

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**

**Ivair Alves dos Santos**

**DMAIC APLICADO À UTILIZAÇÃO RACIONAL DE  
FERRAMENTAS PARA O SETOR DE USINAGEM EM  
INDÚSTRIA DE GRANDE PORTE**

**Taubaté – SP**

**2015**

**Ivair Alves dos Santos**

**DMAIC APLICADO À UTILIZAÇÃO RACIONAL DE  
FERRAMENTAS PARA O SETOR DE USINAGEM EM  
INDÚSTRIA DE GRANDE PORTE**

Dissertação apresentada para obtenção do  
Título de Mestre no Curso Mestrado  
Profissionalizante de Engenharia Mecânica  
do Departamento de Engenharia Mecânica  
da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Engenharia  
Mecânica

Orientador: Prof. Dr. Nivaldo Lemos Coppini

**Taubaté – SP**

**2015**

# Ivair Alves dos Santos

## DMAIC APLICADO À UTILIZAÇÃO RACIONAL DE FERRAMENTAS PARA O SETOR DE USINAGEM EM INDÚSTRIA DE GRANDE PORTE

Dissertação apresentada para obtenção do Título de Mestre do Curso Mestrado Profissionalizante de Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.  
Área de Concentração: Engenharia Mecânica

**Data:** 05/02/2015

**Resultado:** \_\_\_\_\_

### BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Nivaldo Lemos Coppini

Universidade de Taubaté

Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Aluísio Pinto da Silva

Universidade de Taubaté

Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Elesandro Antônio Baptista

Universidade Nove de Julho

Assinatura: \_\_\_\_\_

*Dedico este trabalho à Cristiane, minha esposa, e às  
minhas filhas, Caroline e Giovanna.*

## **AGRADECIMENTOS**

À minha esposa Cristiane e às minhas filhas Caroline e Giovanna, que desde o início estiveram ao meu lado, me incentivando e apoiando.

Ao Professor Dr. Nivaldo Coppini, pela impecável orientação, confiança e incentivo atribuído ao desenvolvimento desta dissertação.

Ao Professor Me. Paulo Lindgren, da UNITAU, que sempre me incentivou nesta caminhada.

À Universidade de Taubaté e Professores, que forneceram todos os recursos e conhecimentos necessários para a minha formação e para realização deste trabalho.

A todas as pessoas que gentilmente colaboraram, respondendo os questionários, e tornaram possível a conclusão deste trabalho.

*“Acho que a base do sucesso em qualquer atividade está primeiro em se ter uma oportunidade, que geralmente aparece não porque você cria o momento, mas porque alguém chega e abre uma porta.”*

**(AYRTON SENNA)**

## RESUMO

Indústrias envolvidas com processos de usinagem estão sempre atentas, no sentido de aumentar a sua competitividade para atender adequadamente a demanda do mercado. Melhor qualidade sobre seus produtos finais e um processo de fabricação mais eficiente são alvos estratégicos de serem atingidos. No caso particular do processo de usinagem em ambiente fabril, existem algumas indústrias que preferem trabalhar com os gestores de ferramentas de usinagem, a fim de controlar a produtividade e os custos do processo. Entretanto, neste trabalho de dissertação, pretende-se sugerir que é essencial ter profissionais contratados diretamente pela empresa, para desempenhar o papel de introdutor de melhorias para o processo de fabricação. Então, seguindo o procedimento da empresa pesquisada, o presente trabalho tem por objetivo propor o uso da metodologia Seis Sigma ( $6\sigma$ ) para a gestão e estratificação dos diferentes mecanismos de desgaste e das diferentes avarias incidentes na aresta de corte de ferramentas durante o processo de usinagem, observados no chão de fábrica em ambiente fabril. O procedimento incluiu também, considerar o comportamento de dispositivos de fixação e peças e ferramentas. Enfim, foram considerados todos os fatores de influência que provocam na retirada prematura da ferramenta da máquina. A metodologia escolhida para a realização dos procedimentos foi o DMAIC (Definir-Medir-Analisar-Implementar-Controlar), que foi o procedimento utilizado pela equipe formada internamente à empresa. Depois da aplicação do DMAIC, foi possível encontrar resultados que mostraram a viabilidade de introdução, na rotina da empresa, de um sistema para controlar os possíveis fatores de influência na falha prematura da ferramenta. Além disso, o trabalho tem também o compromisso de contribuir para a redução de custos e aumento de produtividade dos setores de usinagem avaliados.

**Palavras-chave:** DMAIC; custos; produtividade.

## ABSTRACT

Industries involved in machining processes are always attentive to increase their competitiveness to meet adequately the market's demand. A better quality of their final products and a more efficient manufacturing process are strategic targets to be met. In the particular case of the machining process in a manufacturing environment, there are some industries that prefer to work with the managers of machining tools, in order to control the costs and the productivity of the process. However, this dissertation is intended to suggest that it is essential to have professionals hired directly by the company to play the role of introducer of improvements to the manufacturing process. Then, following this procedure the company studied, this paper aims to propose the use of Six Sigma ( $6\sigma$ ) for the management and stratification of the different wear mechanisms and the different failures incident to the cutting edge of tools during the machining process, observed in the manufacturing shop floor environment. The procedure also included considering the behavior of fixation devices of tools and parts. Finally, we considered all the factors of influence on premature withdrawal of the machine tool. The methodology chosen to carry out the procedures was the DMAIC (Define - Measure - Analyze - Implement - Control), which was the procedure used by the team formed within the company. After the DMAIC application, it was possible to find results that showed the feasibility of introducing, into the routine of the company, a system to control the possible influencing factors in the premature tool failure and, undoubtedly, contribute to the reduction of costs and to increase the productivity of the machining sectors evaluated.

**Keywords:** DMAIC; costs; productivity.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Setores beneficiados com o gerenciamento computadorizado de ferramentas .....	30
Figura 2 - Avarias e suas implicações para o processo de fresamento .....	34
Figura 3 - Ilustrações do desgaste de flanco (a) e dos desgastes de entalhe (b) e (c). Fotos de insertos com os desgastes mencionados.....	35
Figura 4 - Ilustração do desgaste de cratera e foto de inserto com o desgaste de cratera .....	35
Figura 5 - Mecanismos de desgaste e suas implicações para o fresamento .....	36
Figura 6 - Faixas de incidência dos mecanismos de desgastes de acordo com a variação da velocidade de corte.....	37
Figura 7 - Esquema ilustrativo das etapas do método (6 $\sigma$ ) /DMAIC .....	48
Figura 8 - Pareto das quebras incidentes na linha de usinagem do bloco do motor ZETEC ROCAM .....	50
Figura 9 - Medida das quebras incidentes na linha de usinagem do Virabrequim ....	52
Figura 10 - Medida das quebras incidentes na linha de usinagem do Cabeçote ZETEC ROCAM .....	54
Figura 11 - Medida das quebras incidentes do Bloco, virabrequim e cabeçote ZETEC ROCAM.....	56
Figura 12 - Espinha de Peixe, Diagrama de causa e efeito e gráfico de Pareto da linha do bloco – Ferramenta T45 da linha de usinagem do bloco do motor ZETEC ROCAM.....	58
Figura 13 - Gráfico dos números de quebras da ferramenta T45 e de suas relevâncias .....	59
Figura 14 - Espinha de Peixe, Diagrama de causa e efeito e gráfico de Pareto da linha do bloco – Ferramenta T92 da linha de usinagem do bloco do motor ZETEC ROCAM.....	61
Figura 15 - Gráfico de números de quebras da ferramenta T92 e suas relevâncias.....	62
Figura 16 - Espinha de Peixe, Diagrama de causa e efeito e gráfico de Pareto da linha do bloco – Ferramenta T16/12/11 da linha de usinagem do bloco do motor ZETEC ROCAM .....	63
Figura 17 - Gráfico de números de quebras da ferramenta T11, T12 e T16 e suas relevâncias .....	64
Figura 18 - Cabeçote reversível GNCK.....	65
Figura 19 - Espinha de Peixe, Diagrama de causa e efeito e gráfico de Pareto da linha do Virabrequim – Ferramenta T144 do bloco do motor ZETEC ROCAM .....	66
Figura 20 - Gráfico de números de quebras da ferramenta T144 .....	67
Figura 21 - Espinha de Peixe, Diagrama de causa e efeito e gráfico de Pareto da linha do Cabeçote – Ferramenta T71/73 do motor ZETEC ROCAM.....	68
Figura 22 - Gráfico de números de quebras da ferramenta T71 e T73 .....	69
Figura 23 - Espinha de Peixe, Diagrama de causa e efeito e gráfico de Pareto da linha do Cabeçote – Ferramenta T209/309 do motor ZETEC ROCAM.....	70
Figura 24 - Gráfico de números de quebras das ferramentas T209 e T309.....	71
Figura 25 - Ações levantadas através do Y = f (X) para as ferramentas da linha de usinagem do bloco do motor ZETEC ROCAM .....	73
Figura 26 - Ações levantadas do Y = f (X) para as ferramentas da linha de usinagem do Virabrequim e cabeçote.....	75
Figura 27 – Medida das quebras incidentes na linha de usinagem do Virabrequim..	77

Figura 28 – Medida das quebras incidentes na linha de usinagem do Cabeçote .....	79
Figura 29 - Plano de ação fechado para as ações da linha de usinagem do bloco...	81
Figura 30 - Plano de ação fechado para as ações da linha de usinagem do bloco...	83
Figura 31 - Plano de ação fechado para as ações da linha de usinagem do Cabeçote .....	85
Figura 32 - Plano de ação fechado para as ações da linha de usinagem do Cabeçote .....	87
Figura 33 - Gráfico de acompanhamento para a melhoria do processo do motor ZETEC ROCAM .....	89
Figura 34 - Gráfico de acompanhamento para a melhoria do processo do motor.....	90
Figura 35 - Check List para acompanhamento pós quebra de ferramenta .....	92
Figura 36 - Gráfico de acompanhamento para a melhoria do processo do Bloco do Motor .....	103
Figura 37 - Gráfico de acompanhamento para a melhoria do processo do Virabrequim .....	104

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade de Arestas por Ocorrência - Situação Corrente.....	144
Tabela 2 - Quantidade de arestas por Ocorrência - Primeiro Procedimento.....	15

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$V_c$	-	Velocidade de Corte (m/min)
$AP$	-	Profundidade de Corte (ap)
$K_s$	-	Pressão específica de corte (kg/mm <sup>2</sup> )
$F$	-	Avanço (mm/rotação)
$VB$	-	Desgaste de flanco
$CEP$	-	Controle Estatístico do Processo
$CNC$	-	Controle Numérico Computadorizado
$APC$	-	Aresta Postiça de corte
$CAD$	-	Computer Aided Design
$MQF$	-	Quantidade Mínima de Fluido
$PCD$	-	Diamante Sintético Policristalino
$RPM$	-	Rotações Por Minuto
$DMAIC$	-	Definir, Medir, Analisar, Implementar, controlar.

## LETRAS GREGAS

$\sigma$	-	Sigma
----------	---	-------

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1. Formulação do Problema .....	17
1.2. Objetivo .....	18
1.2.1. Objetivo Geral .....	18
1.2.2. Objetivos específicos.....	18
1.3. Justificativa.....	19
1.4. Estrutura do Trabalho.....	19
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
2.1. Qualidade .....	20
2.2 DMAIC.....	20
2.2.1 Fase Definir.....	25
2.2.2 Fase Medir .....	26
2.2.3 Fase Analisar .....	27
2.2.4 Fase Melhorar .....	28
2.2.5 Fase Controlar .....	28
2.3 Gerenciamento de Ferramenta de Usinagem .....	29
2.4 Gerenciamento de Ferramentas e Custos de Produção .....	30
2.5 Custo da Usinagem .....	32
2.6 Avarias e Desgastes de Ferramentas .....	33
2.6.1 Avarias .....	33
2.6.2 Desgastes .....	34
2.6.2.1 Mecanismos de Desgaste.....	36
2.6.3 Vida de Ferramentas.....	37
2.6.4 Fluídos de Corte.....	39
2.6.4.1 Uso Racional de Fluídos de Corte .....	41
2.7 Manutenção.....	43
2.8 Planejamento Estratégico da Produção (Longo Prazo).....	44
2.9 Setup .....	44
3 MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E MÉTODO.....	46
3.1 A Empresa.....	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	49
4.1 Definir .....	49

4.2	Definir .....	57
4.3	Analisar .....	71
4.4	Implementar.....	76
4.5	Controlar.....	91
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	93
6	CONCLUSÕES.....	94
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	95
	REFERÊNCIAS.....	96
	ANEXO .....	103

## 1. INTRODUÇÃO

O ambiente fabril, em empresas nas quais exista grande demanda de seus produtos, a grande preocupação em vencer prazos pode causar dificuldades de controle sobre vários aspectos que ficam despercebidos na rotina de produção.

Quando o assunto é o setor de usinagem, este fato é ainda mais grave. Ao conseguir peças com qualidade, os atores deste processo, acreditam ter alcançado seus objetivos. Nesta situação é que são negligenciados problemas que o processo de usinagem consegue esconder com bastante frequência.

Um exemplo desta afirmação está contido na publicação de J. R. Pires e A. E. Diniz (1997). -A qual consistiu em analisar os resultados de um levantamento de dados realizados durante o processo produtivo normal de uma indústria.

O trabalho consistiu na avaliação do estado das arestas de corte das pastilhas de metal duro em operações de torneamento que, após um determinado tempo de utilização, foram descartadas pelos operadores por terem atingido o seu fim de vida, segundo o parecer destes operadores. Depois de avaliado um número suficientemente alto e estatisticamente satisfatório de pastilhas, o autor chegou à uma análise que, para melhor compreensão, será reproduzida a seguir.

<i>Código da Pastilha</i>	<i>Arestas por ocorrência</i>					<i>Total</i>	<i>Utilização</i>
	<i>01</i>	<i>02</i>	<i>03</i>	<i>04</i>	<i>05</i>		
<i>CNMG120408 - P25</i>	20	10	12	26	12	80	<i>desb. leve e semi acab.</i>
<i>CNMG120412 - P25</i>	4	8	4	6	2	24	<i>desb. leve e semi acab.</i>
<i>DNMG150612 - P15</i>	30	18	43	91	2	184	<i>desb. leve e semi acab.</i>
<i>Total</i>	54	36	59	123	16	288	
<i>%</i>	18.8	12.5	20.5	42.7	5.6		
<i>* %</i>		16.5	27.1	56.4			

Tabela 1 - Quantidade de Arestas por Ocorrência - Situação Corrente.

Fonte: Pires e Diniz (1997).

\* Percentual excluindo-se as ocorrências 01 e 05.

As ocorrências avaliadas foram:

- ocorrência 01: quebra da aresta em uso inutilizando outras arestas;
- ocorrência 02: aresta avariada com sinais de desgaste de flanco acentuado (VB > 0,4 mm);

- ocorrência 03: desgaste de flanco VB = 0,4 mm;
- ocorrência 04: desgaste VB < 0,4 mm;
- ocorrência 05: arestas novas sem utilização.

<i>Código</i>	<i>Arestas por ocorrência</i>					<i>Total</i>
	<i>01</i>	<i>02</i>	<i>03</i>	<i>04</i>	<i>05</i>	
<i>CNMG 120412 P25</i>	2	18	6	6	0	32
<i>DNMG 150612 P15</i>	2	14	4	8	0	28
<i>Total</i>	4	32	10	14	0	60
<i>%</i>	6,7	53,3	16,7	23,3	0	
<i>*</i> <i>%</i>		57,1	17,9	25		

Tabela 2 - Quantidade de Arestas por Ocorrência - Primeiro Procedimento.

Fonte: Pires (1997).

\* Percentual excluindo-se as ocorrências 01 e 05.

Observa-se que existe alta porcentagem de pastilhas que poderiam ter sido utilizadas de forma mais econômica.

Comparando-se a Tabela 2 com a Tabela 1, tem-se:

- ocorrência 2 (momento adequado para a substituição), aumentou de 16.5% para 57.1%;
- ocorrência 3 (substituição pouco antes do momento adequado), caiu de 27.1% para 17.9%;
- ocorrência 4 (substituição muito antes do momento adequado), caiu de 56.4% para 25%;
- ocorrência 5 (não utilização de arestas) não ocorreu e;
- ocorrência 1 (quebra da aresta) ocorreu em um percentual muito baixo.

Tais resultados conseguidos pelo autor foram inspiradores para a realização da pesquisa da presente dissertação. Neste caso, os fatos que ficam “negligenciados” no emaranhado de problemas vividos por uma empresa são as causas e as consequências de retiradas de ferramentas das máquinas devido à incidência de falhas prematuras e não identificadas.

As grandes empresas frequentemente subcontratam fornecedores de ferramentas, os quais instalam, no interior das contratantes, ambientes de fornecimento comercial destas. Esta é uma técnica que poderia ser chamada de



moderna, não fosse esta já praticada há alguns anos. O objetivo é contar com a ferramenta sempre que necessário e de forma a mais imediata possível, dentro dos conceitos de flexibilidade e, no caso particular, dentro do conceito de “Just in Time”, que de acordo com OHNO, (1997) a necessidade das empresas em aplicar conceitos de fluxo para o processo, devido a ter como metas o controle exato de seus itens produtivos. E isto realmente ocorre de forma bastante eficiente. Entretanto, estes fornecedores de ferramentas têm o objetivo de vendê-las. De maneira geral, não precisam se preocupar em identificar pormenores que dependam de levantamentos de resultados da produção, relacionados com o desempenho do processo. Com frequência os fornecedores de ferramentas colocam como metas os preços impostos pela Empresa contratante, dentro de um comportamento técnico/comercial.

Este trabalho foi inspirado no cenário mencionado anteriormente e no fato de seu autor trabalhar em uma empresa com característica que nele se insere. A empresa decidiu que um grupo de profissionais contratados por ela, assumisse o papel de introduzir melhorias no processo de usinagem, ao invés de contar apenas com o controle realizado pelos fornecedores de ferramentas. Foi assim, formada uma equipe para desenvolver um modelo de procedimento visando a maximização da produção e a redução de custos de usinagem.

A estratégia de aplicação da metodologia DMAIC juntamente com suas inúmeras técnicas estatísticas tem o objetivo de gerar produtos com presteza de prazos e custos, além de serviços mais eficientes, com as menores perdas possíveis, tornando a organização mais competitiva.

Cumprir prazos com os menores custos possíveis são condições indispensáveis na acirrada competição do mundo corporativo. Esta afirmação vale principalmente para a área comercial e engenharia que, geralmente são incumbidas de manter um relacionamento estratégico com fornecedores e melhorar parâmetros e processos utilizados para produzir com mais eficiência, melhor qualidade e menores custos para as indústrias. Os líderes das indústrias estão usando dessas vantagens para aumentar a quota de mercado e reduzir a sua concorrência.

Por meio desta prática do DMAIC, as empresas de Powertrain, como a Ford Motor Company estão se transformando e conseguindo incrementos importantes em termos de competitividade. Em grande parte, o sucesso destas empresas resulta de sua capacidade de reduzir a complexidade no seu processo, utilizando as

ferramentas do DMAIC, que determinam um procedimento eficaz para as análises de falhas em qualquer área de sua empresa, em que haja necessidade da aplicação da metodologia. Neste trabalho a área foco foi a de produção por usinagem

### **1.1. Formulação do Problema**

Este estudo de caso foi desenvolvido na empresa automobilística Ford Motor Company situada na cidade de Taubaté, interior do Estado de São Paulo, em que são fabricadas e montadas as peças usinadas do motor Zetec Rocam. A empresa possui processos de usinagens nesta planta há mais de 30 anos, sempre tendo como principais peças o bloco do motor (ferro fundido), virabrequim (material forjado) e cabeçotes, sendo estes últimos fabricados em liga de alumínio. Apesar de possuir maturidade na área de usinagem e trabalhar com gerenciadores de ferramentas experientes no mercado, a empresa se deparou com um aumento em seus indicadores de custos da produção. Estes eram influenciados principalmente por compras de ferramentas para usinagem fora da programação esperada sempre com base na vida das ferramentas.

Após as reuniões realizadas para análises dos gráficos de custos, a gerência percebeu que este aumento tinha como principal causa as quebras prematuras de ferramentas durante o processo de usinagem. Apesar da Ford já estar no mercado de usinagem há décadas, ainda não se havia percebido a importância do estudo proposto neste projeto. A parte do gerenciamento de ferramentas não incluía análises de custo. Somente eram realizados levantamentos das quebras para evitar falta de ferramentas nas áreas de usinagens, ocasião em que eram programadas as ações da área de manutenção da Ford, em providências preventivas e corretivas nas máquinas para as quais era maior a incidência de quebra de ferramentas.

Atualmente, apesar da empresa já estar aplicando a metodologia DMAIC em suas questões de qualidade e produtividade, tal prática ainda não se aplicava aos seus parceiros, como, por exemplo, a empresa gestora de ferramentas. No momento, tanto a fábrica da Ford como a empresa gestora estão empenhadas na condução deste trabalho para melhoria desejada, tendo sido decidido à aplicação da metodologia DMAIC.

## **1.2. Objetivo**

### **1.2.1. Objetivo Geral**

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um estudo de caso para propor o uso da metodologia DMAIC na gestão e estratificação dos diferentes incidentes que podem ocorrer com ferramentas durante o processo de usinagem, observados em chão de fábrica em ambiente fabril. O procedimento incluiu também, considerar o comportamento de dispositivos de fixação de peças e ferramentas. Enfim, foram considerados todos os fatores de influência na retirada prematura da ferramenta da máquina. Foi possível concluir que, com base nos dados levantados e processados pela equipe interna à empresa, um procedimento vantajoso passou a ser adotado.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- identificar as necessidades e expectativas dos gestores da Ford e também do parceiro que realiza o gerenciamento de ferramentas;
- identificar as características que influenciam na qualidade do produto fabricado nas linhas de usinagens do bloco, virabrequim e cabeçote;
- identificar as ferramentas com a maior quantidade de quebras;
- identificar o custo atual das quebras de ferramentas de usinagem;
- estratificar, por setor da fábrica, o custo de ferramenta utilizado na fabricação das peças envolvidas;
- elaborar um plano de melhorias contendo ações, prazos e responsáveis baseando-se nos resultados que forem obtidos;
- identificar o resultado final após as ações propostas no projeto e providenciar para que sejam implementadas;
- elaborar um procedimento para controlar as ações implementadas e as análises de quebras de ferramentas após sua ocorrência.

### **1.3. Justificativa**

Este trabalho justifica-se por possibilitar a introdução de uma metodologia visando à melhoria da produtividade e custos de usinagem pela racionalização do uso das ferramentas de corte. Tal metodologia foi baseada na aplicação dos conceitos de DMAIC. Com a aplicação destes conceitos foi possível identificar, qualificar e quantificar os fenômenos ocorridos para quebras de ferramentas de usinagem.

O autor desta pesquisa tomou a iniciativa de aplicar os conceitos de DMAIC dentro da empresa em que trabalha contando com a concordância por parte de sua administração superior. Foi criada uma equipe de funcionários de diversos setores de fabricação de peças e componentes por usinagem dos metais.

Delimitação do assunto: Este trabalho delimita-se ao estudo e aplicação da metodologia DMAIC em uma empresa automotiva situada na cidade de Taubaté, São Paulo, visando maximizar a produção e minimizar os custos de fabricação de produtos usinados.

### **1.4. Estrutura do Trabalho**

A dissertação está estruturada em capítulos e subcapítulos.

O capítulo 1 introduz o tema, o problema que motivou a pesquisa, os objetivos gerais e específicos, a justificativa, a delimitação do assunto e a estrutura do trabalho.

O capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura sobre qualidade e o DMAIC.

O capítulo 3 trata da metodologia adotada na pesquisa, apresentando como foi feita a coleta e a obtenção dos dados e como foi conduzida a pesquisa na empresa automotiva.

No capítulo 4 são apresentados os resultados e discussões.

O capítulo 5 apresenta as considerações finais, conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

Por fim, são apresentadas as referências utilizadas neste trabalho.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo aborda um breve histórico da metodologia DMAIC, com suas definições e modelo detalhando as etapas para a construção do projeto, bem como seus desdobramentos, foi comentado sobre as fases definir, medir, analisar, implementar e controlar, envolvendo a qualidade que o mercado, nos dias de hoje, exige para o fabricante se manter em uma posição de destaque.

### 2.1. Qualidade

Com a competição global, o desempenho no processo de fabricação nas linhas de usinagem tornou-se alvo de acompanhamento dos gestores das empresas do setor. O total dos custos na usinagem corresponde a uma grande fatia do rateio do custo do produto final, o que influencia decisivamente nos balanços anuais. Segundo Harry e Schroeder (2000), existem pesquisas que as empresas que estão adotando a metodologia DMAIC em seus negócios conseguem reduções de custo bem mais rápido que seus concorrentes estão conseguindo. Além de conseguir alcançar margens de lucros bem mais elevados e maior satisfação de seus clientes. Segundo Scatolin (2005), a correta aplicação da metodologia DMAIC gera retorno várias vezes maior do que os investimentos necessários para sua implementação. De acordo com Hoerl (2001), a crescente popularidade da Metodologia DMAIC tem se dado graças às aplicações bem sucedidas em organizações de grande importância no mercado mundial, como, por exemplo, a Motorola e a GE-General Electric. Graças aos resultados obtidos, a Motorola recebeu o Prêmio Malcolm Baldrige de Qualidade em 1988 (BREYFOGLE III *et al.* 2001). Estes fatos foram divulgados e como resultado, tal metodologia foi aplicada por outras empresas: General Electric, Du Pont, Honeywell, Samsung entre outras.

