferramentas de corte e dispositivos de usinagem como ajustes, trocas e preparações de máquinas, o valor do índice de produtividade se altera significativamente, pois, na realização deste trabalho, o índice aumentou em 14,98%. Assim, os trabalhos que envolvem alterações em ferramentas e dispositivos de usinagem se tornaram de fundamental importância para o desempenho do setor e da empresa em questão.

As alterações que envolvem o gerenciamento de ferramentas e a organização na fábrica, como o sistema de controle de ferramentas apresentado no capítulo 5.4, ajudam a evitar os desperdícios como a criação de grandes estoques de ferramentas desnecessárias à empresa, ou então a falta destas, que podem ocasionar paradas de máquinas causando grandes transtornos para a produção.

Outras modificações como a implantação do cabeçote de troca rápida e o sistema de alimentação nas máquinas multi-fuso, além da utilização de 2 preparadores para fazer o *setup* das máquinas, aumentaram a eficiência do setor em 3,3%, ou seja, cada máquina trabalha em média mais 3,3% do tempo programado, conseqüentemente produz mais e melhora o índice de produtividade do setor. Além disto, essas alterações reduzem a estafa dos preparadores de máquinas devido a melhor ergonomia e conforto para executar as tarefas de preparação. Essas mudanças estão de acordo com o proposto pela teoria de preparação de máquinas e o gerenciamento de ferramentas que defendem a diminuição dos *setups* e ajustes de ferramentas como fundamentais para o desempenho adequado dos processos de usinagem.

As mudanças de processo referentes ao aumento de vida dos insertos, capítulo 5.5.3, e a utilização dos machos de rosca com revestimento TiN, capítulo 5.5.2, aumentaram a produção das máquinas, uma vez que estas param menos por motivo de troca de ferramentas devido à vida dessas ser prolongada, e no caso dos machos com revestimento TiN, a velocidade de corte ainda pôde ser aumentada e, com isso, a quantidade de peças produzidas também aumentou.

Com relação ao aumento da produção, deve-se tomar cuidado, já que não se deve aumentar os estoques de peças fabricadas, pois este aumento ocasiona desperdício em virtude da matéria-prima parada e uso de recursos sem geração de fluxo de caixa, o que contraria totalmente a filosofia *Lean*.

Como neste trabalho foram focadas as alterações de processo em termos de ajustes e trocas de ferramentas e preparação de máquina, na seqüência têm-se as conclusões referentes a cada motivo de parada.

1) Em relação às paradas por Ajuste de Ferramentas:

No caso das máquinas CNCs, o ajuste das ferramentas é facilmente corrigido pelos parâmetros de correção da máquina sem a necessidade do operador ou preparador de ferramentas, com raras exceções, ajustar fisicamente a ferramenta no suporte. A melhor maneira de minimizar este motivo de parada é aumentando a vida das ferramentas, diminuindo assim a frequência de paradas por ajuste. No caso das máquinas Multi-fuso, a correção é mais difícil de ser feita, pois não há como alterar o posicionamento das ferramentas através de parâmetros de máquina. Então, neste caso, a correção deve ser feita direto no cabeçote ou no suporte da ferramenta de usinagem. Como o acesso às ferramentas nas máquinas Multi-fuso é dificultado pela forma construtiva da máquina, além de existirem mais insertos simultâneos para usinagem das peças, este tempo de parada é maior que os das CNCs. Por isso, sempre que se planeja utilizar uma máquina Multi-fuso para determinado tipo de usinagem, é preciso levar em conta esses fatos, visto que, apesar das máquinas produzirem praticamente o triplo de uma convencional CNC, existe a limitação em acesso para ajustes das ferramentas, o que torna esta operação mais demorada que em uma máquina CNC convencional. A solução para minimizar as paradas por ajuste de ferramentas nas máquinas Multi-fuso é aumentar a vida dos insertos, diminuindo a frequência das trocas de arestas de corte e garantir que as montagens de cápsulas e insertos sejam bastante rígidos, ou seja, apertar os parafusos com pelo menos o torque mínimo exigido pelo fornecedor das ferramentas, obtendo assim, um corte eficiente, evitando que estas criem folgas e gerem uma parada de máquina para ajuste.

