

SUMÁRIO

Capítulo I – INTRODUÇÃO	2
1.1 A IMPORTÂNCIA DA QUALIDADE COMO ESTRATÉGIA DE NEGÓCIO ..	2
1.2 A ESTRUTURA DO TRABALHO	3
1.3 A EMPRESA	4
1.3.1 A EXPERIÊNCIA DO AUTOR NA EMPRESA.....	6
1.4 O PRODUTO	7
1.5 O PROCESSO.....	11
1.6 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	12
1.7 O PROBLEMA	14
 Capítulo II – REVISÃO DA LITERATURA.....	 16
2.1 SEIS SIGMA.....	17
2.2 A METODOLOGIA DMAIC	18
2.2.1 Definição (<i>define</i>).....	19
2.2.1.1 As Ferramentas	19
2.2.1.2 SIPOC (Supplies, Inputs Boundaries, Process, Output Boundaries, Customers)	20
2.2.1.3 O Mapa do Processo	21
2.2.2 Medição (<i>measure</i>)	23
2.2.2.1 Ferramentas Básicas da Fase Measure	25
2.2.2.1.1 Capabilidade e Nível Sigma no Longo Prazo	27
2.2.2.1.2 Controle Estatístico de Processo.....	27
2.2.2.2 Análise do Sistema de Medição	29
2.2.3 Análise (<i>Analyze</i>)	32
2.2.3.1 O Mapa do Pensamento (Thought Map - TMAP)	33
2.2.3.2 Técnicas de Shainin.....	35
2.2.4 Melhorias (<i>Improve</i>)	36
2.2.5 Controle (<i>Control</i>)	38
 Capítulo III – APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DMAIC	 40
3. 1 FOCANDO NO PROBLEMA (<i>DEFINE</i>).....	41
3.2 MEDIÇÃO (<i>MEASURE</i>).....	47
3.2.1 Mapeamento do Processo de Montagem.....	48
3.2.2 Análise do Sistema de Medição	51

3.3 ANALISANDO AS POSSÍVEIS CAUSAS DO PROBLEMA (<i>ANALYZE</i>).....	55
3.3.1 Analisando os componentes	56
3.3.2 Análise de Processos e Dispositivos relativos aos Componentes.....	60
3.3.5 Análise do Sistema de Medição	72
3.3.6 Análise de Dispositivos	73
3.3.7 Confirmação da Influência do Cabeçote (Shainin)	74
3.3.9 Vazamento do Cabeçote	78
3.4 MELHORIAS (<i>IMPROVE</i>).....	84
3.4.1 Validação dos EIME's	85
3.4.2 Correção dos processos (eliminação das causas especiais).....	88
3.4.3 Construção de um Novo Dispositivo de Medição do Link	89
3.4.4 Revisão dos Planos de Manufatura	91
3.4.5 Alteração de Engenharia	91
3.4.6 Impacto das Melhorias nos Indicadores	92
3.5 CONTROLE (<i>CONTROL</i>).....	95
 Capítulo IV - CONCLUSÕES	 97
 4.1 VERIFICAÇÃO DOS BENEFÍCIOS PREVISTOS DO PROJETO	 98
4.2 ESTIMATIVA ANUAL DE RETORNO FINANCEIRO DO PROJETO	99
4.3 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	104
 LISTA DE REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 108
 ANEXO I – CONTRATO DO PROJETO.....	 111
ANEXO II – RESULTADOS INICIAIS DE R&R PARA OS SISTEMAS DE MEDICÃO MAIS CRÍTICOS DA ÁREA DO CABEÇOTE HIDRÁULICO	 114
ANEXO III – DESENHO DE ENGENHARIA DO NOVO DISPOSITIVO DE MEDICÃO DO LINK.....	 117

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I - INTRODUÇÃO

Figura 1.3.1: Principais clientes Delphi.....	5
Figura 1.4.1: Bomba injetora Delphi.....	8
Figura 1.4.2: Cabeçote Hidráulico acabado, composto por Luva (interno) + Barril (externo).....	10
Figura 1.4.3: Região interna do barril com os canais de passagem do óleo em destaque.....	10
Figura 1.5.1: Processo geral de fabricação de uma bomba injetora.....	11