De Sordi (2008) ressalta que as buscas de soluções otimizadas levaram as empresas a reverem suas estruturas organizacionais, o que resultou em arquitetá-las não mais a partir de agrupamentos de atividades, mas sob o ponto de vista de mercado.

Segundo Rout *et al.* (2014), fatores como a rápida evolução das condições econômicas, a contínua diminuição da margem de lucro, a demanda dos clientes por produtos de alta qualidade, a variedade de produtos e redução do tempo de espera teve um grande impacto em indústrias de manufatura. Isto resultou com que as empresas tivessem que trabalhar cada vez mais em ferramentas de gestão que possam ter um retorno rápido em melhorias de seus processos de fabricação.

Grande parte do sucesso do DMAIC está baseada na redução de custos e melhoria da produtividade por meio do levantamento e controle de defeitos e maior estabilidade do sistema produtivo (BISGAARD e FREIESLEBEN, 2001).

Segundo Nikoli *et al.* (2014) a produção de produtos com um maior valor agregado, através de uma melhoria do seu desempenho operacional e a busca por melhor qualidade e menor no custo da fabricação de seus produtos tem feito com que as empresas aumentem sua fatia de participação no mercado.

Sanders e Hild (2001) citam que a metodologia DMAIC considera o fato de que a variação na qualidade dos produtos e no desempenho dos processos exerce influência nos tempos e nos custos de fabricação, interferindo de forma direta na satisfação dos clientes.

Eckes (2001) em sua publicação sobre a melhoria de desempenho da GE depois da implementação da metodologia DMAIC dentro empresa, reforçando trabalhos publicados por outros autores.

“O DMAIC sempre busca de forma organizada e rigorosa pela busca da redução da variação em todos os processos críticos para alcançar sempre melhorias significativas e contínuas que impactam os índices de uma organização e aumentam a satisfação e lealdade dos clientes (SCATOLIN 2005 apud RASIS, 2002).

É uma iniciativa projetada pela organização da empresa para criar processos de manufatura, ou serviços administrativos que gerem no máximo 4 (quatro) Defeitos Por Milhão de Oportunidades (DPMO). “A ferramenta de melhoria empregada na implantação dos projetos é o DMAIC” (SCATOLIN 2005 apud RASIS, 2002).

A metodologia DMAIC busca a melhoria de processo contemporâneo popular destinado a empresas que se destacam pela excelência operacional (ARNHEITER e MALEYEFF, 2005).

Segundo Dambhare *et al.* (2013), o Seis Sigma é uma das metodologias mais populares utilizadas pelas empresas para melhoria de sua qualidade e

aumento da produtividade. São aplicadas detalhadas análises dos processos para determinarem as causas do problema e propõe um melhoramento bem sucedido. A empresa utiliza o DMAIC para os mais variados tipos de problemas apresentados.

Conforme Ramanan *et al.* (2014), DMAIC é uma estratégia de negócio comprovado para melhorar a eficácia da organização e alcançar níveis mais elevados de desempenho. As aplicações do DMAIC provaram o seu sucesso em produto e processo.

Cauchick e Andrietta (2009), afirmam que o DMAIC é uma forma indispensável, no qual sempre prioriza a satisfação do cliente. Graças a esta ferramenta, é possível melhor compreensão de suas exigências, tais como, a melhoria da qualidade, ganhos no fluxo de processos, aumento da produtividade, redução dos tempos de ciclo; aumento da capacidade de produção e confiabilidade dos produtos, redução de defeitos, de custos, de perdas, eliminação de atividades que não agregam valor para o produto e com grande impacto na maximização dos lucros.

O DMAIC foi criado na década de 80 descreveu uma forma de desenvolver uma métrica universal de qualidade para poder medir a capacidade do processo independente de ser altamente complexo (HARRY e SCHROEDER, 2000).

De acordo com Werkema (2013), o DMAIC utiliza uma escala Sigma que é uma medida estatística que quantifica a variação existente entre qualquer processo e procedimento, sendo utilizada para medir o nível de qualidade associado a um processo, transformando a quantidade de defeitos por milhão. Quanto maior o valor alcançado nessa escala, melhor será seu nível de qualidade. Este nível Sigma alcançado através de defeitos por milhão de oportunidades de falhas a virem acontecer, proporcionam a comparação e posicionamento de uma empresa em relação aos seus competidores.

Muitas vezes, as empresas acreditam que reduzindo em 10% ou 20% seu nível de perdas seria o suficiente para competir com vantagens no mercado atual. Porém, o que diferencia as empresas com alto desempenho muitas vezes é um fator de 100 ou até mais de 1000 vezes melhor. Medindo o Nível Sigma, descobre-se o tamanho da oportunidade que se tem e até que ponto isso é possível de maneira econômica. A maioria das melhores empresas apresenta níveis abaixo de 4 (quatro) Sigma (WERKEMA 2013).

De acordo com Werkema (2013), quando a metodologia DMAIC é aplicada para reduzir a variabilidade intrínseca dos processos, aumenta-se a confiança em atingir o desempenho da qualidade de classe mundial em tudo que se produz ou se processa.

De acordo com Scatolin (2005), é necessário perceber que a metodologia DMAIC está mais ligada a uma linguagem de riscos, negócios, custos e tempos de ciclo, do que com a linguagem de qualidade, como defeito ou suas variações. À medida que os profissionais da qualidade vão se aprofundando no conhecimento estratégico do DMAIC, o que atualmente se define como convencional dará lugar para inovação. E inovação tende a conduzir melhorias para o sucesso do negócio.

É de fundamental importância que todos os envolvidos em projetos de melhoria estejam cientes e concordem com a metodologia do DMAIC como uma necessidade global. Isto significa inclusive o envolvimento dos executivos que formam a alta gerência da empresa. É de fundamental importância que os envolvidos valorizem a metodologia DMAIC e estejam de acordo que sempre que necessárias equipes baseadas em uma estrutura hierárquica bem definida serão criadas para elaboração do projeto, Scatolin (2005).

De acordo com Klefsjö *et al.* (2001), através da metodologia DMAIC os benefícios conseguidos em sua aplicação são os principais fatores que despertam o interesse das empresas. Entretanto, para avaliar concretamente cada benefício seriam necessários levantamentos de dados por meio de pesquisas junto às empresas usuárias do procedimento. Também Hoerl (2001) cita que é uma forma de identificar os benefícios recebidos pelas empresas seria de informações confiáveis, como balanços, cartas aos acionistas ou divulgação na imprensa especializada.

Antony e Banuelas (2002) citam que o principal fator para a organização obter sua maximização dos lucros, devem desenvolver projetos DMAIC visados a processos do negócio. Seus resultados devem ser atrativos financeiramente, obtendo redução dos indicadores de rejeitos, diminuindo o processo de retrabalho, sempre visando melhoria no processo e conseqüentemente o aumento de produção.

De acordo com Antony e Banuelas (2002), mesmo que o projeto seja simples, sempre a utilização do DMAIC é necessária para deixar muito bem definido a sua finalidade e seu alvo.

Snee e Rodebaugh (2002) comentam a necessidade de se estudar com muito cuidado o objetivo do projeto DMAIC antes de serem iniciados, sempre



colocando como objetivo principal o desenvolvimento e as propostas que ficaram definidas como principais melhorias para a organização.

Conforme cita Carvalho (2002), para se obter projetos com a metodologia DMAIC não devemos utilizar exaustivamente ferramentas estatísticas e sim também o trabalho com harmonia no gerenciamento do processo, mantendo o alvo no cliente, na criticidade do processo e nos resultados obtidos pela empresa. Desta maneira, diferente de outros programas da qualidade, a utilização do DMAIC pelas empresas apresentam altas cifras de ganhos obtidos com a implementação dos projetos.

Kumar e Antony (2008) citam a importância do envolvimento e comprometimento da liderança e também a necessidade de mudanças para a implementação do projeto selecionado, focado na qualidade e treinamento para os envolvidos nesta melhoria. Sempre buscando a satisfação do cliente, investindo em infraestrutura da empresa e melhoria contínua no processo.

Segundo Van Iwaarden *et al.* (2008) para obter e manter resultados expressivos nos projetos que se aplica a metodologia DMAIC, é necessário o apoio dos gestores do processo, demonstrando confiança na melhoria proposta, envolvimento dos donos do processo e também na escolha dos projetos a serem implementados, registrando ganhos na área financeira, sempre com foco nas necessidades do cliente tanto internos como externos. Sempre observando a necessidade de integrar o DMAIC com melhorias na qualidade no processo de fabricação do produto envolvido. Trabalhando com redução de custos, passando a utilizar sistemicamente o DMAIC na gestão da qualidade, estabilidades nas posições de alta liderança, melhorando de forma positiva o negócio e aumentando a competitividade no mercado.

Conforme cita Hair *et al.* (2009), devido ao volume de dados coletados, as informações devem ser arquivadas e analisadas cuidadosamente, para que possam ser utilizadas de maneira a auxiliar as decisões e obter os resultados esperados.

Costumam assumir que as variáveis sempre são distribuições normais. Mas, “para considerar que uma análise seja multivariada, precisamos que as variáveis estatísticas sejam amostrais de forma que seus efeitos não possam ser interpretados separadamente” (HAIR *et al.* 2009).

Temos uma importante característica do DMAIC, que é relacionada com a área de Gestão de Projetos, sendo uma característica importante para a iniciativa é

a sua atuação projetada. Zu *et al.* (2008) comprovando que o núcleo de atividades se diferencia em relação a outras iniciativas de qualidade do Seis Sigma, tendo um procedimento estruturado de melhoria, podendo ser caracterizado pela condução padronizada e muito disciplinada para a realização das atividades planejadas de melhoria e conseqüentemente a realização de projetos.

Seis Sigma ensina os empregados como melhorar os resultados até atingirem um nível de qualidade próximo do nível zero defeito e como manter esse novo nível de desempenho, combinando a energia das pessoas com a energia do processo. Uma combinação correta do conhecimento do processo, habilidades de gerenciamento, seleção de projetos e aplicação de ferramentas estatísticas é requerida para se atingir e sustentar o sucesso. Seis Sigma é altamente disciplinado para aumentar a satisfação do cliente e melhorar o ponto de partida de uma organização (ANNAMALAI, 2008).

O pressuposto é que o resultado de todo o processo será melhorado pela redução da variação de múltiplos elementos. O DMAIC reivindica que o foco na redução de variação soluciona problemas do processo e negócio (ANNAMALAI, 2008).

Kharaman e Büyükožkan (2008) apresentam um método de seleção de projetos que contempla múltiplos objetivos, considerando maximização de benefícios financeiros; capacidade de processos; satisfação de clientes e minimizando, risco e custos. Resumindo a revisão da bibliografia, é possível observar que são inúmeros os autores que citam as vantagens de utilização do procedimento que aplica o DMAIC. Observou-se, entretanto, que a aplicação do procedimento para identificação de falhas prematuras da ferramenta de usinagem, quer pela presença desgastes ou avarias.

## **2.2 DMAIC**

O DMAIC é uma ferramenta importante da metodologia DMAIC. Segundo afirma Harry e Schroeder (2000), embora o processo DMAIC seja, algumas vezes, representado de maneira sequencial, as fases e etapas nem sempre acontecem em uma seqüência direta. A literatura indica cinco técnicas às ferramentas mais usadas

no método DMAIC, Justificam-se tal ocorrência, pois nesta fase são aplicadas as ferramentas que medem o desempenho dos processos, que permitem a visualização do estado atual dos mesmos para a definição das metas de aprimoramento (BREYFOGLE III *et al.* 2001; McADAM; LAFFERTY, 2004). Todas as etapas do DMAIC são muito importantes, como reafirmam Breyfoqle III *et al.* (2001) e Mcadam e Lafferty , (2004). A etapa que mais se trabalha utilizando a ferramentas propostas é a fase “Medir”, pois é nesta fase que o levantamento e a descoberta dos problemas apontados pelo cliente aparecem. É a partir desta etapa que se consegue elaborar as ações necessárias para a solução do problema proposto.

De acordo com Sunil *et al.* (2013), o DMAIC fornece dados estatísticos de todas as ações que é realizada em um processo, desta maneira contribui com a ajuda de tomadas de decisões mais eficientes, se transformando em uma metodologia que orienta empresas a tomar decisões de qualidade e produtividade.

Conforme Albuquerque e Rocha (2006) é necessário que as empresas busquem pelo alinhamento entre a estratégia, os processos e as pessoas, como forma de atingir seus objetivos organizacionais.

Quando existe um programa de qualidade como o DMAIC o sucesso de sua implementação somente é obtido caso houver planos de ações para a melhoria da qualidade e que seja seguido de forma ajustada a orientação estratégica que se deseja atingir (SANTOS, 2010).

### **2.2.1 Fase Definir**

A equipe do projeto iniciou a aplicação da metodologia DMAIC e estabelecida a distribuição de responsabilidades entre os participantes, um processo de entendimento sobre o problema deverá ser discutido até à sua perfeita compreensão por todos. Inclua-se, neste caso, que todos deverão estar completamente a par do significado e dos conceitos do DMAIC. Assim, deverá ficar muito claro quais são as necessidades e expectativas dos setores que esperam por melhorias. Deverão estar claras quais as metas a serem atingidas e o cronograma que estabeleça prazos para desenvolvimento dos trabalhos. A equipe, depois de

totalmente estruturada e capacitada, fica responsável por dar início ao projeto de melhoria.

### **2.2.2 Fase Medir**

De acordo com Lin *et al.* (2013), o objetivo desta fase é estabelecer técnicas para coleta de dados sobre o desempenho atual do setor em análise. Os dados a serem coletados devem levar à informações que realce as oportunidades de melhorias. À medida que o procedimento de mensuração evolui a equipe começa a entender o desafio que irá enfrentar e, graças às informações gradativamente conseguidas começa a perceber as oportunidades de melhoria. Aspectos do processo nunca antes percebidos aparecem de forma bastante clara, indicando a necessidade de realimentações que indiquem a necessidade de colher dados outros dados que não foram antes definidos como necessários para entendimento dos problemas existentes no processo

Nesta etapa, a coleta de dados é essencial para validar e quantificar o problema e/ou a oportunidade, objetivando a definição de prioridades e a tomada de decisões sobre os critérios que são necessários (LIN *et al.* 2013).

### **2.2.3 Fase Analisar**

Nesta fase os dados levantados devem passar por um processamento para serem transformados em informações valiosas para a análise de todo o processo do setor em análise. As informações irão ser utilizadas para identificar os problemas existentes. Eventualmente, pode ocorrer a necessidade de levantamento de outros dados não inicialmente entendidos como importantes.

Trata-se da etapa em que é realizada a identificação das variáveis que afetam o processo, sendo necessário encontrar as causas do problema para se aprofundar nos detalhes, identificando a(s) sua(s) atividade(s) crítica(s) (LIN *et al.* 2013).

#### **2.2.4 Fase Melhorar**

Finalizada a análise das informações e identificados os problemas, a equipe precisa realizar ações que permitam corrigir tais problemas introduzindo, assim, as melhorias desejadas. Os fatores que impactam no desempenho do processo são os geradores de idéias sobre como introduzir melhorias. Pode ser necessário efetuar projetos pilotos para, depois, implementar os procedimentos de melhorias, validando estes procedimentos e colocando-os em prática (LIN *et al.* 2013).

#### **2.2.5 Fase Controlar**

Podemos mencionar que processos que possuem sempre a mesma rotina, esta deixa de existir e como consequência começam a apresentar variações que podem prejudicar o resultado final. Quando da fase Controlar necessita de planos e procedimentos robustos para monitorar e controlar as melhorias implementadas no processo e garantir as variações no processo, medindo, controlando e registrando regularmente as modificações realizadas no processo e quando necessário corrigindo. (LIN *et al.* 2013).

Para a manutenção do sucesso do projeto é necessário a implementação de uma forma para controlar as melhorias de maneira sistêmica, com um plano de controle robusto e auditorias constantes. Dessa forma o sucesso do projeto é controlado através do trabalho padronizado que garante que todos façam e controlem da mesma maneira e monitorar o desempenho (MATOS, 2003). Nesta fase é recomendado a implementação de Controle Estatístico do Processo (CEP), relatórios de coletas de dados e histogramas que representam a posição atual do processo (SATOLO *et al.* 2009).

## 2.3 Gerenciamento de Ferramenta de Usinagem

Conforme comenta Walker (2000) é difícil encontrar produtos que não precisem de forma direta ou indireta de um processo que utilize a usinagem em alguma etapa de sua fabricação.

O processo de usinagem no setor metal mecânico tem sua importância estrategicamente, obtendo grandes investimentos em tecnologias de ferramentas e máquinas para realizar a fabricação de peças usinadas (ZONTA JUNIOR, 2008).

Quando se utilizava máquinas convencionais para a fabricação de peças usinadas, era preciso se adequar de acordo com cada tarefa realizada. Quando se iniciou a implementação de máquinas CNC nestes processos de usinagens, e também tecnologias em ferramentas de alta performance, com isso obteve-se redução de tempos de ciclo, setup e aumento da produtividade. A partir disso a necessidade de melhorias no processo e dispositivos de fixação das peças que resultou no aumento de informações a serem gerenciadas (ZONTA JUNIOR, 2008).

Conforme cita Boehs (2008) devido ao crescimento muito rápido dos itens a serem controlados, muitas vezes de formas inadequadas, principalmente quando citamos ferramentas de corte, podemos ter a geração de vários problemas, sendo a gestão de estoque um exemplo. Geralmente utiliza-se um sistema computacional eficiente para realizar o gerenciamento das ferramentas de usinagem sendo uma alternativa para auxiliar na solução dos problemas citados.

Quando são utilizados gerenciadores de ferramentas, o objetivo é o de obter reduções de custos e redução da variabilidade de problemas obtidos durante o processo de usinagem causado por ferramentas de corte (FAVARETTO, 2005).

Numa empresa como a Ford Motor a variação de peças para montagem do produto final é grande, entretanto, os lotes de fabricação são cada vez menores. Ter inúmeras peças para usinar pode requerer inúmeros tipos de ferramentas, vários dispositivos, acessórios, tempos de preparação cada vez menores. Controlar todos estes itens com rapidez somente é possível utilizando-se um sistema específico de gerenciamento. Gerenciar milhares de itens dentro de uma fábrica, sem apoio computacional, pode requerer muito tempo.

Segundo Hillmann (2014), processos de fabricação de alta qualidade são fundamentais para as indústrias serem bem sucedidas. Dessa maneira surge a

necessidade de ferramentas para análises dos indicadores gerados na empresa cada vez mais focados em determinar a raiz do problema. A formação de parcerias com empresas de gerenciamento de ferramentas pode tornar mais fácil a difícil tarefa de providenciar as ferramentas com a rapidez ditada pela produção. De acordo com Castro (2004), a formação de alianças cooperativas, tem sido uma excelente estratégia para a implantação do gerenciamento de ferramentas. As empresas têm que ser flexíveis, altamente inovadoras, eficientes nos custos e cada vez mais focadas no core business.

Segundo Castro (2004), as empresas buscam gerenciadores de ferramentas que já atuam no mercado, tanto no desenvolvimento como em aquisições de novas ferramentas para o seu processo de usinagem, procurando sempre resultados relevantes.

Os departamentos mais beneficiados pela utilização e aplicação de um sistema de Gerenciamento de Ferramentas, segundo Castro (2004), são detalhados na Figura 1 abaixo.



Figura 1 - Setores beneficiados com o gerenciamento computadorizado de ferramentas

Fonte: (CURY, 1997 *apud* CASTRO, 2004).

## 2.4 Gerenciamento de Ferramentas e Custos de Produção

Conforme Castro (2004) o gerenciador tem como principal foco a busca por melhorias tanto de eficiência na aplicação das ferramentas de corte, como melhoria no processo produtivo na usinagem. Na busca para obtenção de melhores

resultados é de essencial importância a escolha correta dos parâmetros de usinagem, evitando assim a degradação da ferramenta bem como paradas de máquinas fora do tempo pré-estabelecido do ciclo da usinagem e principalmente evitando a falta de ferramentas devido a quebras precoces.

O gasto efetivo com ferramentas de corte, conforme Castro (2004) pode representar uma parcela que varia entre 3% a 5% do custo total do processo de fabricação de um produto final típico da área de engenharia mecânica. Mas os 95% restantes do processo tem uma expressiva influência na utilização de forma eficiente das ferramentas de corte. Quando se é utilizada de forma consciente, as ferramentas podem ter uma influência direta no custo da fabricação. Outros fatores também compõem os custos, que não tem influência direta do ferramental utilizado no processo.

Existe potencial a ser explorado nos trabalhos de melhorias, considerando valor agregado ao produto. O gerenciamento de ferramentas auxilia e identifica em que aspectos DMAIC atuarem para melhorar estes custos. O interesse na adoção de práticas DMAIC é baseado principalmente nas evidências empíricas que melhora a competitividade das empresas, nas formas de redução dos prazos e custos e aumento da qualidade, dentre outras (SÁNCHEZ; PÉREZ, 2001). É normal que os indicadores de processos baseados ao fator de custo médio e tempo de ciclo possam acarretar problemas por não considerarem as variações inerentes que existem no processo. Segundo Sanders, Hild (2001), o Seis Sigma define que os processos e os produtos tem suas variações e que afetam diretamente o tempo de fabricação, o custo e a qualidade de maneira direta na satisfação do cliente.

De acordo com Ritzman e Krajewski (2007), os métodos e os processos sendo administrada de formas diferentes, quanto mais tecnologia seja implementada no gerenciamento, somente irá agravar os problemas em lugar de solucioná-los, locais que existem gerenciamentos por diversos gestores pode ocorrer o risco de objetivos e metas a ser cumpridas serem conflitantes.

O gerenciamento de ferramentas não pode ser visto apenas como um recurso que atua no planejamento logístico (controle de estoque). Segundo Zonta Junior (2008), um gerenciamento de ferramentas está dividido em três importantes áreas: planejamento estratégico, planejamento logístico e planejamento técnico, sendo:



- planejamento técnico está diretamente ligado à seleção de ferramentas, na obtenção de documentação dos dados de corte, no controle de custo e vida das ferramentas de corte e na documentação técnica;
- planejamento logístico está relacionado ao estoque, às estratégias de reposições, ao fluxo de ferramenta na fábrica, à rastreabilidade e a disponibilidade;
- planejamento estratégico define a padronização de ferramentas, os indicadores de desempenho, o relacionamento com fornecedores, a manutenção do conhecimento integrando as parcerias e as questões ambientais.

## 2.5 Custo da Usinagem

Conforme Slack *et al.* (2009), existe uma concorrência direta das empresas em relação a preços e custos que estão ligadas ao principal objetivo da produção. Observando sempre que temos o menor custo na fabricação do produto ou serviço, o consumidor final poderá pagar preços menores.

Conforme cita Bornia (2010) quando os custos começaram a serem contabilizados durante a revolução industrial, foi devido à necessidade de calcular os custos para a fabricação do produto. Também ao fato de serem fabricados por artesões que não eram pessoas jurídicas, e o difícil acesso a empresas de contabilidade financeira. De maneira que o custo da fabricação era subtraído dos seus resultados das vendas dos produtos fabricados pela empresa. Através deste lucro também eram retiradas as despesas necessárias para o funcionamento da empresa.

Segundo Rout (2014), a rápida evolução das condições econômicas, diminuindo a margem de lucro, demanda dos clientes por produtos de alta qualidade, a variedade de produtos e redução do tempo de espera teve um grande impacto em indústrias de manufatura. Fazendo com que as empresas trabalhem cada vez mais em ferramentas que possam ter um retorno rápido em melhorias de seus processos de fabricação. De acordo com Leone (2000), uma definição representativa, porém limitada, afirma que a contabilidade de custos é um conjunto

de procedimentos empregados para a determinação dos custos de um produto e das várias atividades relacionadas à sua fabricação e venda, além de auxiliar no planejamento e na mensuração de desempenho.

Conforme cita Kohlberg (2000), nos almoxarifados das empresas que praticam o processo de usinagem de 30 a 60% de suas ferramentas que se encontram no seu estoque não são controlados de forma adequada. Tratando-se de ferramentas, significam uma grande fatia que é desembolsada anualmente pelas empresas, sendo necessário um controle rígido tanto em relação ao custo como também o gerenciamento de seus estoques. Percebe-se para disponibilizar capital de giro e aumentar a competitividade da empresa é minimizar o desembolso em excesso de estoque de ferramentas de corte. Deve-se, entretanto, cuidar para que não ocorra um dimensionamento equivocado da quantidade necessária de ferramentas de corte, pois este pode provocar paradas de produção e perdas de produtividade e competitividade.

Conforme Afsharizand *et al.* (2014), o surgimento do processo de fabricação consciente financeiramente tem resultado em uma necessidade de planejamento de processo eficiente no sistema de fabricação atual. A necessidade de análises e estudos cada vez mais intensos é necessária para a manutenção do negócio.