2) Em Relação à Troca de Ferramentas:

Nota-se que as trocas de Ferramentas são os principais motivos de paradas de máquinas, tanto no caso das Multi-fuso quanto nas CNCs. Essas trocas são ocasionadas pelo fim da vida de determinada ferramenta ou então pela quebra de algum componente de usinagem como um cabeçote, suporte ou macho de rosca. Assim como para o ajuste de ferramentas, para minimizar as paradas devido a esta operação, deve-se também tentar

umentar a vida da ferramenta, mas principalmente fazer com que a troca seja feita da forma mais rápida, como nos cabeçotes de troca rápida, por exemplo. Os suportes de ferramentas e demais dispositivos devem ser projetados de maneira a sempre facilitar sua troca. Além disso, pode-se utilizar alguns dispositivos e métodos para efetuar a troca de ferramentas com facilidade como parafusadeiras pneumáticas, ferramentas múltiplas para soltar ou apertar porcas e parafusos ou ainda posicionar os acessórios necessários à troca de ferramentas em locais estratégicos, evitando, desta forma, o desperdício de tempo em movimentação durante a troca de ferramenta. A única exceção a esta regra é o Centro de Usinagem que possui um magazine porta ferramentas, onde a troca pode ser feita mesmo com a máquina em operação desde que exista uma ferramenta reserva posicionada.

### 3) Em relação à Preparação de Máquinas (*setup*):

O *setup* das máquinas CNCs é completamente diferente do *setup* das máquinas Multi-fuso. Nas CNCs, como não possuem alimentadores e o acesso aos parafusos, dispositivos de fixação e às ferramentas é facilitado, as trocas são mais práticas e rápidas que nas máquinas Multi-fuso, portanto, o mais importante, neste caso, é ter os dispositivos alocados próximos à máquina no momento em que o lote da peça que está em produção acabar para que esta possa ser trocada rapidamente. Por outro lado, nas Multi-fuso, como os acessos são mais complexos, deve-se deixar as ferramentas e dispositivos adequadamente preparados e ajustados antes das trocas, isto é, enquanto a máquina ainda estiver produzindo a peça correspondente as trocas que serão efetuadas. O importante, nesse caso, é evitar os ajustes de ferramentas, dispositivos de fixação e alimentação na máquina, e sim fora dela.

Para o processo de usinagem de uniões em Ferro Fundido Maleável Preto, como é um processo de alta produção, deve-se ter uma atenção especial a respeito de ferramentas e dispositivos de fixação e alimentação, pois os tempos de máquinas paradas devido a esses motivos influenciam muito na produtividade. Os pensamentos e as estratégias *Lean* e *Kaizen* para melhorias do processo de produção têm fundamental importância para a fabricação enxuta na usinagem, já que visam sobretudo menores estoques, identificação de desperdícios, como perdas de tempo, de produção das peças ou no controle de estoques dos materiais e ferramentas.

Os trabalhos que objetivam a redução dos tempos de parada das máquinas ou aumento da produção sempre devem ser considerados importantes, quaisquer que sejam as demandas

das peças, visto que, mesmo que a linha de produção não esteja com sua capacidade máxima de utilização, muitas vezes reduzindo-se os tempos de parada e conseqüente aumento da produção, pode-se diminuir um turno de trabalho economizando em energia elétrica, mão-de-obra e demais custos de produção, além, é claro, de melhorar o índice de produtividade da empresa ou do setor.

O aumento no índice de produtividade do setor em 14,98% representou um ganho bastante expressivo para o processo produtivo, pois se teve como conseqüência um aumento na capacidade de fabricação das peças feita por cada máquina. Estas peças produzidas a mais geram um maior fluxo de caixa para a empresa sem a necessidade da compra de novos equipamentos ou aumento da mão-de-obra. Este, portanto, é o principal objetivo das alterações de processo em que o aumento de produtividade do setor ou da empresa como um todo é desejado.

Diante destes importantes resultados e conclusões, pode-se finalizar dizendo que o trabalho proposto atingiu plenamente os seus objetivos.