## **2.6 Avarias e Desgastes de Ferramentas**

De uma maneira geral, qualquer ferramenta de usinagem estará sujeita às seguintes ocorrências:

### **2.6.1 Avarias**

São danos acidentais que ocorrem com a cunha cortante da ferramenta e/ou com sua aresta de corte. Uma avaria sempre pode ser detectada e é possível identificação de novas condições para evitar que elas ocorram. A Figura 2 resume as avarias que podem ocorrer em ferramentas de usinagem, como diagnosticá-las e como evitá-las.

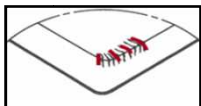
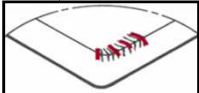
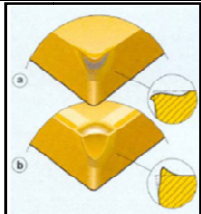
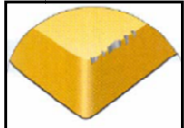
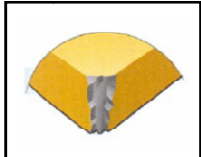
AVARIA	ILUSTRAÇÕES	DIAGNÓSTICO	COMO EVITAR
Micro trincas devido à variação intermitente de temperatura		As micro trincas são aproximadamente perpendiculares à aresta. Ferramenta quebra prematuramente. Para diagnosticar é necessário observar a ferramenta antes da quebra em microscópio.	Adequar a forma pela qual o fluido de corte está sendo aplicado ou cortar sem fluido de corte.
Micro trincas devido à variação dos esforços de corte		As micro trincas são aproximadamente paralelas à aresta. Ferramenta quebra prematuramente. Para diagnosticar é necessário observar a ferramenta antes da quebra, em microscópio.	Reduzir os esforços de corte e sanar fontes de vibração do sistema máquina, ferramenta, dispositivos de fixação e peça.
Deformação plástica da cunha da ferramenta		Perda das dimensões iniciais.	Redução da velocidade e dos esforços de corte. Utilizar material de ferramenta de dureza elevada.
Quebra da aresta de corte ou micro lascas		Quebra prematura da ferramenta. Surge devido à presença de incrustações duras geralmente presente no material da peça, principalmente quando o material da ferramenta não está adequado.	Utilizar material da ferramenta mais dúctil e verificar a possibilidade de desenvolver o fornecedor do material da peça sem incrustações duras.
Quebra ou queima da cunha cortante da ferramenta		Perda massiva e prematura do material da ferramenta na ponta da sua cunha. Ocorre devido à choques mecânicos e ou velocidade de corte muito alta e ou como consequência de outra avaria ou desgaste exagerados.	Reduzir velocidade de corte e ou realizar alívio no momento do início do corte.

Figura 2 - Avarias e suas implicações para o processo de fresamento.

Fonte: Pires (1997).

### 2.6.2 Desgastes

Devido ao uso, a ferramenta vai perdendo, paulatinamente, porções microscópicas de seu material. O fenômeno pode ocorrer na superfície de folga da ferramenta e é denominado de Desgaste de Flanco (Figura 3). Poderá ocorrer na superfície de saída, e então, é denominado de Desgaste de Cratera (Figura 4).



Figura 3 - Ilustrações do desgaste de flanco (a) e dos desgastes de entalhe (b) e (c). Fotos de insertos com os desgastes mencionados.

Fonte: Diniz, Marcondes e Coppini, 2013.

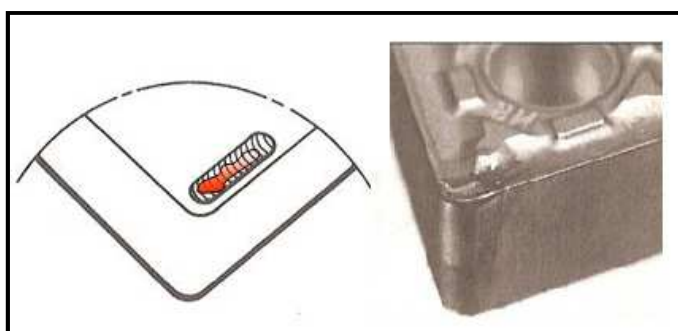


Figura 4 - Ilustração do desgaste de cratera e foto de inserto com o desgaste de cratera.

Fonte: Diniz, Marcondes e Coppini, 2013.

Nas regiões extremas da aresta principal e lateral de corte, onde o ar ou fluido de corte, o material da peça e o material da ferramenta estão presentes, ocorre uma intensificação do desgaste que é denominado de desgaste de entalhe (Figura 2).

Segundo Stemmer (2001), existindo vibrações durante o processo de usinagem, as ferramentas terão sua vida útil diminuída com maior rapidez decorrente a este fator. O acabamento será prejudicado devido ao surgimento de micro lascamento em seu gume, sofrendo assim a diminuição da qualidade do acabamento em suas superfícies devido ao aumento da vibração.

Segundo Koike *et al.* (2014), é importante tomar medidas para evitar colisões de ferramenta com a máquina evitando danos graves para o processo de usinagem.

### 2.6.2.1 Mecanismos de Desgaste

À semelhança do que foi apresentada para as avarias, a Figura 3 e a Figura 4 resumem os mecanismos de desgastes que, de forma diferenciada para cada situação, incidem nas ferramentas durante a usinagem. Os desgastes, não são possíveis de serem evitados. É possível procurar amenizar o efeito de cada mecanismo de desgaste. Por este motivo, diz-se que os desgastes podem ser controlados, porém, nunca evitados. Figura 4 e Figura 5 resumem os mecanismos de desgastes, como diagnosticá-los, como controlá-los e o quando podem estar mais ou menos presentes em operações de fresamento.


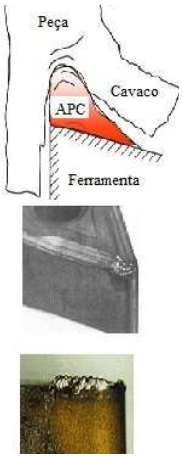
MECANISMO	ILUSTRAÇÕES	DIAGNÓSTICO MOTIVO	COMO CONTROLAR	INCIDÊNCIA
Abrasão Mecânica (1)		Ausência de material da ferramenta com superfície remanescente polida. Presença de partículas duras no material da peça e ou temperaturas elevadas. Devido ao movimento relativo entre ferramenta/peça e ferramenta/cavaco ocorrem deformações plásticas cisalhantes incentivadas pelos esforços de corte existentes.	Maior a dureza a quente da ferramenta Menores velocidades de corte.	Presente.
Desgaste em presença de Aresta Postiça de Corte (1).		O acabamento superficial da peça e a forma inclinada do desgaste de flanco denunciam a presença da APC. Material da peça fica soldado na superfície de saída da ferramenta. A medida que o processo se inicia a afinidade entre o material da peça e a APC aumenta e esta cresce ainda mais. Por ficar encruado e endurecido o material, substitui a aresta de corte original. Ocorre para velocidades de corte/temperaturas mais baixas e desaparece quando estas aumentam.	Evitar a faixa de velocidades que provoca a presença da APC, que é a temperatura de recristalização do material da peça.	Pode estar presente se não for evitada a faixa de velocidade típica de sua ocorrência.

Figura 5 - Mecanismos de desgaste e suas implicações para o fresamento.

Fonte: Pires (1997).

A Figura 6 ilustra de forma aproximada as faixas em que os mecanismos de desgastes são mais incidentes. Esta forma de analisar os desgastes resulta numa poderosa ferramenta de controle dos desgastes.

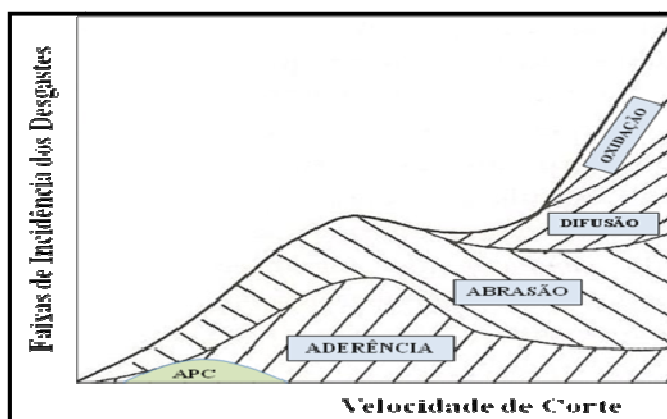


Figura 6 - Faixas de incidência dos mecanismos de desgastes de acordo com a variação da velocidade de corte.

Disponível em: <http://www.moldesinjecaoplasticos.com.br/avarias.asp>. Acesso em: 01 nov. 2013

### 2.6.3 Vida de Ferramentas

Segundo Diniz, *et al.* (2013), a progressão do desgaste é influenciada principalmente pela velocidade de corte, depois pelo avanço e, por último, pela profundidade de usinagem. Assim, por exemplo, a diminuição da vida da ferramenta causada por um acréscimo de 10% na velocidade de corte é muito maior do que aquele que ocorreria se o avanço fosse alterado na mesma proporção. A velocidade de corte é o parâmetro que mais influencia no desgaste, pois quanto maior, mais aumenta a energia (calor) que é imputada ao processo sem crescer a área da ferramenta que recebe este calor. Por seu lado, quanto maior o avanço, também maior a quantidade de calor imputada ao processo, porém, simultaneamente aumenta a área da ferramenta que recebe este calor. Isto explica sua menor influência. De forma similar o mesmo ocorre com a profundidade de usinagem.

De acordo com Diniz, *et al.* (2013), a Vida da aresta de corte de uma ferramenta é o tempo que a mesma trabalha efetivamente (deduzidos os tempos passivos), até perder a sua capacidade de corte com base em um critério de vida previamente estabelecido e tenha que ser substituída por outra nova ou reafiada.

De acordo com Shaw (2005), na maioria dos sistemas de usinagem, a condição de vida da ferramenta começa do contato entre ferramenta e peça, deteriorando ao longo da usinagem e eventualmente levando a ruptura da ferramenta.

O não uso de um fluido de corte em uma operação de usinagem sempre há uma redução de vida útil da ferramenta, principalmente quando é utilizamos ferramentas com arestas de corte menos robustas (TELES, 2007).

No início dos anos 1900, Taylor (1911) propôs uma equação para cálculo de vida de ferramentas que tem sido utilizada até os dias atuais. Apesar de ter ocorrido algumas contribuições que foram propostas mais recentemente, a Equação (1), tal como foi inicialmente proposta, tem sido utilizada até hoje. Alguns autores desenvolveram equações chamadas de “Equações de Taylor Expandidas”, que acrescentam a influência do avanço, da profundidade de usinagem, de ângulos das ferramentas, etc. Entretanto, a mais utilizada realmente tem sido a Equação (1).

$$T = K \cdot v_c^{-x} \quad (1)$$

Onde:

$T$  = vida da ferramenta [min];

$K$  e  $x$  = coeficientes da equação de Taylor;

$v_c$  = velocidade de corte [m/mm].

O valor de  $x$  representa o quanto a aresta de corte da ferramenta é sensível com relação à velocidade de corte ao usinar um dado material. Assim, quando o valor de  $x$  for grande, pode-se inferir que o material agride mais significativamente a aresta de corte provocando desgastes mais importantes em menor tempo e vice-versa. O valor de  $K$  pode ser pensado como sendo a vida específica para o par ferramenta/peça, pois, a vida da aresta é igual a  $K$  quando a velocidade de corte for igual a 1 m/min.

O critério de vida é fundamental de ser adotado e tanto pode basear-se diretamente aos desgastes, como pode ser baseado em fatores indiretamente ligados aos desgastes, como por exemplo: acabamento superficial da peça, sua tolerância dimensional, variação dos esforços de corte, etc.

#### 2.6.4 Fluídos de Corte

Segundo Stanford e Lister (2002) o processo de interação entre o fluido de corte e a remoção do material é uma área de grande interesse pelas empresas envolvidas. Dessa forma a grande evolução deste conjunto de óleos e seus componentes têm uma grande participação para a obtenção de fluidos cada vez mais eficiente e ecologicamente mais satisfatórios.

De acordo com Diniz *et al.* (2013), cada fluido de corte possui características particulares, vantagens e limitações distintas. Por meio da distinção destas características é possível fazer uma classificação dos diversos tipos de fluídos de corte. Eles podem ser classificados em:

- óleos de corte (integral ou aditivado);
- fluídos solúveis em água;
- emulsionáveis convencionais (óleos solúveis);
- emulsionáveis sintéticos;
- soluções (fluídos sintéticos).

Quanto aos métodos de aplicação do fluido, existem basicamente três:

- jorro de fluido à baixa pressão (torneira à pressão normal);
- pulverização;
- sistema à alta pressão.

De acordo com Diniz *et al.* (2013) o primeiro sistema é o mais utilizado pela sua simplicidade. O segundo método oferece vantagens sobre o primeiro devido ao maior poder de penetração e velocidade. O terceiro método é mais engenhoso e bons resultados já foram obtidos com o seu emprego.

Segundo Diniz *et al.* (2013) os fluídos solúveis em água são principalmente utilizados para processos a altas velocidades, pois possuem melhor capacidade de refrigeração. Esses fluídos são melhores também no resfriamento dos componentes, evitando distorções térmicas.

Esses tipos de fluídos são formados pela mistura de água e óleos, ou sais orgânicos e inorgânicos. Essas misturas variam entre emulsões e soluções dependendo da constituição básica do fluido de corte solúvel concentrado, da presença e da quantidade de emulgadores no concentrado. Segundo Diniz *et al.*



(2013), emulgadores, também conhecidos como emulsificadores, são substâncias que reduzem a tensão superficial da água, com isso facilitando a dispersão do óleo na água, formando uma emulsão estável.

Dependendo da taxa de diluição e da constituição do concentrado do fluido solúvel, o fluido de corte pode apresentar uma refrigeração eficiente aliado a um moderado poder lubrificante, podendo então, ser empregado em operações de usinagem, minimizando os efeitos negativos de origem térmica. Esse tipo de fluido de corte pode ser classificado em óleos emulsionáveis, sintéticos ou semissintéticos. Modernas ferramentas de corte têm sido desenvolvidas para suportar altas temperaturas na região de corte, sem perder a dureza e a resistência ao desgaste. Com isso, é possível aumentar a produtividade com a usinagem a seco, pois não se elimina apenas o custo com o lubrificante refrigerante, mas também o tempo e o custo com a manutenção. Além dos aspectos tecnológicos e econômicos citados, os aspectos ecológicos também merecem destaque, pois os fluídos de corte são nocivos ao homem e agredem o meio ambiente, (DINIZ *et al.* 2013).

Segundo Saito *et al.* (2013) Os fluídos de corte desempenham um papel muito importante, nas industriais quando se tem operações de usinagem, contribuindo para a duração de tempo de vida da ferramenta e na qualidade do produto final. Com a utilização de fluídos de corte pode-se obter aumentos expressivos na produção de peças, além da redução de gastos com troca de ferramentas e paradas para troca peças danificadas por desgastes

Nas operações de usinagem o fluido de corte é utilizado como lubrificante proporcionando menor desgaste das ferramentas e resultando em melhor acabamento superficial da peça retificada (DINIZ *et al* 2013).

A função dos fluídos de corte é introduzir melhoria no processo de usinagem, seja ela de caráter funcional, aquelas que conferem um melhor desempenho ao processo, ou de caráter econômico, aquelas que induzem a um processo mais econômico, como a redução do consumo de energia ou a redução do custo da ferramenta na operação, (FERRARESI, 1977). Os fluídos podem ser lubrificantes, refrigerantes ou exercer as duas funções ao mesmo tempo. Como lubrificantes, eles agem para reduzir a área de contato entre o cavaco e a ferramenta, e como refrigerantes eles diminuem a temperatura de corte, tanto pelo aumento da dissipação do calor como pela redução da geração do mesmo. A fim de cumprir seu papel, o fluido deveria penetrar na interface cavaco-ferramenta até a

ponta da ferramenta. Existem várias vias de aplicação do fluido: através da superfície de saída (sobre cabeça), através da superfície de folga, na saída do cavaco (entre a superfície de saída da ferramenta e o cavaco) e diretamente da zona de aderência, injetando-se o fluido por dentro da ferramenta de corte, (DINIZ *et al*, 2013).

Conforme cita Ribeiro *et al.* (2003) a temperatura durante o processo de usinagem aumenta de acordo com a velocidade de corte, que a prática de avanços menores para o processo de usinagem e a utilização de fluidos de corte com 5% de emulsão em sua concentração, produzem temperaturas mais baixas durante o processo de corte na usinagem.

#### **2.6.4.1 Uso Racional de Fluidos de Corte**

Como visto os fluidos de corte desempenham diversas funções no processo produtivo, e sua utilização resulta, na maioria das vezes, em maior vida da ferramenta e em melhor qualidade da peça usinada. Porém, o uso dos fluidos traz consigo alguns inconvenientes, como a dificuldade e alto custo da reciclagem e descarte, poluição ambiental, e doenças nas pessoas expostas. Devido a isso, muito se tem estudado com o objetivo de evitar ou minimizar a utilização de fluidos de corte nos processos de usinagem. Busca-se realizar tal tarefa, sem se perder os ganhos que as utilizações desses fluidos trazem, principalmente com relação à vida da ferramenta e à qualidade da peça Diniz *et al.* (2013).

A não utilização de fluidos de corte na usinagem retira os seus benefícios, que são: a lubrificação, a refrigeração e a remoção dos cavacos gerados. Isto significa que há mais atrito e adesão entre a ferramenta e a peça, que são submetidas a uma maior carga térmica, o que pode resultar em níveis mais altos de desgaste da ferramenta e prejudicar a qualidade superficial e geométrica das peças. Porém, em processos de corte interrompido, como o fresamento, o gume é aquecido durante o corte, e resfriado quando deixa a zona de corte, Diniz *et al.* (2013).

A variação periódica da temperatura pode causar expansão e contração das ferramentas levando à formação de trincas térmicas. O uso do fluido aumenta a variação térmica e, portanto, aumenta a probabilidade de ocorrência desse tipo de

trincas, as quais podem provocar o lascamento do gume da ferramenta, (DINIZ *et al.* 2013).

Dessa forma, no processo de fresamento, que é caracterizado pelo corte interrompido, pode ser recomendada, para a maioria dos casos, a usinagem a seco, pelo fato de que, com fluídos de corte, os gradientes de temperatura são mais elevados, induzindo a ocorrência de choques térmicos que comprometem a durabilidade da ferramenta. Entretanto, há casos como o fresamento de ligas de alumínio, em que não é possível a utilização da usinagem a seco, devido à elevada tendência de adesão desses materiais às arestas das ferramentas, quando da ausência de fluido lubri-refrigerante. Nesses casos, a utilização da técnica de MQL pode ser avaliada, (DINIZ *et al.* 2013).

De acordo com Diniz *et al.* (2013) a redução da utilização de fluídos de corte é especialmente crítica para as operações de furação, pois este processo apresenta algumas particularidades, como:

- a velocidade efetiva de corte se reduz em direção ao centro da broca, atingindo o valor da velocidade de avanço no eixo da ferramenta;
- dificuldade no transporte do cavaco para fora do furo;
- distribuição de calor inadequada na região de corte;
- elevado desgaste na quina com canto vivo;
- atrito das guias na parede dos furos.

Essas particularidades fazem da furação um dos mais exigentes processos de usinagem, pois a geometria e a superfície são geradas em uma única operação, e as demandas em relação à precisão do diâmetro, retilinidade e qualidade superficial são muito elevadas, (DINIZ *et al.* 2013).

Na furação com ausência de fluido lubri-refrigerante existe a tendência de maiores temperaturas na região de corte e maior dificuldade no transporte dos cavacos para fora do furo. As temperaturas elevadas têm muita influência na formação dos cavacos, podendo resultar na formação de cavacos em forma de tiras (fitas) ou emaranhados. As altas temperaturas no cavaco podem obstruir a sua remoção do furo e, em casos extremos, resultar no bloqueio dos canais da broca e na consequente quebra da mesma. A usinagem sem fluido de corte não é possível de ser realizado por razões técnicas, o uso de MQL pode ser uma boa alternativa. Este é o caso típico da usinagem do alumínio e suas ligas, o material apresenta

elevada tendência de adesão à ferramenta, a furação e o rosqueamento de ferro fundido, e a furação de furos profundos, (DINIZ *et al* 2013).

As brocas helicoidais de aço rápido e inteiriças de metal duro precisam ser afiadas ao fim de sua vida, para que possam continuar sendo usadas. Ferraresi (1977) afirma que os principais problemas apresentados pela afiação são decorrentes da geometria da ponta da ferramenta. As brocas convencionais possuem aresta transversal de corte em linha reta, o que faz com que o ângulo de saída na região próxima ao eixo da ferramenta tenha um valor negativo.

## 2.7 Manutenção

Segundo Koike *et al.* (2014), é importante tomar medidas para evitar colisões de ferramenta com a máquina evitando danos graves. Muitas vezes tanto peças mal fixadas no dispositivo de usinagem, como ferramentas mal fixadas no fuso árvore podem originar colisões e quebras que são difíceis de serem analisadas, ficando a dúvida se a quebra foi por colisão ou alguma avaria na ferramenta.

De acordo com Sato *et al.* (2014) no processo de usinagem os comportamentos dinâmicos das máquinas e ferramentas, tais como vibração da ferramenta, a vibração da estrutura mecânica e erro de movimento dos eixos influenciam diretamente na quebra de ferramentas. Durante o processo pode vir a ocorrer vibrações tanto nos eixos como também na má fixação da peça a ser usinada.

Segundo Dias (1996) a missão da manutenção é garantir a disponibilidade da função dos equipamentos de modo a atender a um processo de produção ou de serviço com confiabilidade. Confiabilidade é a probabilidade de um item desempenhar uma determinada função de forma adequada, durante um intervalo de tempo, sob condições especificadas. Para compreender esta definição é necessário perceber que ela possui quatro estruturas fundamentais ou quatro categorias:

- probabilidade;
- comportamento adequado;
- período de uso;
- condições de uso.

Estas categorias e seus significados devem ser considerados integralmente em cada etapa do ciclo de vida do produto, no processo do projeto, bem como na análise dos dados.

## 2.8 Planejamento Estratégico da Produção (Longo Prazo).

Segundo Ribeiro, *et al.* (2003), para a construção da Matriz da Qualidade é necessário seguir as seguintes etapas:

- identificação dos clientes;
- ouvir a voz dos clientes;
- desdobramento da qualidade demandada;
- importância dos itens da qualidade demandada ( $ID_i$ );
- avaliação estratégica dos itens da qualidade demandada ( $E_i$ );
- avaliação competitiva dos itens da qualidade demandada ( $M_i$ );
- importância corrigida dos itens da qualidade demandada ( $ID_i^*$ ) – Priorização;
- desdobramento das características de qualidade;
- relacionamento da qualidade demandada com as características de qualidade ( $DQ_{ij}$ );
- especificações atuais para as características de qualidade;
- importância técnica das características de qualidade ( $IQ_j$ );
- avaliação da dificuldade de sobre as características de Qualidade ( $D_j$ );
- avaliação competitiva das características de qualidade ( $B_j$ );
- importância corrigida das características de qualidade ( $IQ_j^*$ ) –Priorização;
- correlação entre as características de qualidade.

## 2.9 Setup

O setup conforme Martins e Laugeni (2005) definem é um trabalho efetuado para deixar as máquinas e ferramentas habilitadas para início de produção. O tempo de setup é o tempo utilizado do início ao fim da preparação das máquinas e

ferramentas iniciam-se a produção. O setup pode ser visto como uma atividade acíclica inserida no processo de produção, pois acontece sempre que é produzido um lote de peças e não uma única peça, ou seja, o setup ocorre a cada troca de produto produzido, também sendo necessária a troca de ferramentas e ajuste das máquinas.

Segundo Corrêa *et al.* (2014), a metodologia DMAIC combinada com a técnica de troca rápida de ferramentas, possibilita uma grande redução de tempo na hora do setup durante a produção. Evidencia que os fatores que mais influenciaram neste desenvolvimento foram as mudanças de cultura, educação, treinamentos contínuos e a compreensão da equipe na metodologia DMAIC.

### **3 MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E MÉTODO**

Este capítulo descreve sucintamente sobre a empresa estudada e em seguida, apresenta o detalhamento do método aplicado para o atendimento do objetivo proposto através da utilização do DMAIC.

#### **3.1 A Empresa**

O método utilizado neste trabalho pode ser caracterizado como “Estudo de Caso” (YIN, 2001). Tal enquadramento é porque, a pesquisa científica realizada, visa coletar e analisar dados retirados do ambiente de fabril de uma empresa de grande porte. O estudo de caso foi o método encontrado para compreender os casos de falhas prematuras de ferramentas de usinagem, sem interferir na evolução natural da produção.

Segundo Hillmann (2014), processos de fabricação de alta qualidade são fundamentais para as indústrias serem bem sucedidas. Dessa maneira surge a necessidade de ferramentas para análises dos indicadores gerados na empresa cada vez mais focados em determinar a causa da raiz do problema.

Como já mencionado anteriormente, este trabalho foi realizado na Ford Motors Company do Brasil Ltda, situada na região do Vale do Paraíba. Esta empresa atua no setor de produção de peças por usinagem e de montagem de motores automobilísticos.

Todos os materiais, equipamentos e instrumentos utilizados durante o levantamento de dados foram disponibilizados pela referida Empresa. Os produtos por ela produzidos foram desenvolvidos segundo as necessidades do mercado e são fabricados em série (produção puxada). Devido ao alto custo com ferramental, foi criada uma equipe para verificação de falhas prematuras de ferramentas de usinagem.

A Gerência Geral da Planta juntamente com o Gerente Geral de Processos da Ford Motors de Taubaté identificou a necessidade de desenvolvimento de um projeto de melhoria com relação à introdução de melhorias no setor de usinagem da

empresa, pois, o custo de ferramentas estava muito alto. Para tanto, uma equipe foi criada com a finalidade de aplicar a metodologia DMAIC naquele setor, tendo em vista ser esta a metodologia adotada pela empresa. Estas equipes lideradas pelas duas gerências citadas selecionaram os membros da equipe e designaram o autor deste trabalho como “LIDER” da equipe do projeto que passou a ser designado pelo título: “Quebra de Ferramentas de Usinagem” codificado por 61865.

A primeira tarefa do líder foi designar os membros da equipe, que ficou assim constituída:

- supervisor de Produção 1 (SP1);
- supervisor de Produção 2 (SP2);
- supervisor de Produção 3 (SP3);
- master Black Belt (MBB);
- engenheiro de Processo 1 (EP1);
- engenheiro de Processo 2 (EP2);
- engenheiro de Processo 3 (EP3);
- engenheiro de Processo 4 (EP4);
- engenheiro de Manutenção 1 (EM1);
- engenheiro de Manutenção 2 (EM2);
- trainee de Engenharia de Processo (TM);
- analista de Manufatura Júnior (AMJ).

Apesar de o DMAIC ser uma ferramenta já utilizada pela empresa, uma pesquisa bibliográfica foi realizado visando às aplicações gerais da mesma. Após este levantamento foi possível verificar previamente a adequabilidade da mesma ao problema a ser enfrentado.



A Figura 7 tem a finalidade de reunir as cinco fases do DMAIC, já detalhadas anteriormente.



Figura 7 - Esquema ilustrativo das etapas do método (6 $\sigma$ ) /DMAIC.

Fonte: LINDGREN, P.C.C. MBA em Gerência de Logística - Unitau, 2010.

Reuniões semanais da equipe foram programadas e realizadas para de forma concomitante, treinar e aplicar as fases da ferramenta DMAIC.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A primeira ação promovida pela equipe seguiu rigorosamente a sequência do DMAIC e, os resultados são apresentados a seguir:

### 4.1 Definir

A fase definir consiste em simplesmente decidir sobre o conjunto de elementos que deverão ser alvo da aplicação do procedimento DMAIC. Ao fazê-lo, esta fase pode confundir-se parcialmente com a fase medir.

A equipe definiu o seguinte plano para ser aplicado às ferramentas de usinagem:

- primeiramente, realizar um levantamento de quebras de ferramentas em todas as três linhas de usinagem existentes na empresa. Assim ficou definido que seriam avaliadas as ferramentas utilizadas na fabricação do motor ZETEC ROCAM. Ou seja, seu bloco, seu cabeçote e seu virabrequim;
- em seguida, providenciar a estratificação das quebras causadas por avarias e desgastes ocorridos durante a usinagem, tanto por falhas de fixação da peça, falha no fluido de corte e desgastes de ferramentas devido a alguma falha ocorrida durante a usinagem;
- os passos seguintes consistiram em montar a estratificação das quebras de todas as ferramentas que quebraram formando um conjunto para análise;
- o resultado destas três providências está representado nas Figuras 8, 9 e 10, na forma de gráfico de barras, além de mostrar o mapeamento de cada uma das três linhas. A Figura 8 representa o bloco do motor, a Figura 9 o virabrequim e a Figura 10 o cabeçote;
- na sequência, seguindo o proposto pela ferramenta DMAIC, o líder do projeto processou os dados e deu continuidade ao procedimento, que consistiu na realização de reuniões semanais com toda a equipe visando medir, avaliar, implementar, controlar, e replicar os resultados conseguidos. Estes passos serão abordados a seguir.

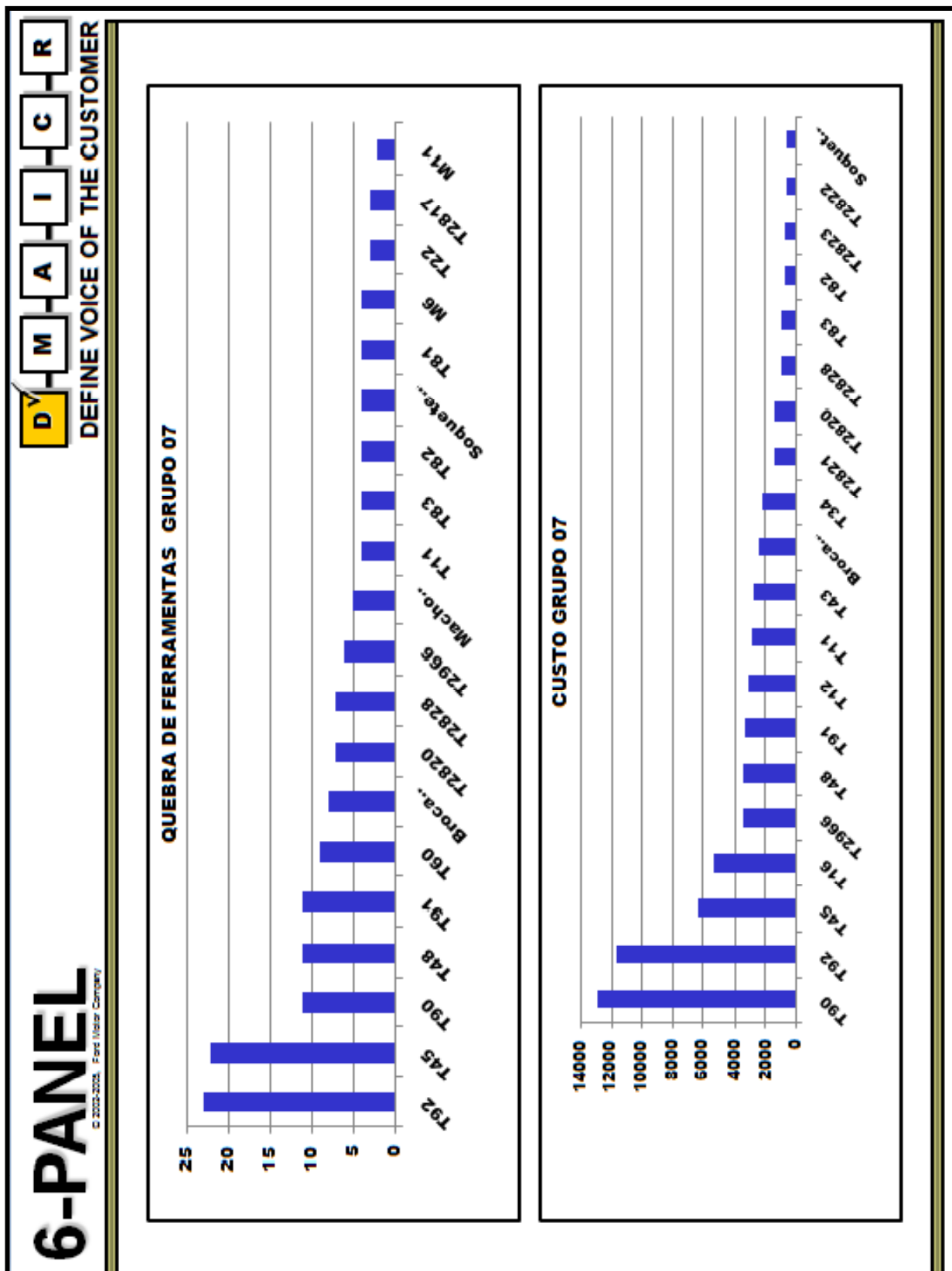


Figura 8 - Pareto das quebras incidentes na linha de usinagem do bloco ZETEC ROCAM.

Fonte: Template Ford Seis Sigma.

Na Figura 9 é mostrada a linha de usinagem do Virabrequim do motor Zetec Rocam. Aplicando a mesma metodologia utilizada para a linha do bloco foi iniciado um estudo por meio do mapeamento do processo, ficando claro que a equipe do projeto deveria realizar o levantamento de todo o processo de usinagem envolvido na fabricação do Virabrequim.

De acordo com a utilização do mesmo método de análise da Figura 6, foi realizado o levantamento de quebras e custo, ressaltando como a de maior quebra uma broca de diâmetro de 5,1mm. Esta broca realiza a furação de fixação do volante do motor, tendo como parâmetros 3600 RPM e avanço de 720 m/minuto e refrigeração interna com aproximadamente 40 bar de pressão.

Nesta Figura 9 também é mostrada uma situação similar à anterior. A ferramenta que apresenta o maior número de quebras não é a que afeta o custo do processo de fabricação do virabrequim.

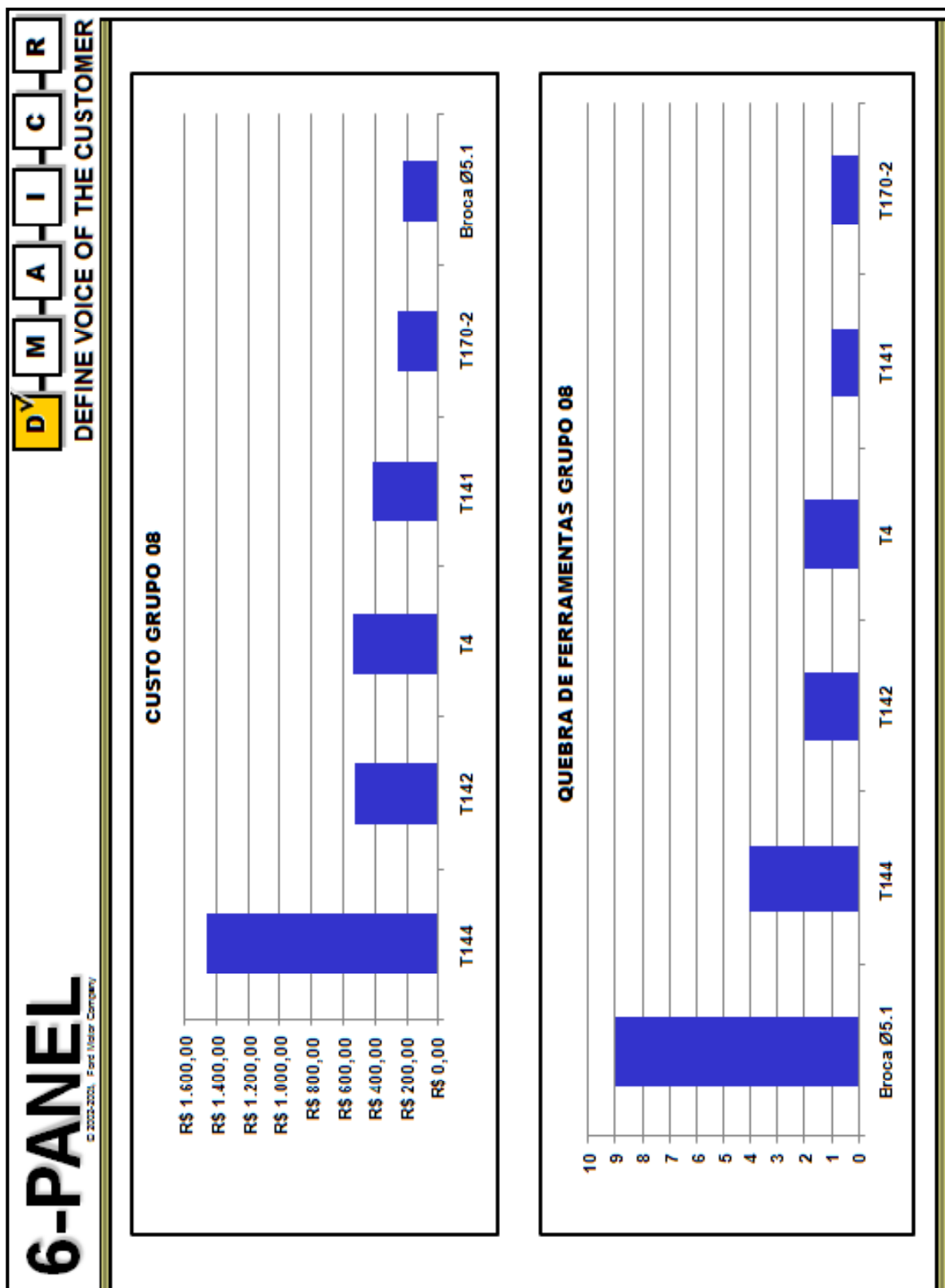


Figura 9 - Medida das quebras incidentes na linha de usinagem do Virabrequim

Fonte: Template Seis Sigma

Observa-se na Figura 10 a linha de usinagem do cabeçote do motor Zetec Rocam. Trata-se de um processo de usinagem de peças de ligas de alumínio. Este processo utiliza a maioria das ferramentas construídas em PCD (Diamante Policristalino).

A ferramenta que consta no gráfico de custo desta área é o macho rosqueador M8, que utiliza um cabeçote reversível para sua fixação, devido à utilização de parâmetros elevados de corte (3900 RPM e avanço de 1600 m/minuto), foi utilizado o mesmo procedimento adotado anteriormente.

Ainda na Figura 10, conforme aplicado nos processos anteriores, o mapeamento foi realizado para toda a linha de usinagem, pois, todas as máquinas utilizaram ferramentas que poderiam afetar tanto o número de quebras como o custo.

Saliente-se que o foco na incidência de quebras, aparentemente fator de maior relevância, não deve ser assim considerado. Ou seja, providenciar soluções para que uma dada ferramenta com alta frequência de quebra seja racionalizada, já não é o melhor caminho a ser adotado.

Esta atitude fazia parte da análise antes da introdução do mapeamento das quebras. Era um fator isolado nos levantamentos de dados. Porém, o DMAIC ainda na sua etapa definir, que se confunde um pouco com a etapa medir, mostra que na verdade, nem sempre a ferramenta que quebra com mais frequência, é a que representa o maior impacto no custo. Assim, o foco deverá sempre recair para a ferramenta cuja frequência de quebra e de custo for a mais impactante.

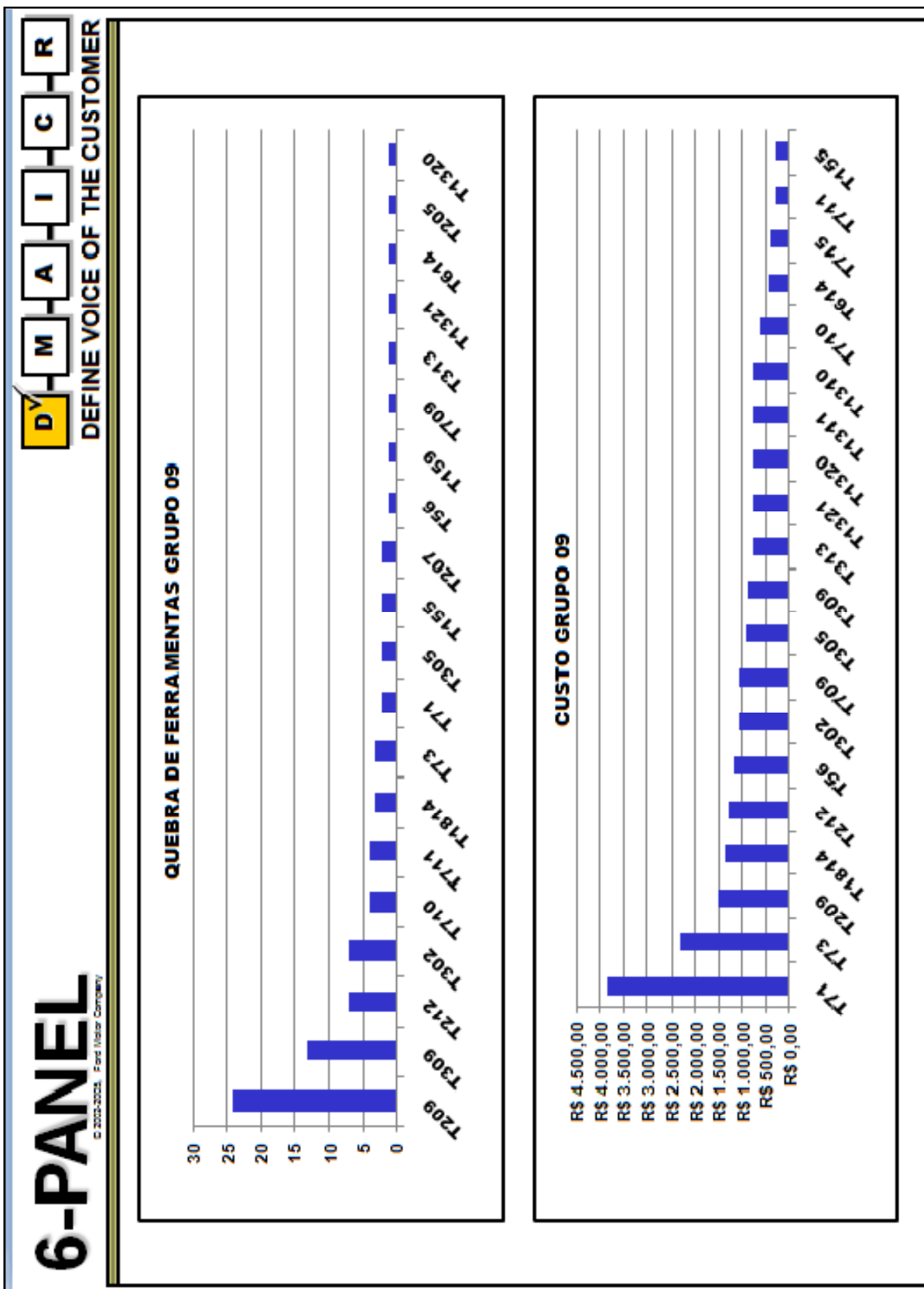


Figura 10- Medida das quebras incidentes na linha de usinagem do Cabeçote ZETEC ROCAM.

Fonte: Template Seis Sigma

Na Figura 11, está representado um resumo de todas as ferramentas consideradas para serem avaliadas. Ao lado esquerdo da referida Figura 11 estão listadas todas as ferramentas em ordem decrescente do número de quebras sofridas por cada uma. No lado direito da figura estão representadas as ferramentas cujos custos aparecem em ordem decrescente. É relevante mencionar que nem toda ferramenta com frequência de fim de vida maior apresenta maior custo da ferramenta e vice-versa. Este aspecto será discutido com mais detalhes adiante neste trabalho.

É possível observar no gráfico da Figura 11, que a ferramenta com o maior número de quebras é a T209, que é um cabeçote reversível (GNCK) usado para rosqueamento do cabeçote. A segunda ferramenta com o maior número de quebras apresentado é a T92. A terceira ferramenta T45, que é uma broca utilizada para furação de fixação para bomba de óleo do bloco do motor. A quarta ferramenta é um cabeçote reversível utilizado para fabricar rosca M8 da fixação de coletores admissão e escape no cabeçote de alumínio. Já em relação ao gráfico apresentado em relação ao custo que cada ferramenta gerou observa-se que T209 é a quebra que tem a maior contribuição. Percebe-se claramente que o número de quebras em relação ao custo não está representando a relação entre a quebra e o custo, que a ferramenta que mais quebra pode não ser a de maior custo.

Observa-se que a ferramenta T91 gerou um custo mensal de aproximadamente R\$3.800,00. Este valor representou um limite para uma primeira abordagem do DMAIC. No momento que as ferramentas abordadas forem otimizadas, novas etapas de aplicação do procedimento, adotando-se o critério de melhoria contínua, serão retomadas e, eventualmente, um aprimoramento deste procedimento será analisado e adotado.



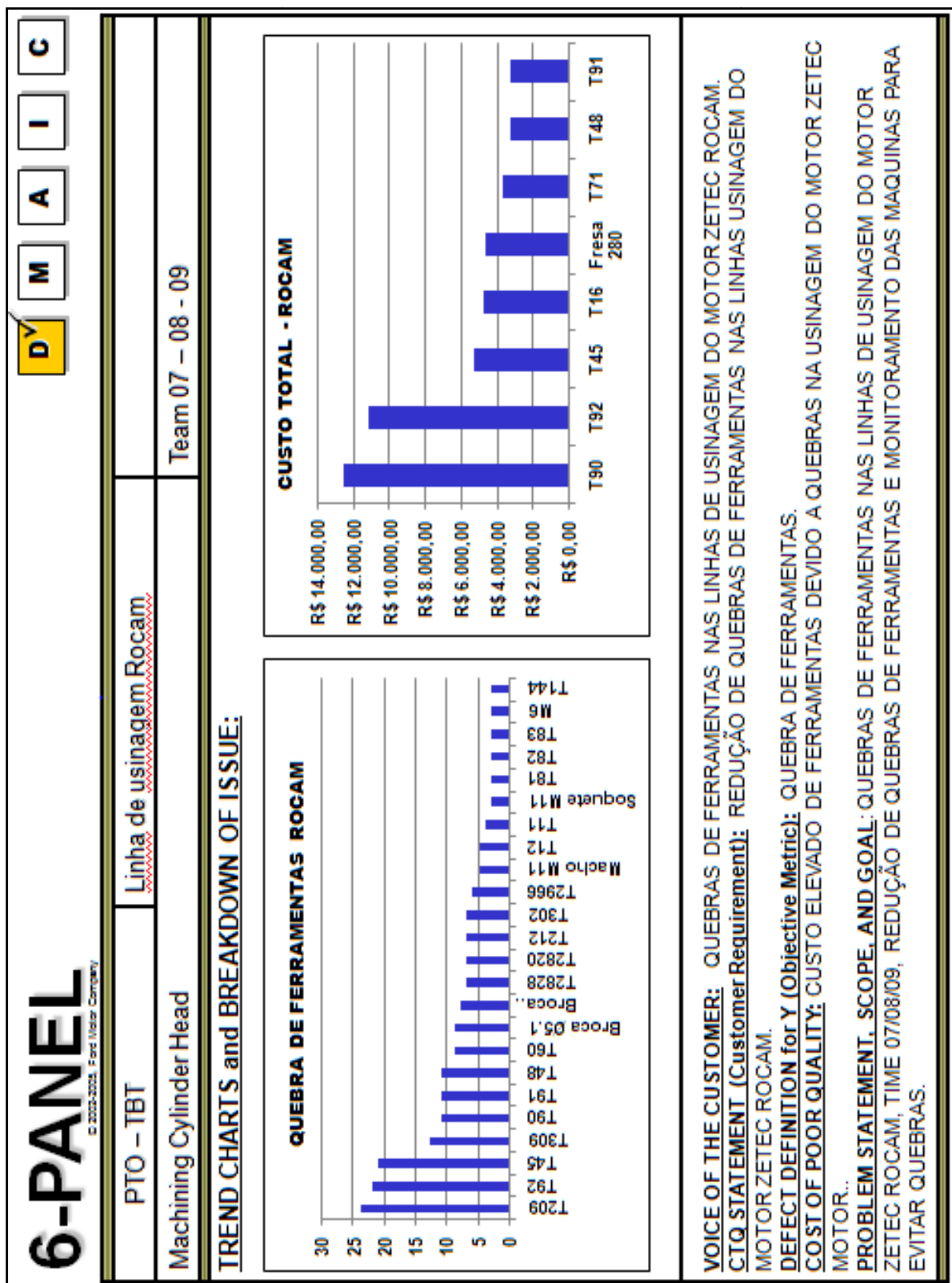


Figura 11 - Medidas das quebras incidentes do Bloco, virabrequim e cabeçote ZETEC ROCAM.

Fonte: Template Ford Seis Sigma.

## 4.2 Definir

Nesta fase, apesar de todas as etapas serem de grande importância, é considerada de grande relevância, pois seguindo de forma correta o procedimento proposto serão obtidas as medições que mais impactam a produtividade e o custo do processo de fabricação. O condutor do projeto deve ficar atento a todas as medições realizadas: os gráficos desenvolvidos, os valores de custo de cada ferramenta, a quantidade de quebras e o valor do investimento para manter o foco na usinagem. Na maioria das vezes este controle acaba sendo negligenciado e não realizado.

A Figura 12 apresenta o diagrama “Espinha de Peixe” realizado para analisar a quebra da ferramenta T45 utilizada na linha de usinagem do bloco do motor. De acordo com a Figura 11 observa-se que a quebra desta ferramenta gera um custo relevante, está entre as três de maior custo. A equipe levantou as principais causas que podiam contribuir para a quebra desta ferramenta utilizando-se de processo de *brainstorm*.

A seguir, com base no diagrama “Espinha de Peixe” as causas foram discutidas e avaliadas pela equipe visando construir a “Matriz de Causa e Efeito”.

Assim, foram medidas e ponderadas às causas mais relevantes que incidiram para a ferramenta em questão. Os resultados provenientes da “Matriz de Causa e Efeito” foram montados para formar um gráfico de Pareto.