## 7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A seguir, encontram-se algumas sugestões de trabalhos que poderiam complementar a presente pesquisa:

- Estudo de um *software* específico para gerenciar as ferramentas em processos de alta demanda em número e tipos de peças como o caso estudado neste trabalho ;
- Avaliação de um critério para a determinação do fim-de-vida da ferramenta de corte para as máquinas Multi-fuso;
- Estudar mecanismos de desgaste dos machos de rosca no Ferro Fundido Maleável Preto e selecionar materiais de ferramentas e coberturas que possibilitem uma produção maior de peças;
- Pesquisas sobre o melhor tipo de refrigeração para a fabricação de roscas em conexões de Ferro Fundido Maleável Preto.

## 8. REFERÊNCIAS

- ANUMOLU, BHARAT; SHEWCHUK, JOHN P. Design of a tooling database implementation for an existing facility. Industrial and Systems Engineering Department, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA 24061, USA, 2000.
- BAUER, Martin W.; GASKELL, George. Pesquisa qualitativa com texto, imagem e som. Petrópolis, Rio de Janeiro: Vozes, 2002.
- BERGER, DAVID. Gerenciamento da Mudança. Direitos exclusivos de tradução da Revista Inovação Tecnológica. Artigo publicado originalmente na Revista Advanced Manufacturing em 2001
- BERGER, DAVID. Comunicação: A chave para a manufatura enxuta. Direitos exclusivos de tradução da Revista Inovação Tecnológica. Artigo publicado originalmente na Revista Advanced Manufacturing em março de 2002.
- BOOGERT, R. M. Tool Management in Computer Aided Process Planning. 1994.
- BRAGA, C. E. Gestão da Produtividade, Sistema de Gestão e Vantagem Competitiva. Artigo publicado no site ([www.geranegocio.com.br](http://www.geranegocio.com.br)), 2000.
- CONSALTER, L. A. Desenvolvimento de uma Metodologia para o Gerenciamento de Sistemas de Fixação de Peças em Processos de Usinagem Fundamentado na Padronização e na Modularidade. Florianópolis. Tese (Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.
- CORRÊA, H. L.; GIANESI, IRINEU G. N.; CAON, MAURO. Planejamento, Programação e Controle da Produção: MRP II/ERP: conceitos de uso e implantação. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2001.
- FRANCISCHINI, PAULINO. Crescer em Produção e em Produtividade. Artigo da Revista Eletrônica Usinagem Brasil. São Paulo 2005.
- GIL, ANTÔNIO CARLOS. Métodos e técnicas de pesquisa social. 5. ed. – São Paulo: Atlas, 1999.
- HARMON, ROY L.; PETERSON, LEROY D. Reinventando a fábrica: Conceitos Modernos de Produtividade Aplicados na Prática, Editora Campus. 1997.
- HUNTZINGER, JIM. As Raízes do Lean: Treinamento dentro da Indústria: A Origem do Gerenciamento Japonês e do Kaizen. Tradução: Odier T. S. de Araújo. Artigo publicado no site do Lean Institute Brasil ([www.lean.org.br](http://www.lean.org.br)), 2002.