# 6-PANEL

© 2002-2005 Ford Motor Company

# D M<sup>v</sup> A I C

MEASURE CTQ(Y) CAPABILITY

## Cause & Effect Diagram Grupo 7

Cause and Effect Matrix		Rating of Importance to Customer	
		6	1
<p><b>Crerios de pontuao:</b>                      Baixa = 1                      Mdia = 5                      Alta = 9</p>			
Process Input		QUEBRA FERR 45	
1	PINO INDEX	1	9
2	PRESSAO DE FIXAO PECA	9	81
3	FALHA DE AIR CHECK	9	81
4	FIXAO DA PECA	9	81
5	FIXAO DO PALETE	5	45
6	FURO INDEX	1	9
7	FALTA DO FURO INDEX	1	9
8	FURO INDEX DESLOCADO	1	9
9	PROFUNDIDADE DO FURO INDEX	1	9
10	TEMPERATURA DO OLEO HIDRAULICO	1	9
11	PROCEDIMENTO DE TORCA DA FERRAM.	1	9
12	CILINDRO GIRATORIO DO PALETE	5	45
Total		396	

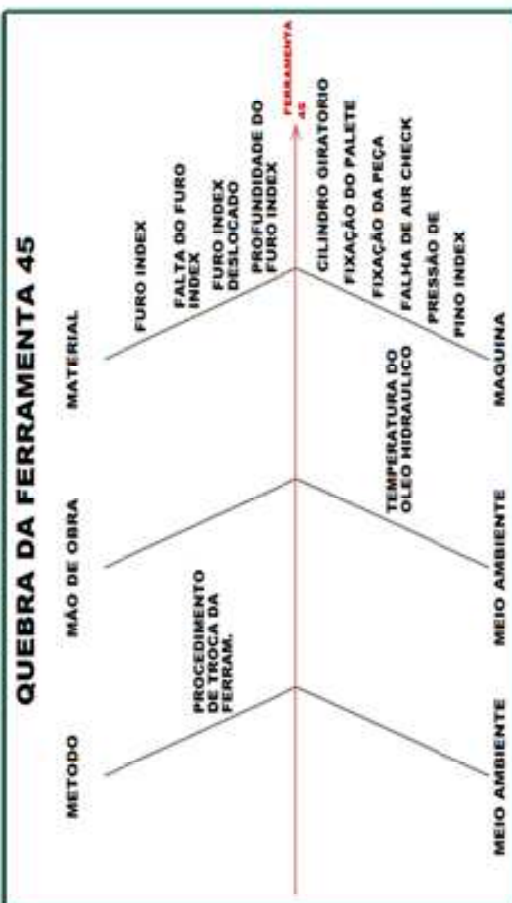
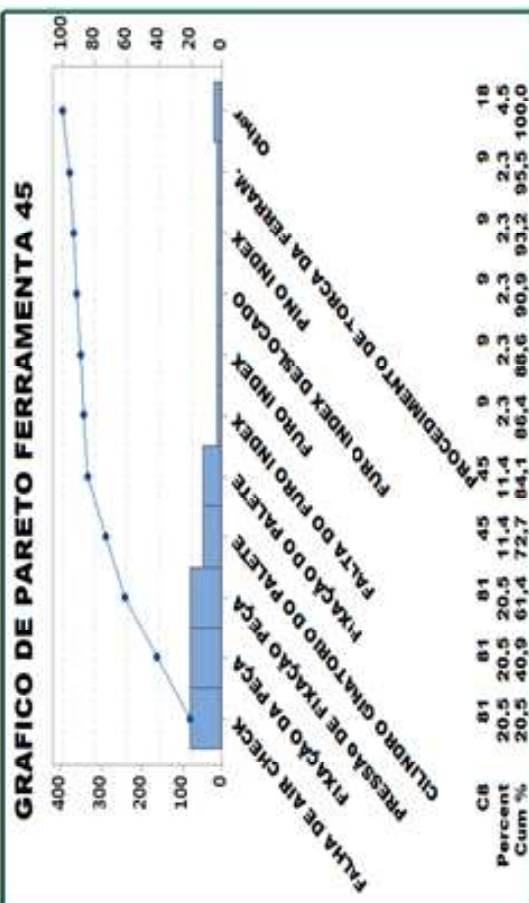


Figura 12- Espinha de Peixe, Diagrama de causa e efeito e gráfico de Pareto da linha do bloco – Ferramenta T45 da linha de usinagem do bloco do motor ZETEC ROCAM.

Fonte: Template Ford Seis Sigma

O gráfico mostrado na Figura 13 apresenta as principais causas de quebra da ferramenta T45 e a frequência destas. Serão tratadas apenas as causas mais relevantes. Observa-se que a causa mais relevante foi o *check air* do dispositivo de apoio da peça. O *check air* indica se a peça se encontra corretamente apoiada. Caso isso não esteja ocorrendo, a peça ficará mal fixada e irá realizar uma usinagem deslocada, podendo causar a quebra da ferramenta.

A segunda causa de quebra desta ferramenta, mas também relevante, ocorreu com o fuso manipulador de ferramentas. Foi detectado que o eixo de giro do manipulador apresentou folga. Assim, a broca T45 quebrava devido à fixação inadequada na árvore da máquina ao ser fixada para usar.

A terceira causa, também ao manipulador de ferramentas, se deve à existência de uma porta de proteção do magazine que dá acesso à troca de ferramentas. Esta causa foi denominada de “Porta de troca de ferramenta”. Neste caso, erros cometidos involuntariamente no programa CNC, provocaram choques, com quebra, entre a porta e a ferramenta quando esta retornava para o magazine.

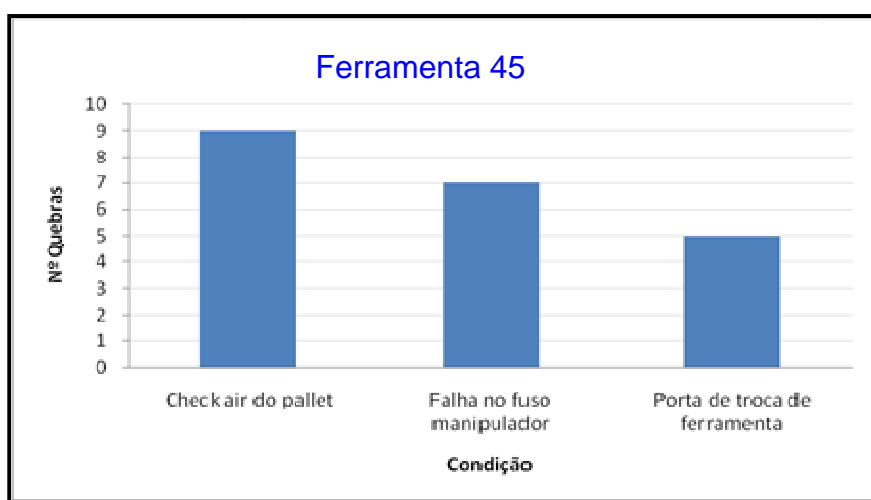


Figura 13 - Gráfico dos números de quebras da ferramenta T45 e suas relevâncias

Fonte: Projeto Seis Sigma - Próprio Autor (2013).

A seguir o mesmo procedimento foi feito para as demais ferramentas.

Na Figura 14 têm-se os dados coletados referentes à quebra da ferramenta T92. Esta ferramenta consta do indicador de ferramentas da linha do bloco do motor que mais vezes apresentou quebras durante o processo de usinagem.

De acordo com o gráfico de Pareto as principais causas para quebra foram: a profundidade da rosca e a profundidade do furo. Estas causas estão apresentadas na Figura 15.

A primeira causa apontada como a mais relevante foi a Profundidade da Rosca. Na verdade esta causa é porque o furo prévio à aplicação do macho T92 ficou menor do que o comprimento desta ferramenta, por erro de programação ao definir o ponto final de penetração do macho. A ocorrência desta causa foi a inabilidade do programador.

# 6-PANEL

© 2003-2008 Ford Motor Company

**D M A I C**  
MEASURE CTQ (Y) CAPABILITY

## Cause & Effect Diagram Grupo 7

Cause and Effect Matrix		9
Rating of importance to Customer		1
Critérios de pontuação: Baixa = 1 Média = 5 Alta = 9		OUVERA FRR 92
Process Input		Total
1	QUEDA DA FERRAMENTA DO RUSC	1
2	CAVACO NO FURO DE FIXAÇÃO DO GNCK	5
3	FALHA DE REFRIGERAÇÃO	5
4	FIXAÇÃO DE PEÇA	1
5	FIXAÇÃO DO PALETE	1
6	CHECK AIR	1
7	ERRO DE PRESSETE	5
8	AJUSTE DO PROGRAMA	5
9	EFEITO PISTÃO NO GNCK	5
10	FALTA ANEL ORING DE VEDAÇÃO	1
11	REGULAGEM DO BRAÇO DO GNCK	5
12	CONCENTRAÇÃO DO OLEO	1
13	VISCOSIDADE DO OLEO	1
14	TEMPERATURA DO OLEO HIDRAULICO	1
15	TEMPERATURA DO OLEO SOLUVEL	1
16	AFIAÇÃO IRREGULAR	1
17	PARAMETRO DE CORTE	5
18	PROGRAMA CNC (FURC X FOSCA)	9
19	PROFUNDIDADE DO FURO	9
20	PROFUNDIDADE DA ROSCA	9
21	DIAMETRO DO FURO	1
22	DIAMETRO DA ROSCA	1
Total		656

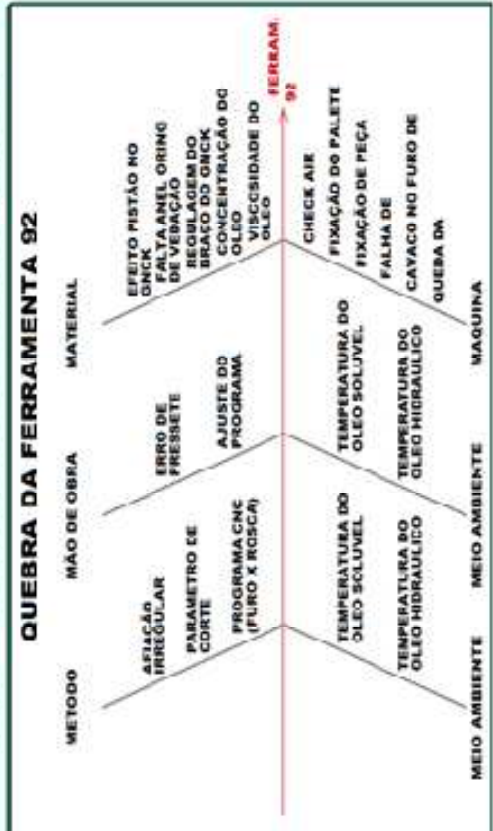
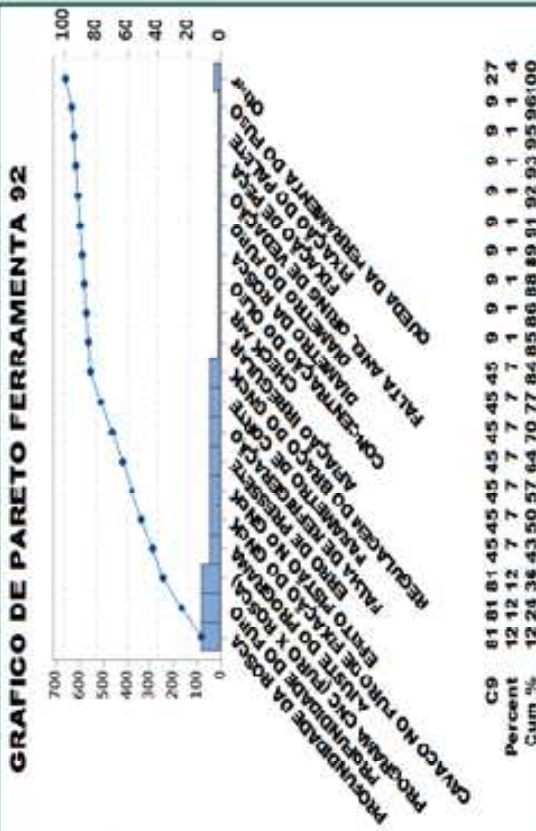


Figura 14 - Espinha de Peixe, Diagrama de causa e efeito e gráfico de Pareto da linha do bloco – Ferramenta T92 da linha de usinagem do bloco do motor ZETEC ROCAM.  
Fonte: Projeto Template Ford Seis Sigma.

A segunda causa relevante foi a Profundidade do Furo. Esta operação foi realizada por uma broca helicoidal. Esta causa foi devido à inabilidade do programador que ao realizar o zeramento da broca não considerou a dimensão da ponta da mesma.

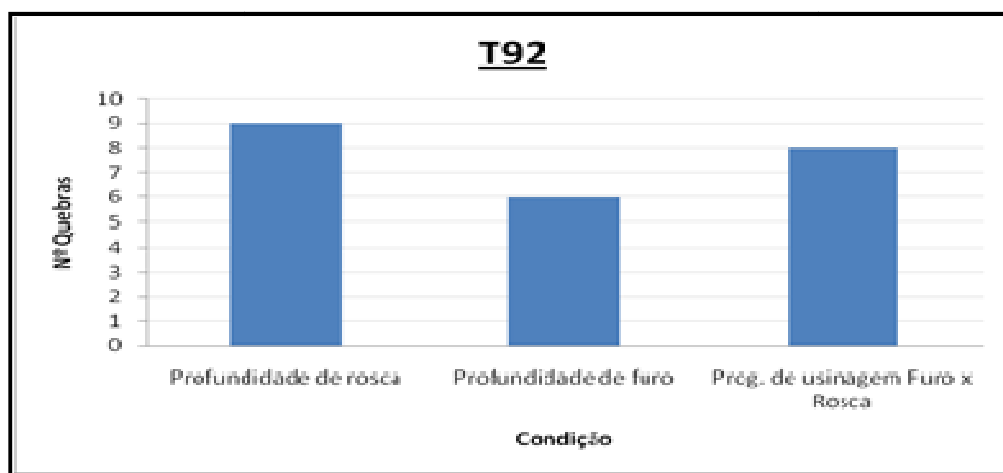


Figura 15 - Gráfico de números de quebras da ferramenta T92 e suas relevâncias

Fonte: Template Ford Seis Sigma

A Figura 16 refere-se à quebra das ferramentas T16, T12 e T11. Este levantamento foi realizado com as três ferramentas porque elas apresentaram as mesmas causas de quebras. As principais causas prováveis identificadas após a realização do gráfico de Pareto foram estratificadas e apresentadas na Figura 17. As causas tiveram a mesma relevância e foram: Falha de *Check Air*, Fixação da Peça e Pressão da Válvula na Fixação da Peça.

O *Check Air* é uma válvula que controla um fluxo de ar por meio de um pequeno orifício instalado no dispositivo de fixação da peça. O fluxo de ar deve ser interrompido toda vez que a peça for fixada corretamente. Caso contrário, significará que houve, por algum motivo, interferência na sua correta fixação. Sempre que isto ocorrer um sinal de alarme sonoro é disparado. A Falha de *Check Air* ocorreu porque o sistema de alarme não estava funcionando;

A fixação da peça no dispositivo adequado preso sobre a mesa da máquina é realizada por garras acionadas hidráulicamente, pressionando-se um botão. A causa da falha de fixação da peça ocorreu porque as garras estavam com problemas de localização da peça;

Por último, a pressão da válvula na fixação da peça não estava suficientemente calibrada. Ao ser usinada a peça, por falta de pressão adequada da válvula se soltava perdendo seu ponto correto de fixação.

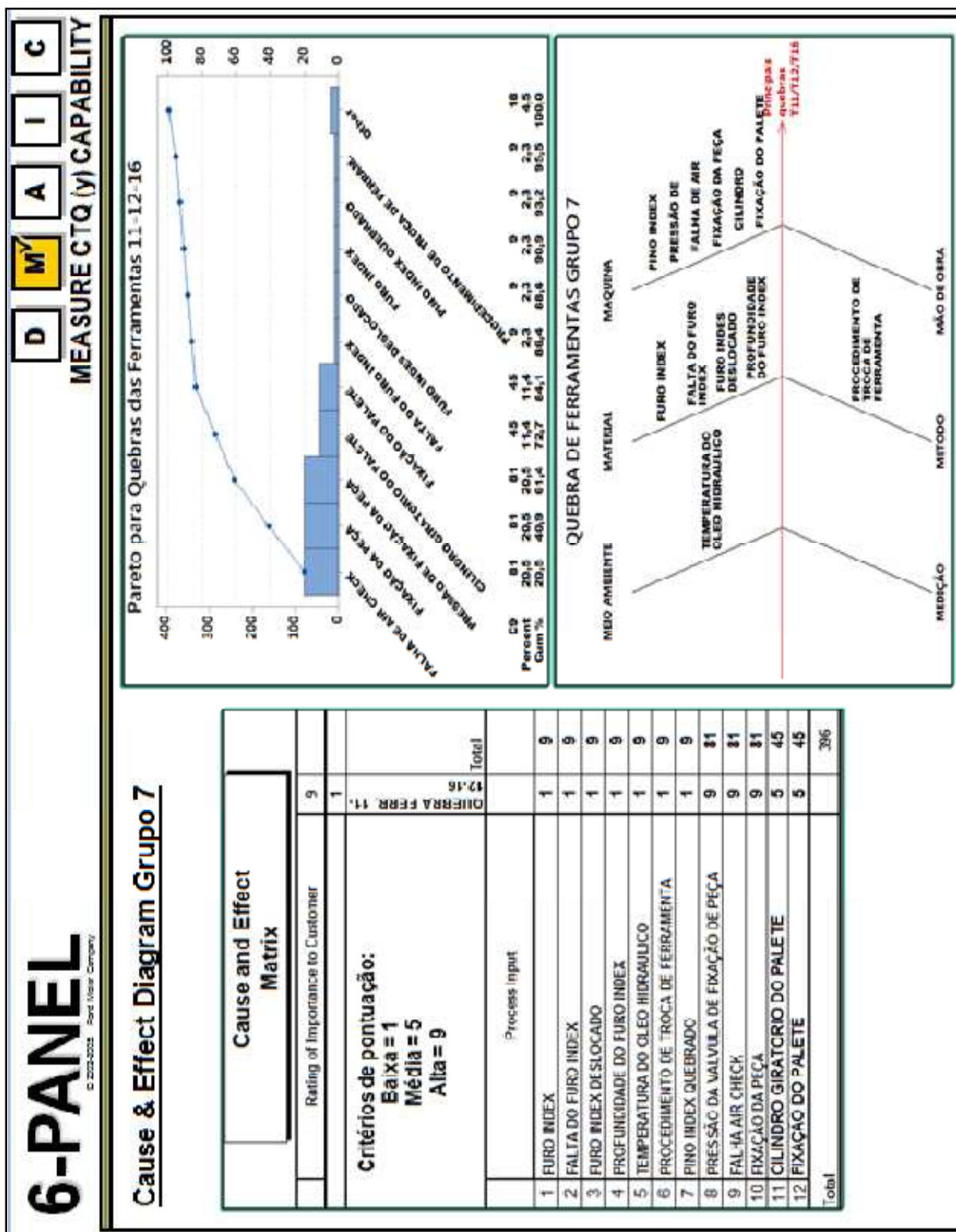


Figura 16- Espinha de Peixe, Diagrama de causa e efeito e gráfico de Pareto da linha do bloco – Ferramenta T16/12/11 da linha de usinagem do bloco do motor ZETEC ROCAM.

Fonte: Template Ford Seis Sigma



Neste gráfico da Figura 17 apresentam-se as quebras ocorridas durante as investigações realizadas pela equipe do projeto, observando-se a falha de *check air*. Conforme comentários anteriores a peça provavelmente não ficou totalmente apoiada no dispositivo de usinagem. Pode-se perceber que as doze ferramentas que se quebraram estão relacionadas com este modo de falha.

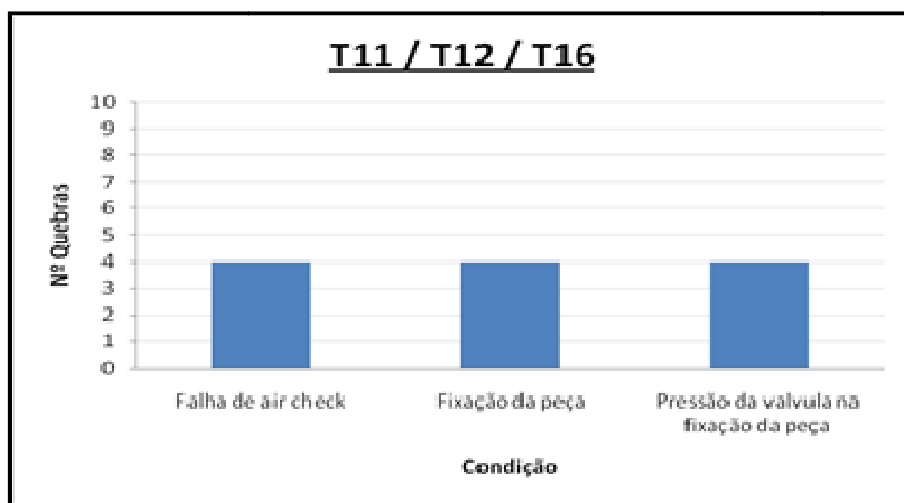


Figura 17 - Gráfico de números de quebras da ferramenta T11, T12 e T16 e suas relevâncias.

Fonte: Template Ford Seis Sigma.

A Figura 19 apresenta o levantamento relativo à ferramenta T144, que realiza as roscas no flange do virabrequim. Elas são utilizadas para fixação do volante do motor. Esta é a ferramenta que mais contribuiu para o aumento do custo nesta área. O gráfico de Pareto revela as principais causas que afetavam a quebra desta ferramenta, conforme mostrado na Figura 20.

Uma primeira causa é na Bomba de Alta Pressão. Esta causa é parecida com a tratada na Figura 17 e que foi caracterizada como sendo Pressão da Válvula na Fixação da Peça, Entretanto, foi assim denominada por tratar-se de máquinas e áreas diferentes. Quando esta falha ocorre a peça fica solta no dispositivo;

A segunda causa é a Falha “efeito pistão” ocorre no cabeçote reversível de fixação da ferramenta quando o líquido refrigerante sofre perda de pressão geralmente causada por desgaste das vedações existentes dentro deste cabeçote. Estes desgastes podem ocorrer tanto por ataque químico pelo óleo que ele utiliza, como por resíduos de cavacos vindos do tanque de refrigeração. Devido a estes desgastes, a pressão necessária para acionar o cabeçote reversível varia. Assim, ocorrem variações nas condições de usinagem que acarretam quebras. A Figura 18

apresenta a foto de um cabeçote reversível que é utilizado em centros de usinagem. Tal cabeçote, quando não ocorre o efeito pistão, trabalha com dados de corte maiores que os utilizados em produção normal, produzindo roscas com altíssimas qualidades.

A terceira falha é chamada de M21. Trata-se da perda de pressão do fluido de corte que é insuflado através dos orifícios desde o tanque até a ponta da ferramenta. Isto ocorre porque com o tempo os anéis de vedação deterioram.

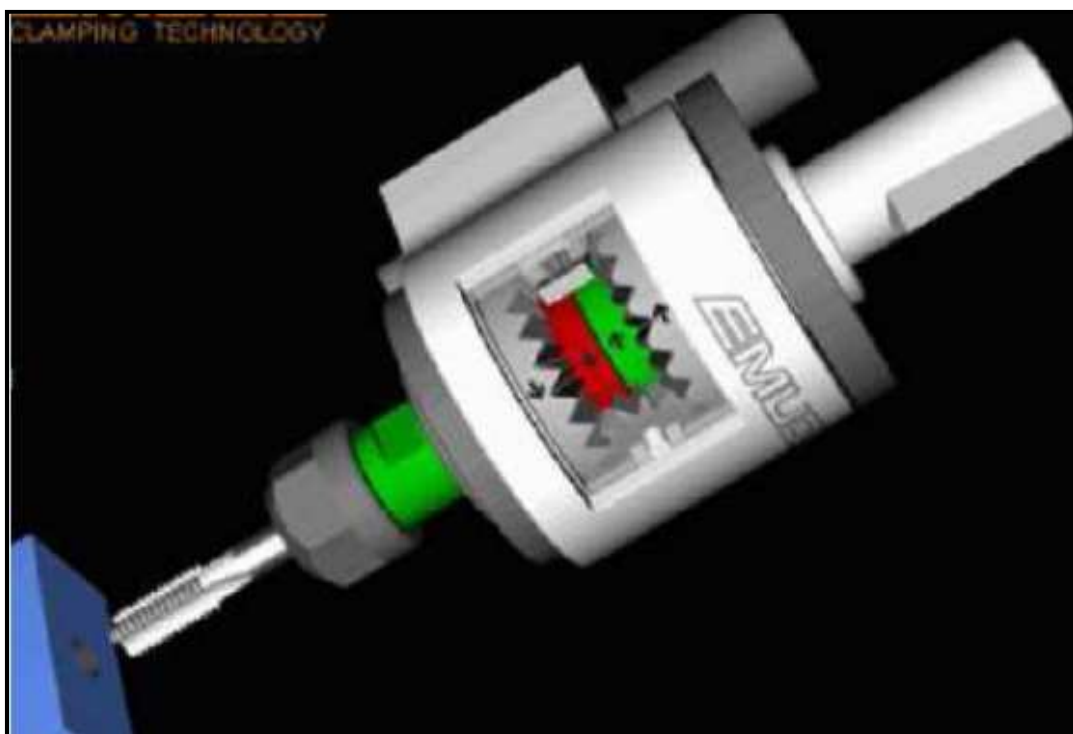


Figura 18 - Cabeçote reversível GNCK.

Fonte: <http://www.sanchesblanes.com.br>



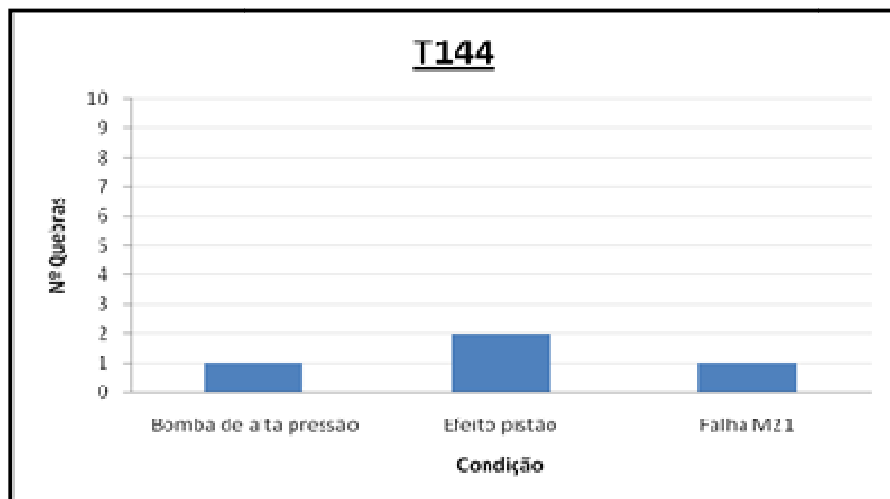


Figura 20 - Gráfico de números de quebras da ferramenta T144.

Fonte: Projeto Seis Sigma Próprio Autor (2013).

A Figura 21 apresenta o levantamento relativo às ferramentas da linha de fabricação do cabeçote que é em Alumínio. Este é um processo de usinagem complexo devido ao fato de que as ferramentas são construídas para trabalhar com rotação e avanço altos.

O gráfico de Pareto aponta para duas causas mais relevantes. Tais causas estão apresentadas na Figura 22.

Falha de *Check Air* que ocorre para as Ferramentas T71 e T73 à semelhança do que ocorreram com as ferramentas T11, 12 e 16 (Figura 17).

Quebra da ferramenta por perda de referência dos eixos da máquina (X, Y, Z). Isto ocorre por problemas relacionados o acionamento do motor. A solução é realizar a manutenção da máquina.

Quando ocorre esta falha com o equipamento em trabalho, a máquina perde a referência dos eixos, e pode-se ter um movimento dos eixos que estão em operação, ocasionando a quebra da ferramenta.

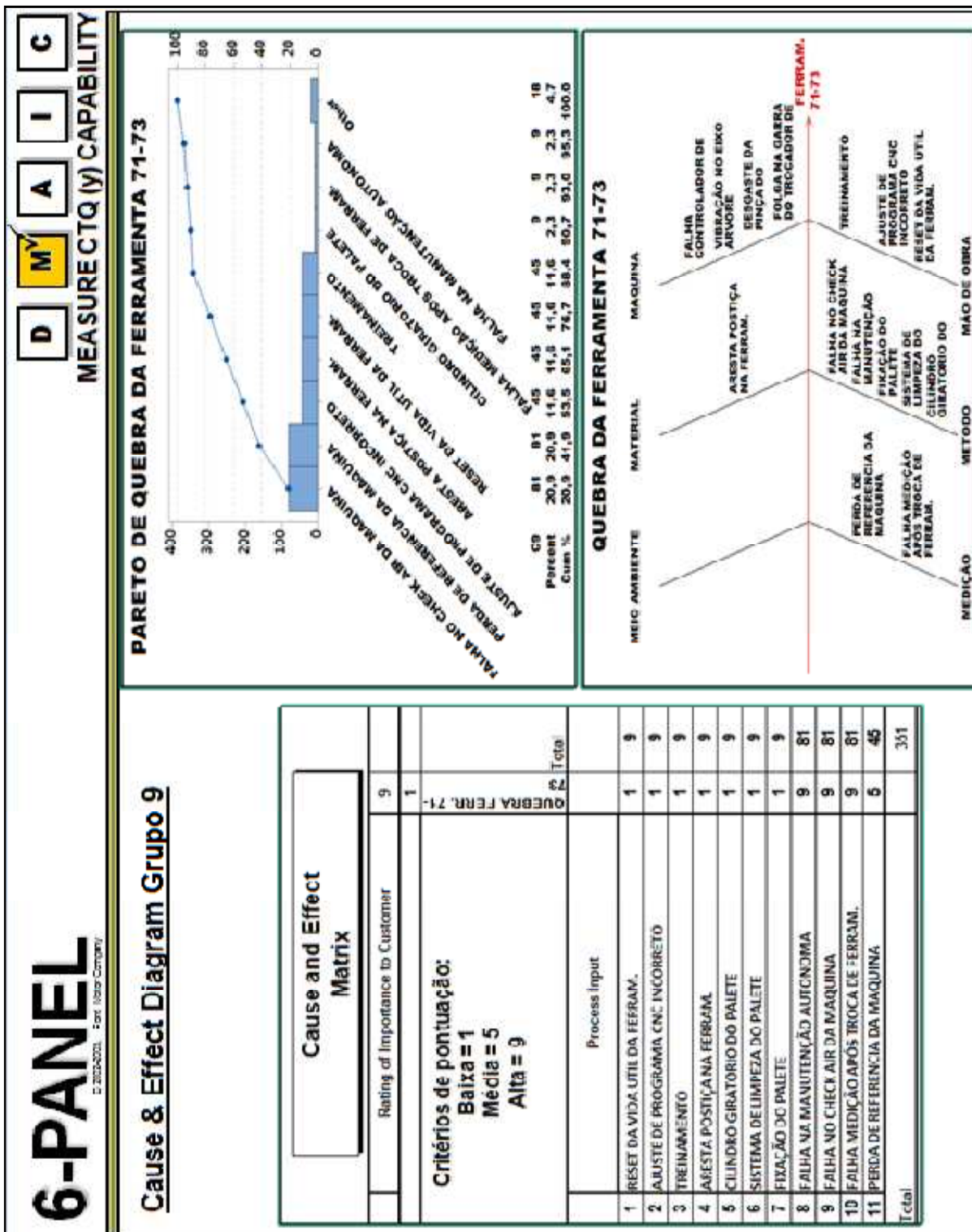


Figura 21 - Espinha de Peixe, Diagrama de causa e efeito e gráfico de Pareto da linha do Cabeçote – Ferramenta T71/73 do motor ZETEC ROCAM.  
 Fonte: Template Ford Seis Sigma.

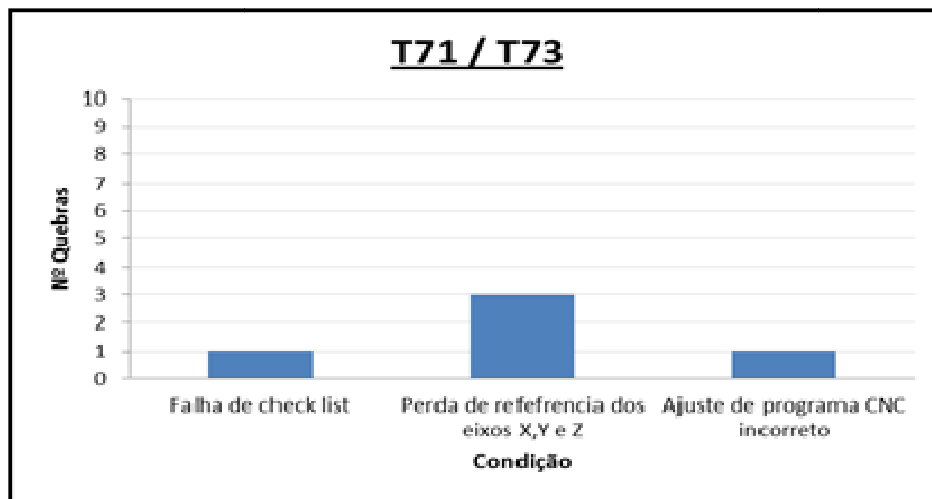


Figura 22 - Gráfico de números de quebras da ferramenta T71 e T73.

Fonte: Projeto Seis Sigma Próprio Autor (2013)

A Figura 23 apresenta aspectos relativos à ferramenta T209 e T309. Esta ferramenta faz a operação de rosqueamento M6 para fixação da tampa de comando no cabeçote do motor. O mandril utilizado para a fixação é, na verdade, um cabeçote reversível utilizado em máquinas com potências suficientemente altas para suportar dados de corte mais severos.

O gráfico de Pareto aponta para duas causas mais relevantes. Tais causas estão apresentadas na Figura 24. As principais causas de quebra foram:

- falta de um *check list* para análise de liberação da máquina depois da troca da ferramenta por uma nova;
- indexação do cabeçote reversível danificado;
- efeito pistão, ou seja, falha da ferramenta causada por desgaste dos componentes do cabeçote reversível.

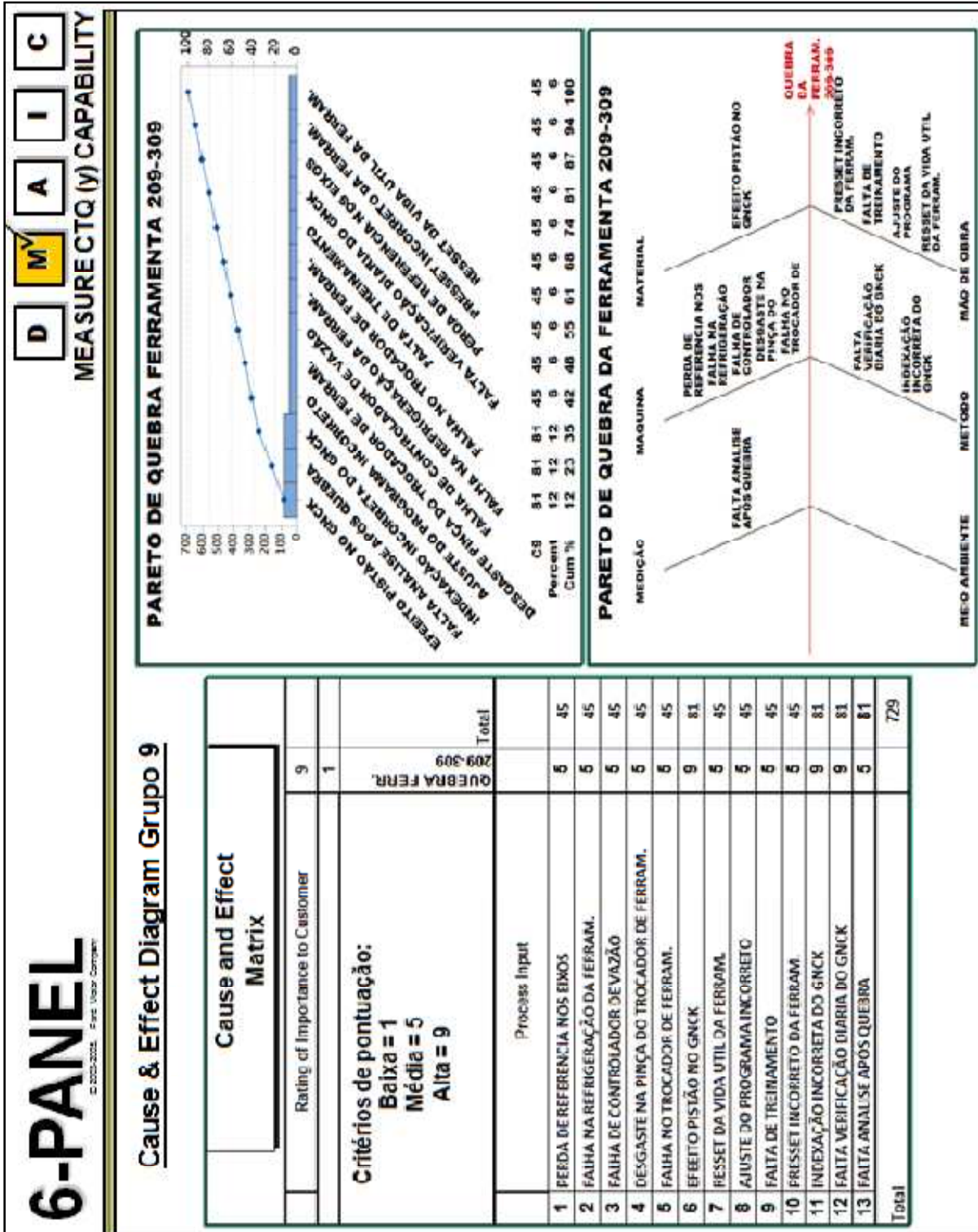


Figura 23 - Espinha de Peixe, Diagrama de causa e efeito e gráfico de Pareto da linha do Cabeçote – Ferramenta T209/309 do motor ZETEC ROCAM.

Fonte: Template Ford Seis Sigma.

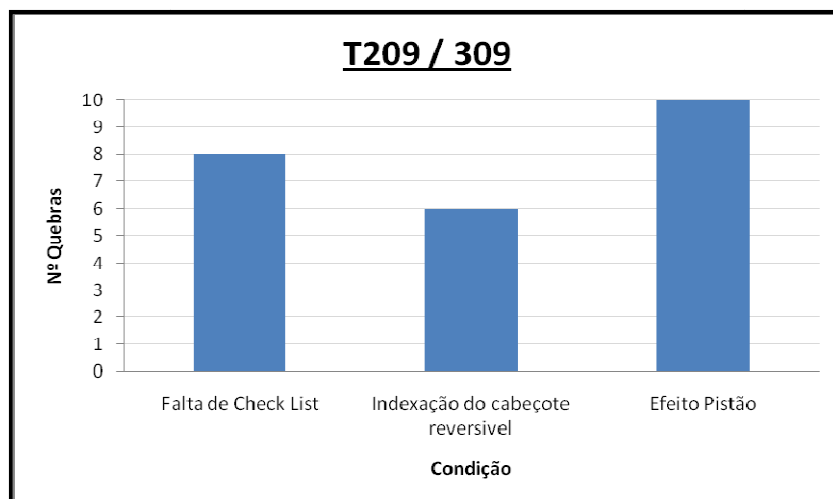


Figura 24 - Gráfico de números de quebras das ferramentas T209 e T309.  
Fonte: Projeto Seis Sigma Próprio Autor (2013).

Fazendo um resumo da fase “Medir” pode-se dizer que esta nada mais é do que juntar e quantificar os resultados obtidos e registrados em gráficos preparando para a fase seguinte do DMAIC. Por meio da matriz de causa e efeito foram pontuados os potenciais motivos da quebra levando-se em conta as interpretações de cada membro da equipe. Assim, foi possível construir os gráficos de Pareto. Neles, foi destacada a porcentagem de contribuição para cada causa de quebra. Os gráficos que contabilizam o número de quebras e suas relevâncias foram obtidos com as informações cedidas pelo gerenciador de ferramentas.

### 4.3 Analisar

Pela aplicação da metodologia DMAIC lembrando que para cada problema “Y” (representa a quebra da ferramenta) existem diversas razões “X” que explicam as possíveis causas de quebras. As razões X são definidas por um *brainstorm* do qual participam todos os membros da equipe. Neste caso, todos os aspectos relacionados com as possíveis causas de quebra das ferramentas são listados a partir da construção do gráfico. Espinha de Peixe. Assim é que fica possível construir e discutir a matriz de causa e efeito. Nela a ponderação de cada item é a resposta da função “Y”.

Conforme Figura 25, iniciou-se o plano para recuperação dos itens que apresentaram falhas identificadas na fase Medir. O primeiro plano foi realizado pela



equipe T07 (linha de usinagem de blocos). Os seguintes itens foram destacados pela equipe do projeto visando resolver os problemas geradores de quebras.

Falha do *Check Air*. A análise desta falha passou pela verificação dos problemas técnicos motivadores da quebra da ferramenta. Tal análise mostrou a necessidade de efetuar a regulagem de todo o sistema.

Falha no fuso manipulador. Foi identificada falta de reposicionamento do fuso a cada ciclo realizado.

Porta do trocador de ferramentas. A análise realizada mostrou que a porta do trocador de ferramentas não estava retornando à sua posição original após um ciclo com troca de ferramentas.

# 6-PANEL

© 2002-2005, Ford Motor Company

D

M

A<sup>v</sup>

I

C

ANALYZE y=f(x)

**Time 07 – T92 / T45 / T92 / T11 / T12 / T16**

**Y = f(X) para T92 / T45**

- Falha Check air do pallette
- Falha no fuso manipulador
- Porta de troca de ferramentas

**Y = f(X) para T92**

- Profundidade da rosca
- Profundidade do furo
- Programa de usinagem furo x rosca

**Y = f(X) para T11 / T12 / T16**

- Falha de air check
- Fixação de peça
- Pressão da válvula na fixação de peça

Figura 25 - Ações levantadas através do Y = f (X) para as ferramentas da linha de usinagem do bloco do motor ZETEC ROCAM.

Fonte: Template Ford Seis Sigma.

A Figura 26 se refere aos itens levantados para a linha de usinagem do Virabrequim sendo, responsabilidade do T08.

Bomba de alta pressão. Devido ao uso por longo tempo a bomba começou a apresentar desgastes não conseguindo mais manter uma pressão adequada e necessária para o processo.

Efeito pistão no cabeçote reversível. A análise do dispositivo mostrou a presença de desgastes que provocavam o retorno do óleo do sistema hidráulico do cabeçote.

Falha de Refrigeração (M21). A análise realizada neste quesito mostrou que os anéis de vedação necessitavam manutenção e eventualmente troca.

Ainda na Figura 26 têm-se os itens com as causas de quebras para a usinagem do cabeçote que ficaram sob a responsabilidade do T09.

Falha do *Check Air*. Mesmo problema mencionado anteriormente, apesar de o sistema estar operando em outra máquina.

Perda de Referência na Máquina. A análise mostrou que a causa desta falha estava relacionada com problemas relacionados aos componentes eletrônicos utilizados para o correto posicionamento dos eixos.

Falta de Análise do *Check List* Após Quebra de Ferramenta. A análise deste item mostrou a necessidade de estabelecer uma rotina de verificação para liberação da máquina após a troca de ferramentas.

Index Incorreto do GNCK no Fuso Árvore. A análise mostrou a existência de desalinhamento entre o cabeçote reversível e o fuso árvore.

Quebra Devido ao Efeito Pistão no Cabeçote GNCK. A análise deste item mostrou a ocorrência de vazamento de óleo internamente ao cabeçote o que provocava o efeito pistão.

# 6-PANEL

© 2002-2005, Ford Motor Company

D

M

A

I

C

ANALYZE y=f(x)

**Time 08 – T144**

**Y = f(X) para T144**

- Falha na bomba de alta pressão
- Efeito pistão no cabeçote reversível
- Falha de refrigeração (M21)

**Time 09 – T71 / T73 / T209 / T309**

**Y = f(X) para T71 / T73**

- Falha de check air máquina 441 / 442
- Perda de referencia na máquina

**Y = f(X) para T209 / T309**

- Falta analise do check lista após quebra de ferramenta
- Index incorreto do GNCK no fuso arvore
- Quebra devido a efeito pistão no cabeçote GNCK

Figura 26 - Ações levantadas do Y = f (X) para as ferramentas da linha de usinagem do Virabrequim e cabeçote.

Fonte: Projeto Template Ford Seis Sigma.

#### 4.4 Implementar

Nesta etapa da implementação das principais oportunidades para redução de custo do processo de fabricação das peças envolvidas do motor após todas as ações propostas no plano, a equipe realizou novamente o levantamento das ferramentas envolvidas nas quebras utilizando-se do mesmo modo de estudo anterior. Ficou evidenciado, conforme se observa nos gráficos a seguir, que as ações foram robustas o suficiente para corrigir os problemas que levavam as ferramentas a quebrarem.

Os gráficos de custos de quebras de ferramentas também mudaram. Algumas ferramentas deixaram de figurar como as de maior incidência de quebras e maiores custos. Por outro lado, como é típico de procedimentos de melhoria contínua, outras ferramentas apareceram passíveis de sofrerem o mesmo tratamento dados às primeiras.

Comparando os gráficos de barra da Figura 9 (antes da implementação), com a Figura 27 (após a implementação), observa-se que um esforço de otimização era dedicado à ferramenta Broca de diâmetro 5,1mm. Após a implementação, foi possível observar que na verdade esta broca não gerava os custos que justificasse tal esforço. Isto porque, a ferramenta T144, representava um impacto de custo devido às quebras muito mais significativo.

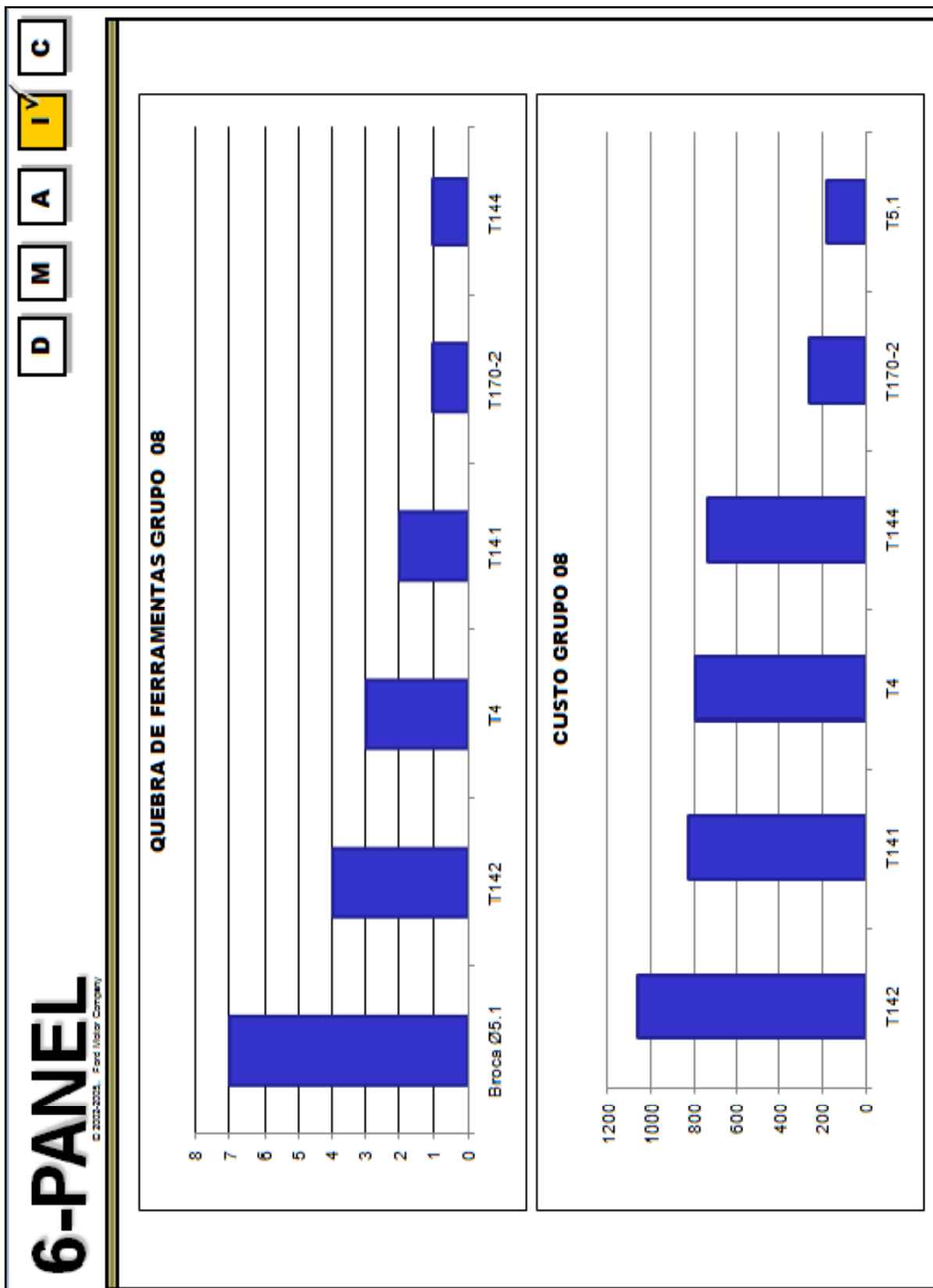


Figura 27 - Medida das quebras incidentes na linha de usinagem do Virabrequim.

Fonte: Template Ford Seis Sigma.

Nas Figuras 10 e 28, observa-se a presença da ferramenta T209, como a que maior número de quebras apresenta. Como esta ferramenta nunca mostrou um impacto de custo significativo, nenhuma providência de melhoria foi preocupação da equipe T09. Ao contrário, a preocupação voltou-se para as ferramentas T71 e 73, que apresentavam o maior custo. Após a aplicação do DMAIC observa-se na Figura 28 que a ferramenta T209, continua sendo a que mais quebra, porém seu custo ficou abaixo do limite mínimo considerado.