- JACOBSEN, PAULO. Otimização de custos e produtividade; ilustrações Nani. – Rio de Janeiro: COP Ed., 1987.
- LEVITINAS, LEÔNIDAS. Tempos, Métodos e Produtividade. Apostila do Instituto de Organização Racional do Trabalho – IDORT, São Paulo, SP, 1989.
- MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisas, análise e interpretação de dados. 4. ed. – São Paulo: Atlas. 1999.
- MARTINS, Petrônio G; LAUGENI, Fernando P. Administração da Produção – São Paulo: Saraiva, 2001.
- MINAYO, M. C. de S. O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde. 7. ed. – São Paulo: Hucitec; Rio de Janeiro: Abrasco, 1999.
- MINAYO, M. C. de S. Pesquisa social: teoria, método e criatividade. Maria Cecília de Souza (organizadora). – Petrópolis. Rio de Janeiro: Vozes, 1994.
- MAYNARD, H. B. Manual de Engenharia de Produção; Técnicas de Medida do Trabalho; Tradução de Adilson Simões e Geraldo Oppenheim; Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, Brasil. 1972.
- MORGAN, J.M. High Performance product development: A system approach to a lean product development process. (PhD Dissertation – University of Michigan). Michigan, 2002
- NISHIDA, LANDO T. Como Determinar Metas para Tempo de Setup. Artigo publicado no site do Lean Institute Brasil ([www.lean.org.br](http://www.lean.org.br)), 2005.
- OHNO, TAIICHI. O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala. Tradução: Cristina Schumacher – Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.
- PLUTE, M. Tool Management Strategies. Cincinnati: Hanser Gardner, 1998
- RAMO, SIMON. The management of innovative technological corporations. A Wiley-Interscience Publication. John Wiley & Sons, Inc 1980.
- RIBEIRO, PAULO DÉCIO. Kanban – Resultados de uma implantação bem sucedida. 4ª edição, Rio de Janeiro: COP Editora, 1989.
- RICHARDSON, ROBERTO JARRY. Pesquisa social: métodos e técnicas. Colaboradores: José Augusto de Souza Peres ... (et al.). – São Paulo: Atlas, 1999.
- RAUEN, FÁBIO JOSÉ. Elementos de iniciação à pesquisa. Rio do Sul: Nova Era, 1999.
- RAUEN, FÁBIO JOSÉ. Roteiros de investigação científica. Tubarão: Editora UNISUL, 2002.

- SCHONBERGER, Richard J., Fabricação Classe Universal; As Lições de Simplicidade Aplicadas; Tradução de João Mário Csillag; Editora Pioneira, São Paulo, Brasil. 1988.
- STEVAN, M.S. A Influência da Preparação de Máquinas e Disponibilidade dos Meios de Usinagem sobre a Produção. . Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade de Santa Catarina. Florianópolis, 1999
- TANI, GIOVANNI. Gerenciamento de Ferramentas em sistemas de manufatura equipados com máquinas CNC. Máquinas e Metais, São Paulo, p.46-56, dezembro 1997.
- TUBINO, D. F. Sistema de produção: A produtividade do chão de fábrica. Porto Alegre: Bookman, RS, Brasil, 1999.
- WARD, A. Sistema Lean e Desenvolvimento. Lean Institute Brasil, São Paulo 2003.
- WARD, A.C. The Lean Development Skills Book. Ward Syntesis. (available at [dollarbillbooks.com](http://dollarbillbooks.com)), 2002.
- WEBER, AUSTIN. Estação de Trabalho Lean: Organizada para a produtividade. Tradução: Odier T. S. de Araújo. Artigo publicado no site do Lean Institute Brasil ([www.lean.org.br](http://www.lean.org.br)), 2005
- WOMACK, JAMES; JONES, DANIEL. O que é e os 5 princípios básicos do Lean Thinking. Artigo retirado do site [www.lean.org.br](http://www.lean.org.br), 2002.
- WOMACK, JAMES. Gerenciamento Lean de Informações. Tradução: Christopher Thompson. Artigo publicado no site do Lean Institute Brasil ([www.lean.org.br](http://www.lean.org.br)), 2002.
- YIN, ROBERT K. Estudo de Caso; Planejamento e Métodos; Tradução Daniel Grassi. – 3ª Edição – Porto Alegre – Brasil, Editora Bookman, 2005.

## 9. ANEXOS

## Anexo 1: Amostra de um dia de acompanhamento da produção

<b>ACOMPANHAMENTO DA PRODUÇÃO - USINAGEM DE UNIÕES</b>				
<b>MÁQUINA:</b> <u>81520</u>				
<b>OPERADOR:</b> João		<b>DATA:</b> 12 / 07 / 05		
<b>Turno</b>	<b>Horário da Parada</b>	<b>Código da Parada</b>	<b>Peça em Produção</b>	<b>Horário de Retorno à Produção</b>
6	01:30	3	126100933	01:45
6	03:30	4	126200831	04:30
1	08:00	3	126200831	08:45
1	11:00	2	126200831	11:20
2	15:30	5	126200831	16:45
2	20:30	6	126200831	22:00
<b>Portanto, neste dia os tempos de paradas foram os seguintes:</b>				
Código 2	20 minutos			
Código 3	30 minutos			
Código 4	60 minutos			
Código 5	75 minutos			
Código 6	90 minutos			