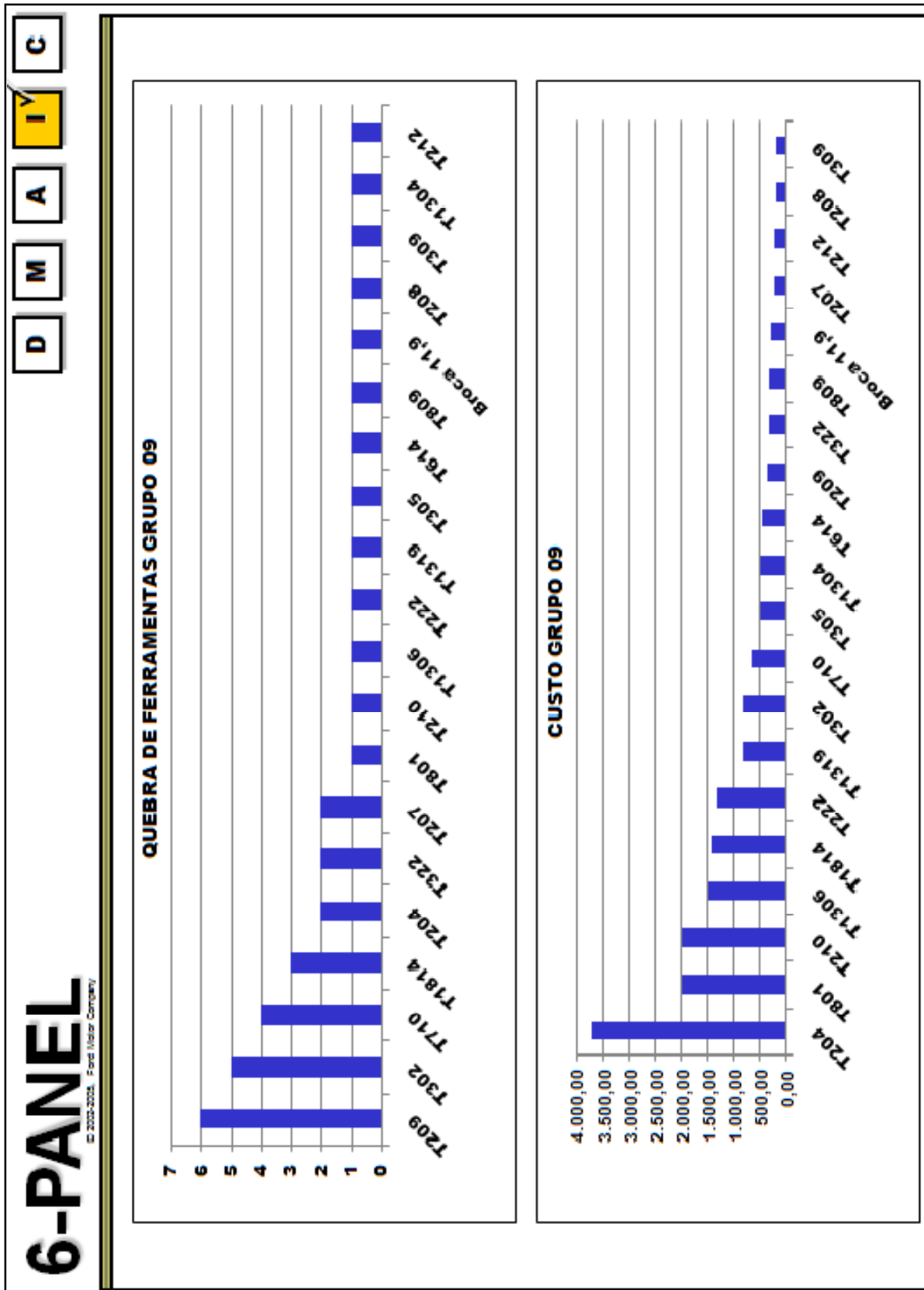


Figura 28- Medida das quebras incidentes na linha de usinagem do Cabeçote.  
 Fonte: Template Ford Seis Sigma



O plano de ação apresentado na Figura 29 é referente às ações propostas para a redução de quebras das ferramentas T92 e T45. Foram realizadas as seguintes ações para estas ferramentas:

- instalação de um sistema de limpeza para a indexação do cabeçote reversível (GNCK), para evitar acúmulo de cavacos neste furo, salientando que o equipamento já possuía este sistema de limpeza, mas ao passar do tempo foi desabilitado;
- revisão no programa CNC, conferindo o percurso das ferramentas T92 e T45, como também a aproximação da ferramenta contra a peça a ser usinada. Foram também conferidos os parâmetros de corte das ferramentas, embora tenham sido encontrados não carentes de aperfeiçoamentos;
- verificação do sistema de fixação de peças no dispositivo da máquina bem como foi analisada a pressão de fixação e seus pontos de apoio;
- verificação dos parâmetros de corte para o cabeçote reversível (GNCK) e qual o tipo de material que foi utilizado para a construção do macho rosqueador.
- antes da aplicação do DMAIC o macho rosqueador podia ser metal duro ou de aço rápido. Obviamente que para cada material havia a necessidade de identificação e utilização dos parâmetros de corte corretos e a eles adequados.
- foi adotado macho de metal duro e o problema foi solucionado.
- foi realizada a inspeção no sistema de refrigeração da máquina, na pressão de fluido de corte, na quantidade em uso do fluido de corte e se havia alguma obstrução no sistema de refrigeração. Foi detectado que havia falhas na pressão do fluido de corte e presença de obstrução, que foram regularizados;
- verificação dos movimentos do eixo B (mesa da máquina que fica preso o dispositivo de fixação das peças a serem usinadas), observando se o mesmo estava realizando corretamente sua parada programada. Estava em ordem;
- verificação do eixo X, tanto parada programada como possíveis vibrações de seus componentes. Estava em ordem;
- foi necessário fazer a manutenção preventiva das molas pratas do fuso árvore, (sistema utilizado para fixação e pressão da ferramenta no fuso árvore da máquina).

- resolvido o problema do sistema de limpeza interna da máquina para prevenção de contaminação do cone da ferramenta com o cavaco produzido durante o processo de usinagem.

ITEM	DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE	RESPONSÁVEL	DATA	PROGRESSO %					Observação	
				PREVISTA	20	40	60	80		100
1	Op# 390 - Instalar sistema de limpeza do index do cabeçote reversível	Rodrigo	17/10/2013							
2	Op# 390 - Verificar programa de usinagem ref. a profundidade do furo X rosca	Rodrigo	10/09/2013							
3	Op# 390 - Revisar sistema de fixação de peça	Rodrigo	21/10/2013							
4	Op# 390 - Revisar parâmetros de corte do macho	Rodrigo MSX	10/09/2013							
5	Op# 380A - Revisar sistema de refrigeração	Rodrigo	18/10/2013							
6	Op# 380A - Revisar monitoração do eixo B	Rodrigo	18/10/2013							
7	Op# 380D - Revisar slider eixo X	Rodrigo	03/10/2013							
8	Op# 380 - Revisar preventiva de moila prato	Rodrigo	18/10/2013							
9	Op# 380 - Revisar sistema de limpeza interna das máquinas (bombas de limpeza)	Rodrigo	15/11/2013							GPA
<b>REALIZAR PREVENTIVAS QUE ESTÃO NA PASTA</b>										

Figura 29 - Plano de ação fechado para as ações da linha de usinagem do bloco.

Fonte: Ford Seis Sigma.

Na Figura 30 são apresentadas as ações que ficaram definidas pela equipe do projeto T08 para diminuir o indicador de quebra da ferramenta T144 que é utilizada na linha de usinagem do Virabrequim. As ações foram:

- substituição do registro de controle de fluído do sistema de refrigeração, pois de acordo com o levantamento realizado pela equipe do projeto esta falha estava contribuindo para a quebra desta ferramenta;
- instalação de uma trava para o registro de controle de fluído do sistema de refrigeração, pois de acordo com o levantamento da possível causa de quebra desta ferramenta a equipe do projeto observou que este registro várias vezes durante a investigação de quebra se encontrava fechado ou apresentando uma restrição, provocando uma restrição quanto ao volume de fluído de corte;
- instalação de um bico de sopro de ar comprimido para facilitar a limpeza do pino indexador do cabeçote reversível (GNCK);
- realizar um plano de manutenção preventiva para o cabeçote reversível, que, de acordo com os estudos realizados, é um forte contribuinte para quebra da ferramenta T144.

# 6-PANEL

© 2002-2005, Ford Motor Company

D M A I C

## Time 08 – T144



### TAUBATE ENGINE PLANT



### PLANO DE AÇÃO QUEBRA DE FERRAMENTA - T 144

ÍTEM	DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE	RESPONSÁVEL	DATA PREVISTA	PROGRESSO %					Observação
				02	40	60	80	100	
1/3	Substituir o registro de alta pressão	Tuan / Rodrigo	30/10/2013						GPA
1/3	Instalar trava com cadeado no registro de alta pressão	Tuan / Rodrigo	30/11/2013						GPA
1/3	Instalar bico de ar comprimido para limpeza do index	Tuan / Rodrigo	30/10/2013						
2	Realizar manutenção no cabeçote reversível	MSX	10/10/2013						

REALIZAR PREVENTIVAS QUE ESTÃO NA PASTA

Figura 30 - Plano de ação fechado para as ações da linha de usinagem do bloco.

Fonte: Template Ford Seis Sigma.

Já na Figura 31 se apresenta um plano de ação com as melhorias sugeridas pela equipe do projeto T09 para as ferramentas T73 e T71. As ações foram às seguintes:

- programou-se um *check list* para inspeção quinzenal destas máquinas envolvida neste processo e foi estabelecido um critério para a manutenção preventiva tanto máquina como os dispositivos de fixação de peças;
- foi adotado um esquema de acompanhamento dos dados levantados sobre a manutenção preditiva das máquinas que utilizam estas ferramentas. Foram verificados os gráficos gerados sobre a vibração dos eixos X, Y, Z e do fuso arvore da máquina.
- foi organizado um *check list* para inspeção quinzenal destas ferramentas quanto à formação de arestas postiças, micro trincas e possíveis avarias nos insertos que estas ferramentas possuem. Durante a condução deste projeto a equipe percebeu esta necessidade;
- revisão no sistema de refrigeração das máquinas, por causa das ferramentas exigirem um grande fluxo de óleo refrigerante para a usinagem. Tal revisão resolveu questões tanto a bomba de alta pressão como todo seu sistema. Foi estabelecido ser necessário que esta verificação fosse de forma sistêmica, para o que foi elaborada uma ficha de avaliação preventiva diária;
- no levantamento realizado pela equipe do projeto necessitou ser acrescentada no plano uma ação para verificação do trocador de ferramentas da máquina 441, pois tanto a garra como sua pinça apresentaram folga excessiva quando a mesma estava sendo manipulada. A folga foi detectada entre o fuso arvore e seu magazine, podendo haver uma indexação da ferramenta fora da posição correta;
- foi realizada uma informação de conduta aos operadores destes equipamentos quanto ao cumprimento do *check list*.

# 6-PANEL

© 2002-2005, Ford Motor Company

C

I

A

M

D

## Time 09 – T73 / T71

### TAUBATE ENGINE PLANT



### PLANO DE AÇÃO QUEBRA DE FERRAMENTA - T73 / T71

ITEM	DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE	RESPONSÁVEL	DATA PREVISITA	PROGRESSO %					Observação	
				02	04	06	08	100		
1.1	Criar preventiva do Check air com frequência quinzenal. OP#270	Rodrigo / Leandro	20/10/2013							
1.2	Verificar teste de vibração nos fusos esféricos da máquina 441 e 442.	Comau	18/10/2013							
1.3	Analisar junto a MSX a Aresta posista na máquina.	MSX	20/10/2013							
1.4	Revisão no sistema de refrigeração da máquina ( M21 / M20 )	Rodrigo	20/10/2013							
1.5	Revisão na garra/pinça do trocador de ferramentas da máquina 441	Manutenção	30/10/2013							GPA
1.6	Orientar os operadores para verificar o funcionamento do check air na OP#270 inicio do turno. Conforme Manutenção autonomia.	Time 9	10/10/2013							
1.7	Confrontar parametros de usinagem e corte da ferramenta ( Programa da máquina ).	Marcio	10/10/2013							
REALIZAR PREVENTIVAS QUE ESTAO NA PASTA										

Figura 31 - Plano de ação fechado para as ações da linha de usinagem do Cabeçote.

Fonte: Template Ford Seis Sigma.

Na Figura 32 são apresentadas as principais ações levantadas pela equipe do projeto T09. As ações foram:

- orientações para os técnicos da empresa que realiza o gerenciamento de ferramentas quanto ao uso do *check list* proposto pela equipe do projeto para análise de quebras antes da liberação do equipamento para iniciar novamente a usinagem;
- foi recuperada a providência de verificar se as ferramentas T209 e T309 apresentavam vazamentos de fluido de corte pela lateral das mesmas. Passou-se, também, a verificação da causa efeito pistão para ambas as ferramentas citadas.
- também neste caso foi elaborado um *check list* para analisar a presença de avarias tais como: aresta postiça de corte, trincas e lascamentos. Reabilitar o funcionamento da terceira bomba do tanque de alta pressão de algumas máquinas que se encontravam desabilitadas por motivo de quebras ou por falta de manutenção, salientando que a falta desta bomba ocorre perda de pressão no sistema de refrigeração;
- foi realizado um plano robusto para manutenção dos cabeçotes reversíveis (GNCK), cuja foto consta da Figura 16, pois este tipo de ferramenta exige uma manutenção periódica em seus componentes;
- foi retomada a decisão de manter ferramentas reservas disponíveis para, assim, diminuir tempo de máquina parada.

# 6-PANEL

© 2002-2005, Ford Motor Company

D

M

A



I

C

## Time 09 – T209 / T309

### TAUBATE ENGINE PLANT

#### PLANO DE AÇÃO QUEBRA DE FERRAMENTA - T 209 / 309

ITEM	DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE	RESPONSÁVEL	DATA PREVISTA	PROGRESSO %					Observação
				02	04	06	08	001	
1.1	Orientar os técnicos da MSX para realizar o check list de quebra junto a manutenção.	MSX	10/10/2013						
1.2	Realizar a ronda do GNCK no início de cada turno. Obs. Fazer o teste efeito pistão na ferramenta.	Técnico	10/10/2013						
1.3	Reabilitar a pressão da terceira bomba na máquina 433 / 432 / 431	Manutenção	20/10/2013						
1.4	Manutenção preventiva do GNCK ( Quando sair da máquina ou vida útil de ferramenta )	Rodrigo	15/10/2013						
1.5	Manter uma ferramenta reserva na Cetula 1 para evitar tempo de máquina parada.	Rodrigo	05/10/2013						
1.6									
1.7									
REALIZAR PREVENTIVAS QUE ESTAO NA PASTA									

Figura 32 - Plano de ação fechado para as ações da linha de usinagem do Cabeçote.

Fonte: Template Ford Seis Sigma.



A Figura 33 representa o levantamento do custo das ferramentas que sofreram quebras durante o processo de usinagem. Nela é possível observar que, logo no primeiro mês de início do projeto e o início das ações propostas já começaram surgir resultados, como por exemplo, menor volume de aquisição de ferramentas resultando na redução de custos para repor as ferramentas que estavam quebrando durante o processo de usinagem.

Percebe-se que houve uma melhoria em relação ao custo de ferramenta, de acordo com os números fornecidos pelo gerenciador externo. No mês de Agosto, foi iniciado o projeto e desenvolvidas as propostas pelas equipes. Neste mês R\$ 71.356,86 representava o custo com ferramentas. No segundo mês houve uma redução no custo de ferramentas para R\$ 54.172,22. Isto ocorreu graças às ações propostas e também o comprometimento das áreas envolvidas. No terceiro mês o custo caiu para R\$ 22.709,77 demonstrando a eficiência das ações realizadas.

O ANEXO 1 tem as reduções de custos detalhadas por equipe do projeto.

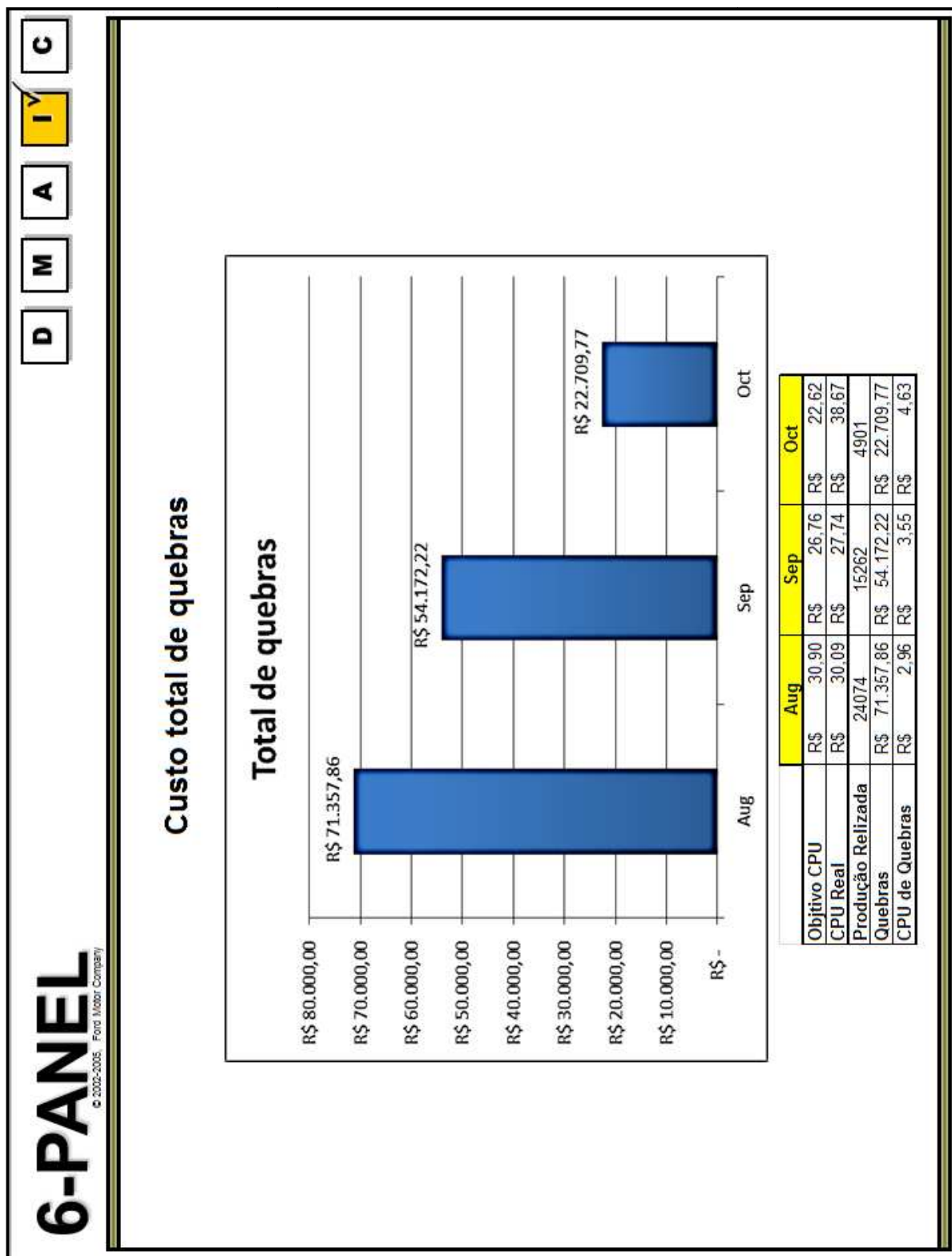


Figura 33 - Gráfico de acompanhamento para a melhoria do processo do motor ZETEC ROCAM.

Fonte: Template Ford Seis Sigma.

Na Figura 34 é apresentado um levantamento do custo por quebra de ferramenta nas linhas de usinagem do motor Zetec Rocam, anual. Pode-se observar uma queda significativa em comparação ao ano anterior. A equipe do projeto passou

a monitorar as quebras de ferramentas através dos gráficos de custos envolvidos e não em relação ao número de quebras ocorridas na máquina. Com esta nova forma de controlar o custo e quebras de ferramentas, pela aplicação da metodologia DMAIC, ocorreu uma redução de custo elevada, não só pelo poder desta ferramenta, mas principalmente pela união de esforços conseguida dentro da empresa.

Pode-se verificar nesta Figura 34 um comparativo do ano (2012) com o ano (2013), mostrando a redução mês a mês do custo do processo de usinagem.

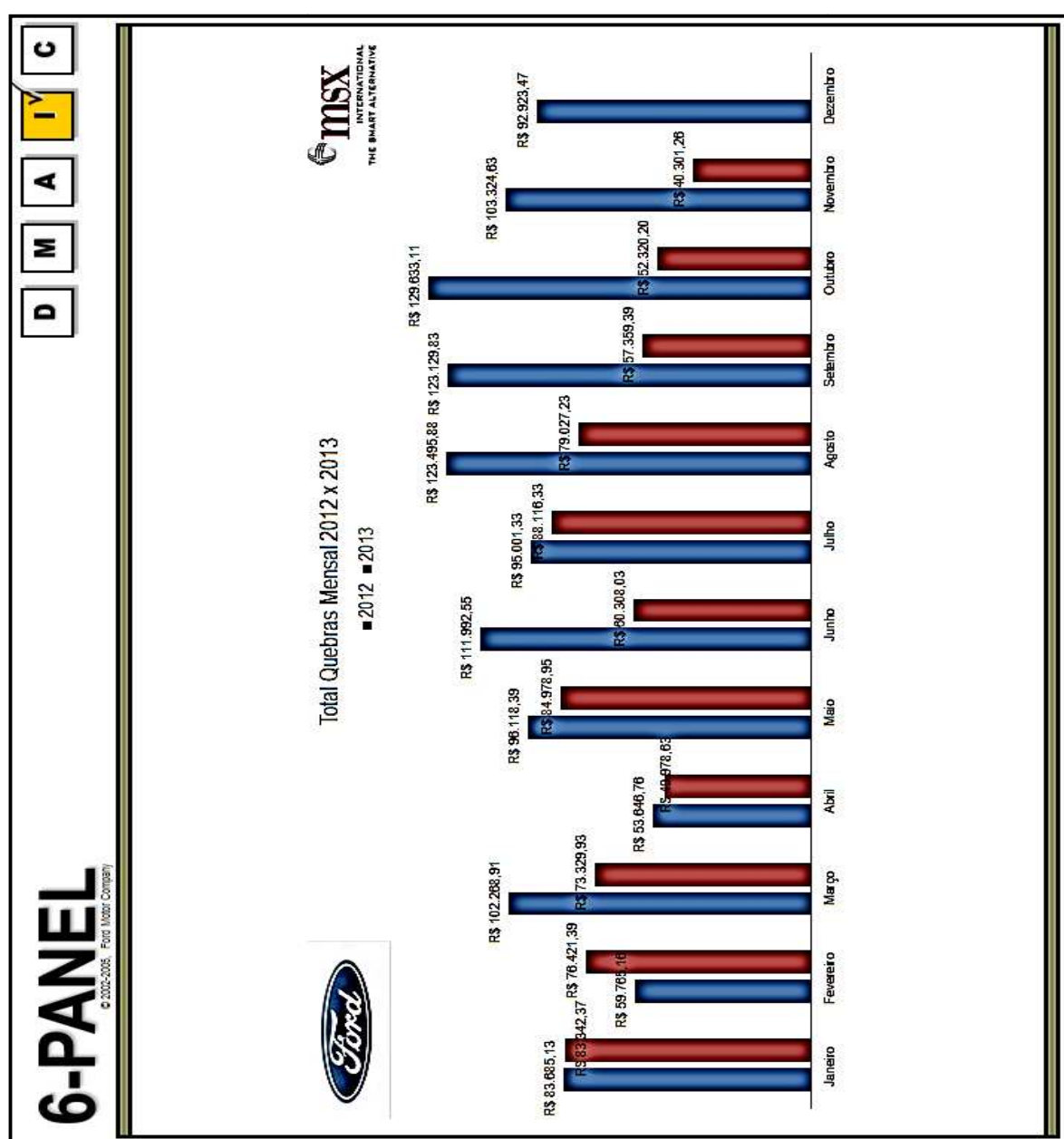


Figura 34 - Gráfico de acompanhamento para a melhoria do processo do motor.

Fonte: Template Ford Seis Sigma.

## 4.5 Controlar

Nesta fase observou-se a sustentabilidade do projeto e de suas ações que levaram a resultados relevantes tocante à redução dos custos do processo de fabricação das peças usinadas para a fabricação do motor ZETEC ROCAM. A equipe do projeto elaborou uma planilha tipo *check list* apresentado na Figura 35, que serve para acompanhamento de ocorrências de quebras de ferramentas. Esta planilha deve ser consultada e, com base nela, o usuário precisa realizar sua análise antes de liberar uma nova ferramenta para dar continuidade ao processo de usinagem. A partir deste *check list* o operador em conjunto com o técnico de ferramenta responsável pelo setor deve providenciar a verificação e acompanhamento de quebras de ferramentas e impactos dos custos correspondentes, em cada máquina envolvida. Ambos têm a responsabilidade de liberar a máquina ou não, dependendo da necessidade de manutenção. Somente depois deste procedimento é que a liberação da máquina pode ser realizada voltando a produzir.

## Check list para análise da causa da quebra de ferramentas



### FICHA DE ANÁLISE DE QUEBRA DE FERRAMENTAS



<p><b>RECOMENDADO: SIM</b></p> <p>Geometria da Máquina está dentro do especificado? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p> <p>Há vibrações nos eixos, invólucro? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p> <p>A rigidez da Máquina é adequada? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p> <p>Há folga nos fusos? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/> normal X <input type="checkbox"/> Z <input type="checkbox"/> Y <input type="checkbox"/> B</p> <p>Houve falha Elétrica? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p> <p>Houve falha Eletrônica? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p> <p>Houve falha Mecânica? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p> <p>Pressão de fixação da ferramenta está correta? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p> <p>Pressão de refrigeração da ferramenta está adequada? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p> <p>A concentração e a filtragem da emulsão está adequada? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p> <p>As características do óleo refrigerante estão dentro do especificado? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p> <p>A capacidade da Máquina está dentro do especificado? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p> <p>Houve queda ou pico de energia? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p>		<p><b>RECOMENDADO: NÃO</b></p> <p>O Sistema de Fixação é rígido? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p> <p>Os pontos de apoio e fixação estão danificados? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p> <p>O AIR-CHECK está atuando? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p> <p>O torque de aperto da peça está dentro do especificado? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p> <p>A pressão de fixação está dentro do especificado? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p>	
<p><b>RECOMENDADO: SIM</b></p> <p>O fornecedor foi alterado? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p> <p>A Qualidade da ferramenta está dentro do especificado? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p> <p>A Qualidade da Recuperação da ferramenta atende as especificações de Qualidade? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p> <p>A Qualidade da Realização atende as especificações de qualidade? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p> <p>Os componentes da Montagem do conjunto estão em bom estado? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p> <p>Os Alojamentos da ferramenta estão apresentando desgaste ou deformação? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p> <p>A liberação do PRÉ-SET está APROVADA? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p> <p>A montagem da ferramenta está correta? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p> <p>Número de identificação do mandril _____</p> <p>Observações:</p>		<p><b>RECOMENDADO: NÃO</b></p> <p>Os parâmetros de corte (VC, avanço, rotação, profundidade) estão conforme planejado? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p> <p>O programa CNC, foi alterado? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p> <p>Foi feita alguma alteração no OFF-SET da ferramenta? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p> <p>O valor do PRÉ-SET da ferramenta está correto na máquina? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p> <p>A sequência de processamento foi alterada? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p> <p>A especificação de dureza está dentro do especificado? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p> <p>Foi detectado alguma variação de compostos Químicos, que afete o processo de usinagem? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p> <p>As áreas de apoio e locação do material apresentam alguma deformação? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p> <p>Há muita Carepa, Areia (de fundição), Pelebas em excesso? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p> <p>Existe identificação de rastreabilidade do lote? <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p>	

Figura 35 - Check List para acompanhamento pós quebra de ferramenta.

Fonte: Template Ford Seis Sigma.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Já era do conhecimento do autor deste trabalho o poder da ferramenta DMAIC. O que não era do seu conhecimento é que a formação da equipe de trabalho para aplicação da ferramenta era tão fundamental. O apoio e ou o envolvimento da alta administração, pode-se afirmar que está intimamente ligada ao sucesso do projeto de melhoria possível de ser introduzida. Este fato não era ainda da vivência do autor. Neste trabalho o autor teve-se a oportunidade viver o projeto desde seu início e encontrou, na equipe formada pelos mais diversos membros atores dos segmentos hierárquicos da empresa, o quão fundamental foi a perfeita participação e dedicação de cada um.

Além da simples aplicação do DMAIC, o autor pode conduzir neste trabalho um tratamento científico com a finalidade de receber mais um aprendizado que foi a de adquirir a capacidade de observação de ocorrências não simples de serem detectadas no dia a dia de um profissional de indústria.

Os caminhos seguidos para a aplicação da ferramenta e os resultados obtidos foram muito valiosos para o autor e para a empresa em que trabalha. O procedimento não apresentou dificuldades ao ser aplicado, apenas exigindo muita dedicação e trabalho para seguir todas as fases da ferramenta.

Com isto, será sempre possível avaliar novos conjuntos de ferramentas, até que se tenha o processo ocorrendo de forma mais otimizada possível, ao formar a equipe é necessário muito cuidado na escolha dos participantes, para garantir efetividade de suas participações. A equipe deve contar com funcionários dos diversos níveis hierárquicos existentes na empresa, conforme dito anteriormente.

A seguir apresentam-se as conclusões do trabalho e sugestões para trabalhos futuros na área do tema abordado.

## 6 CONCLUSÕES

Este trabalho permitiu chegar às seguintes conclusões:

- verificou-se ser possível identificar, de forma precisa, que nem sempre a ferramenta que tem frequência de quebra maior, é a que mais impacta a produção e ou os custos;
- a aplicação da ferramenta DMAIC resultou em aumento da produção de peças na usinagem, contribuindo com vários fatores que podem ser citados: a redução de tempo de trocas de ferramentas, maior controle de vida das ferramentas. No ano de 2012, a empresa teve um total de custo de ferramentas que, de acordo com os valores apresentados pelo gerenciador de ferramentas, foi de R\$1.082.101,22. No ano seguinte, utilizando o mesmo critério valor foi de R\$736.483,71. Isto significou uma redução de custo de R\$345.617,51, apenas com aplicação do DMAIC na usinagem do motor ZETEC ROCAM;
- a aplicação da ferramenta DMAIC mostrou ser eficiente e prática para garantir resultados positivos além de gerar a possibilidade de exploração do conceito sobre melhoria contínua no processo de usinagem em planta fabril. A melhoria contínua é possível de ocorrer, porque sempre que uma ferramenta teve seus problemas de quebra e de custos mais impactantes resolvidos, outras ferramentas, que antes eram apontadas como não tão importantes de serem analisadas, passaram a ser.

## **7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Este trabalho foi realizado por um engenheiro em chão de fábrica da empresa em que trabalha. Por este motivo, é relativamente difícil sugerir trabalhos futuros. Assim mesmo, uma futura pesquisa pode ser sugerida no sentido de pesquisar fatores de falha no sistema mais ligados nos fenômenos de avarias e desgastes das arestas de corte.

Entretanto, a experiência de aplicação da ferramenta DMAIC ficou registrada neste trabalho, de forma que o procedimento pode ser seguido por outros setores e por outras empresas.

Outra sugestão é a aplicação do DMAIC dentro da própria Ford Motors em outros setores diferentes ainda não gerenciados por esta ferramenta de gestão.



## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A.; ROCHA, P. **Sincronismo organizacional: como alinhar a estratégia, os processos e as pessoas.** São Paulo: Saraiva 2006.

ANNAMALAI, C. **Combining innovation with six sigma.** ASQ Six Sigma Forum Magazine, ABI/INFORM Global, v. 7, n. 2, p. 36, Feb 2008.

ANTONY, J.; BANUELAS, R. **Key ingredients for the effective implementation of Six Sigma program:** Measuring Business Excellence, v. 6, n. 4, p. 20-27, 2002.

ARNHEITER, E. D., MALEYEFF, J. **The integration of lean management and Six Sigma.** The TQM Magazine. Vol. 17, N. 1, p. 5-18, 2005.

AFSHARIZAND, B. *et al.* **Determination of machinability considering degradation of accuracy over machine tool life cycle** Mechanical United Kingdom, 2014.

BISGAARD, S; FREIESLEBEN, J. **Economics of Six Sigma.** Quality Engineering. Monticello. New York: Marcel Dekker. V.13, n.2, p.325-331. 2000-01.

BORNIA, A. C. **Análise gerencial de custos: aplicação em empresas modernas.** São Paulo: Atlas, 2010.

BOEHS, L.; CASTRO, P. R. A.. **Planejamento Técnico no Gerenciamento de Ferramentas - Estudos de caso em empresas do setor metal-mecânico brasileiro.** In: V - CONEM - Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2008, Salvador. Anais -V - CONEM - Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. Rio de Janeiro : ABCM, 2008. v. 1. p. 1-10.

BREYFOGLE III F. W.; CUPELLO J. M.; MEADOWS, B. **Managing Six Sigma:a practical guide to understanding, assessing, and implementing the strategy that yields bottom-line success.** New York: John Wiley e Sons, Inc., 2001.

CARVALHO, M. M. **Seleção de projetos Seis Sigma**.In: ROTONDARO, R. G.(Org.) Seis Sigma: estratégia gerencial para melhoria do processo, produtos e serviços. São Paulo: Atlas, 2002.

CASTRO, P. R. A. **O que é exatamente o Gerenciamento de Ferramentas**.Revista Máquinas e Metais, Aranda Editora, p.108-110, mar. 2004.

CAUCHICK P. A. M.; ANDRIETTA, J. M. **Benchmarking Six Sigma application in Brazil: Best practices in the use of the methodology**. Benchmarking (Bradford) 16: 124-134, 2009.

CORRÊA, OLIVER **Investigação do Seis Sigma na redução do tempo de setup: uma pesquisa empírica em uma empresa do setor de polímeros**, Universidade Federal de São Carlos, 2014..

CURY, G. F. **Gerenciamento de ferramentas - Importância e benefícios de um sistema especialista**. Adept Systems, p. 1- 13, mai. 1997.

DAPPER, NIKOLI *et al.* **Melhorias no processo produtivo utilizando o método DMAIC Um estudo de caso desenvolvido em uma fábrica de rações**. IV Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, Ponta Grossa, 2014

DAMBHARE, SUNIL **Productivity Improvement of a Special Purpose Machine Using DMAIC Principles: A Case Study** Journal of Quality and Reliability Engineering, 2013.

DE SORDI, J. O. **Gestão por processos**: uma abordagem da moderna administração. 2. ed. rev. e atual. São Paulo: Saraiva, 270 p, 2008.

DIAS, A. 1996. **Metodologia para análise da confiabilidade em freios pneumáticos automotivos**. Campinas, SP: Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, 199p. Tese (Doutorado).

DINIZ, A. E., MARCONDES, F. C., COPPINI, N. L. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. Campinas: Artiliber Editora Ltda, 8ª Edição, p.230-248, 2013.

ECKES, G. **A Revolução Seis Sigma: O método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucros**. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, p 15, 17, 2001.

FAVARETTO, A. S. **Estudo do Gerenciamento de Ferramentas de Corte na Indústria Automotiva de Curitiba e Região Metropolitana**. 201 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) PUC-PR. Curitiba, 2005.

FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 751 p, 1977.

HAIR, Jr. *et al.* **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HARRY, M. E SCHROEDER, R. **Six Sigma: the breakthrough management strategy revolutionizing the world's top corporations**. New York: 2000.

HILLMANN, MARK *et al.* **Improving small-quantity assembly lines for complex industrial products by adapting the Failure Process Matrix (FPM): a case study**. Graduate School of advanced Manufacturing Engineering. Stuttgart, Germany, 2014.

HOERL, R. **Six sigma Black Belts: what do they need to know?** Journal of Quality Technology. Milwaukee, wi, v33, n.4, p.391-406, Oct 2001.

PIRES, J. R.; DINIZ, A. E. **Evitando o Desperdício de Ferramentas de Torneamento em uma Produção Não Automatizada**, III Congresso Iberoamericano de Ingenieria Mecanica, Cuba , 1, 1-6, 1997.

KAHRAMAN, C.; BUYUKOZKAN, G. A. **Combined Fuzzy AHP and Fuzzy Goal Programming Approach for Effective Six-Sigma Project Selection**. Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing. Vol. 14, N. 6, 2008.

KLEFSJÖ, B.; WIKLUND, N.; EDEGMAN, R. L. **Six Sigma seen as a methodology for total quality management.** *Measuring Business Excellence*, v. 5, n. 1, p. 31-35, 2001.

KOHLBERG, Gerhard. F. **Gerenciamento de ferramentas: modismo ou mal necessário? Máquinas e Metais.** Ed. Aranda; n. 417, p.22-37. Outubro/2000.

KOIKE, RYO *et al.* **Tool collision detection in high-speed feeding based on disturbance observer,** Department of System Design Engineering Keio University, Japan 2014.

KUMAR, M.; ANTONY, J. **Comparing the quality management practices in UK SMEs.** *Industrial Management E Data Systems*, v.108, n. 9, p. 1153-1166, 2008.

LEONE, G. S. G. **Planejamento, Implantação e Controle.** São Paulo: Atlas, 2000.

LIN, C. *et al.* **Continuous improvement of knowledge management systems using Six Sigma methodology.** *Robotics and Computers-Integrated Manufacturing*, v.29, p. 93-103, 2013.

LINDGREN, P.C.C. **Notas de Aula Curso de MBA em Gerência de Logística** Unitaui, 2010.

MCADAM, R.; LAFFERTY, B. **A multilevel case study critique of six sigma: statistical control or strategic change?** *International Journal of Operations e Production Management*, Vol. 24 Iss: 5, pp.530 – 549, 2004.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da Produção.** 2 ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

MATOS, J. L. **Implementação de um projeto de melhorias em um processo de reação química em batelada utilizando o método DMAIC.** Dissertação (Mestrado). UFRGS, 2003.

OHNO, T. **O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala.** Porto Alegre: Bookman, 1997.

POLIS, J. L. **Por dentro do gerenciamento de ferramentas: uma abordagem prática da adoção do sistema nas indústrias do ramo metal-mecânico.** Monografia (Pós-Graduação em Administração) FACENS – Faculdade de Engenharia de Sorocaba, 2005.

RAMANAN L. *et al.* **SIX SIGMA - DMAIC Framework for Enhancing Quality in Engineering Educational Institutions** International Journal of Business and Management Invention, India, 2014.

RIBEIRO, M. V. E COPPINI, N. L., **Applied data base system in optimization of cutting conditions and tool selection.** In AMPT'97 Advances in Materials e Processing Technologies, 22 a 26 de Julho de 1997, Guimarães, Portugal. Anais .Guimarães: p.465-469.

RIBEIRO, L. O.; DA SILVA, R. B.; MACHADO, A. R. **A Temperatura na Interface Cavaco-Ferramenta sob Diferentes Condições de Refrigeração/Lubrificação.** In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO. Uberlândia: 2003.

RITZMAN, L. P.; KRAJEWSKI, L. J. **Administração da Produção e Operações.**São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

ROUT, S. I. **Implementation of Six Sigma Using DMAIC Methodology in Small Scale Industries for Performance Improvement.** Journal Of Modern Engineering Research, 2014.

SÁNCHEZ, A. M.; PÉREZ, M. P. **Lean indicators and manufacturing strategies.** International Journal of Operations e Production Management. Vol. 21, n. 11, p. 1433-1451, 2001.

SANDERS,D.; HILD, C. R. **Common myths About Six Sigma. Quality Engineering.** Monticello. N.Y.: Marcel Dekker. V.13, n.2, p.269-276, 2000-01.

SANTOS, A. B.; MARTINS, M. F. **Contribuições do Seis Sigma:** estudo de caso em multinacionais. *Produção*, v.20, n.1, jan./mar. 2010.

SATO, RYUTA *et al.* **Influence of motion Error of Translation and Rotary axes onto Machined Surface Generated by simultaneous Five axis Motion.** Kobe University, Japan, (2014).

SAITO, DOUGLAS. **Fluído de corte.** Universidade Federal de santa Catarina, 2013.

SATOLO, E. G. *et al.* **Análise da utilização de técnicas e ferramentas no programa Seis Sigma a partir de um levantamento tipo survey.** *Produção*, v.19, n.2, p.400-416, 2009.

SCATOLIN, A. C. **Aplicação da metodologia seis sigma na redução das perdas de um processo de manufatura.** São Paulo: [s.n.], 2005.

SHAW, M. C. **Metal cutting principles.** 2. ed. New York: Oxford University, 2005.

SLACK, N. **Administração da Produção.** São Paulo: Atlas, 2009. 48,49 p.

SNEE, R. D.; RODEBAUGH Jr. **The project selection process.** *Quality Progress*, p. 78 80, set. 2002.

STANFORD, M.; LISTER, P. M. **“Future role of metalworking fluids”.** *Industrial Lubrification Tribology*, Vol. 54, No.1, pp. 11-19, 2002.

STEMMER, C. E. **Ferramentas de corte I.** 5. ed., Florianópolis: UFSC, 2001, 249 p.

SUNIL *et al.* **Productivity Improvement of a Special Purpose Machine Using DMAIC Principles: A Case Study** *Journal of Quality and Reliability Engineering*, 2013.

TAYLOR, F. W. **The Principles of Scientific Management and Testimony Before the Special House Committee.** Harper e Row, 1911

TELES, J. M. **Torneamento de Ferro Fundido Nodular Ferritizado com Nióbio Utilizando Ferramentas de Metal Duro.** Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Itajubá: 124.p, 2007.

VAN IWAARDEN, J. **The six sigma improvement approach: a transnational comparison.** International Journal of Production Research, v. 46, n. 23, p. 6739-6759, 2008.

WALKER, J. **Machining Fundamentals.**GW Publisher, USA: 2000.

WERKEMA, C. **Métodos PDCA e DMAIC e suas ferramentas analíticas.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** 2ª Ed. Porto Alegre: Editora Bookmam, 2001.

ZONTA J. A. **Gerenciamento de ferramentas: muito além do controle logístico.** Revista O Mundo da Usinagem. Publicação Divisão Coromant Sandvik do Brasil. 53.2008, p.12-16, 2008.

ZU, X.; FREDENDALL, L.D.; DOUGLAS, T.J. **The evolving theory of quality management: the role of Six Sigma.** Journal of Operations Management, v. 26, n. 5, p. 630-650, 2008.

## ANEXO 1.

### Redução dos Custos por Equipe o Projeto.

Neste anexo é apresentada redução dos custos de forma detalhada para cada Área da Fábrica.

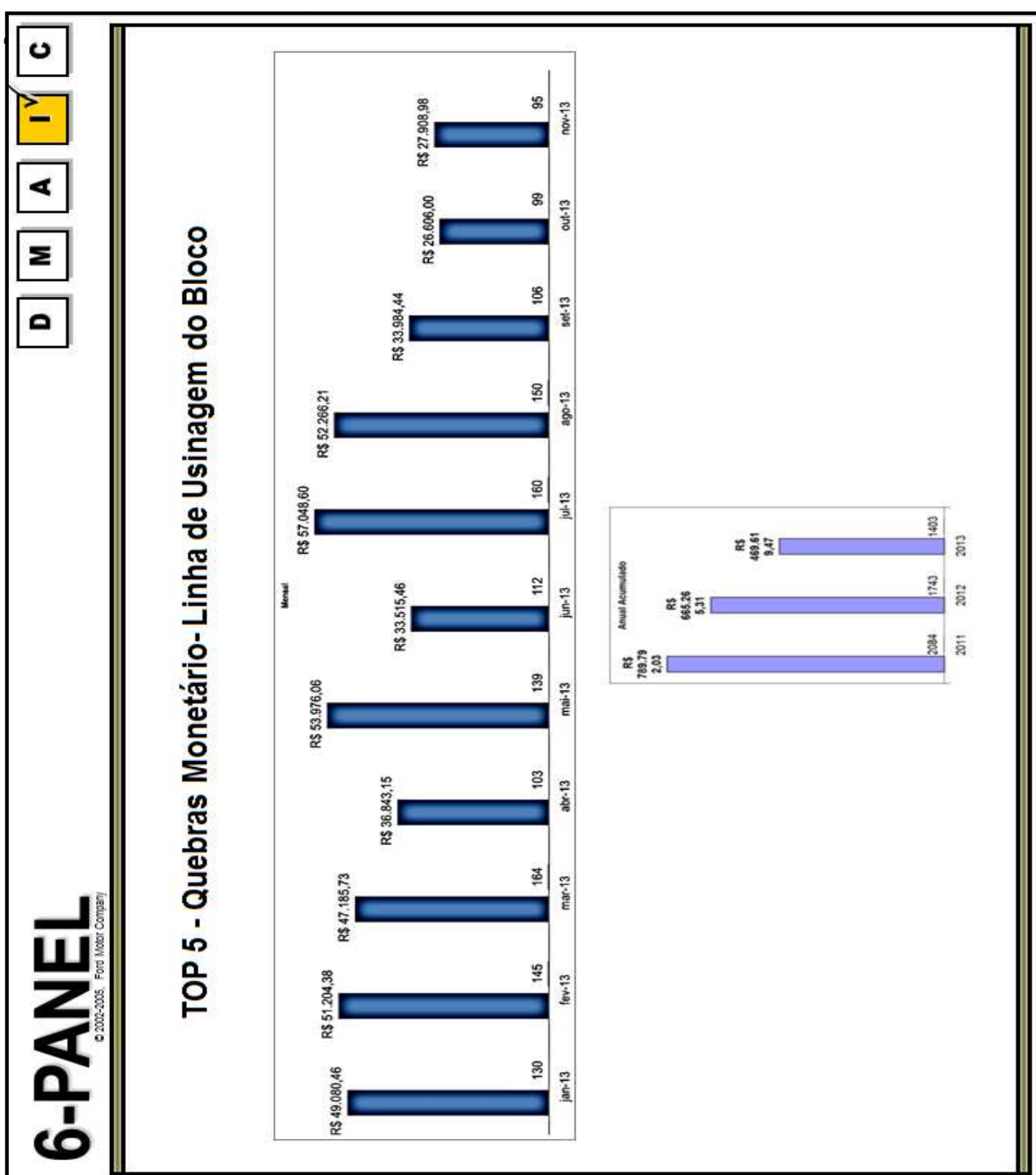


Figura 36 - Gráfico de acompanhamento para a melhoria do processo do Bloco do Motor.

Fonte: Template Ford Seis Sigma



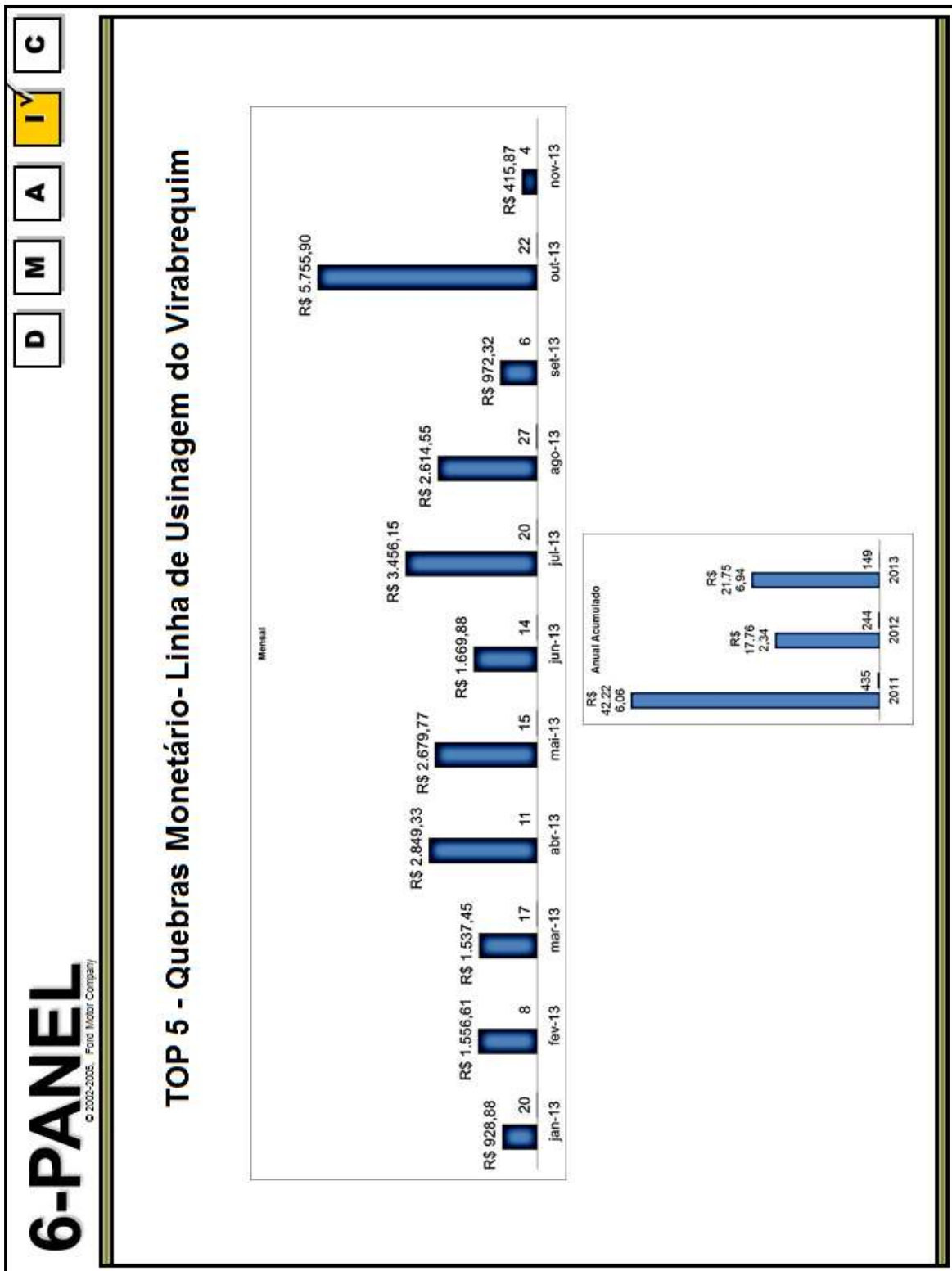


Figura 37 - Gráfico de acompanhamento para a melhoria do processo do Virabrequim.

Fonte: Template Ford Seis Sigma