Capítulo II – REVISÃO DA LITERATURA

Figura 2.2.1.1: Fase <i>define</i> da metodologia DMAIC.....	19
Figura 2.2.1.2.1: Mapa global do processo.....	20
Figura 2.2.2.1: Fase <i>measure</i> da metodologia DMAIC.....	23
Figura 2.2.2.1.1: Conceito de variação sigma de um processo.....	26
Figura 2.2.2.2.1: Sistema de Medição: “a árvore da variação”.....	29
Figura 2.2.2.2.2: Diferença de reprodutividade entre medidores.....	30
Figura 2.2.2.2.3: Diferença de repetitividade entre equipamentos.....	31
Figura 2.2.3.1: Fase <i>analyze</i> da metodologia DMAIC.....	32
Figura 2.2.3.2: Diagrama genérico da fase <i>analyze</i>	33
Figura 2.2.3.1.1: Mapa do pensamento.....	34
Figura 2.3.4.1: Fase <i>improve</i> da metodologia DMAIC.....	36
Figura 2.2.5.1: Fase <i>control</i> da metodologia DMAIC.....	38

Capítulo III – APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DMAIC

Figura 3.1.1: Índice de rejeições pela primeira vez para toda a planta (valor acumulado de 12 meses).....	41
Figura 3.1.2: Índice de rejeições de bombas acumulado em 12 meses.....	42
Figura 3.1.3: Rejeição por tipo de bombas para os primeiros meses de 2004.....	42
Figura 3.1.4: Evolução do índice de rejeição no teste de bombas DPA.....	43
Figura 3.1.5: Gráfico de Pareto para os tipos de defeitos.....	45
Figura 3.1.6: Bomba Injetora DPA com o conjunto regulador em destaque.....	45
Figura 3.2.1: Índice de rejeições de bombas em junho de 2004.....	47

Figura 3.2.2: Volume de produção de bombas.....	48
Figura 3.2.1.1: Mapa do Processo de montagem de bombas, onde as entradas são listadas abaixo e as saídas listadas acima dos postos de trabalho correspondentes.....	50
Figura 3.2.2.1: Medição do comprimento do link com o conjunto regulador em destaque.....	52
Figura 3.2.2.2: Estudo do Sistema de Medição para medida do comprimento do link da bomba.....	53
Figura 3.3.1: Diagrama de Ishikawa para o problema “não dá dosagem após regulador”, ou NDAR.....	55
Figura 3.3.1.1: Curva de desempenho da bomba V8860A221W conforme especificação com cliente.....	59
Figura 3.3.1.2: Curva de desempenho da bomba V8860A221W com componente de outro modelo de bomba.....	59
Figura 3.3.2.1: Furo angular do cabeçote hidráulico.....	62
Figura 3.3.3.1: Components Search com a bomba V8860A221W	65
Figura 3.3.4.1: Fabricação do cabeçote Hidráulico	67
Figura 3.3.4.2: Mapa do processo de fabricação da luva e o do barril.....	68
Figura 3.3.4.3: Processos críticos de fabricação do cabeçote.....	71
Figura 3.3.6.1: Furo do avanço do cabeçote hidráulico.....	74
Figura 3.3.7.1: Components Search com a bomba V8861A200W	75
Figura 3.3.8.1: Estudo de capacidade das características (processos) mais críticos.....	76
Figura 3.3.8.2: Estudo de capacidade das características (processos) mais críticos.....	77
Figura 3.3.9.1: Circularidade do barril nº1.....	80
Figura 3.3.10.1: Análise de 5 Porquês.....	83
Figura 3.4.1.1: Novo estudo de R&R para o diâmetro interno do barril.....	87
Figura 3.4.2.1: Distribuição dos processos após correção.....	88
Figura 3.4.3.1: Novo dispositivo para medição do link com sensor.....	89
Figura 3.4.3.2: Análise de capacidade do novo instrumento de medição do link.....	90
Figura 3.4.6.1: Evolução da ocorrência de defeitos de regulador.....	92
Figura 3.4.6.2: Índice de rejeição de bombas DPA.....	93
Figura 3.4.6.3: Índice global de rejeição de bombas DPA.....	94
Figura 3.4.6.4: Evolução do índice de rejeição de bombas que apresentavam altos índices de rejeição.....	95

Capítulo IV – CONCLUSÕES

Figura 4.2.2: Gastos com retrabalho na área do cabeçote hidráulico.....	100
--	-----

LISTA DE TABELAS

Capítulo I – INTRODUÇÃO

<i>Tabela 1.3.1:</i> Principais clientes Delphi.....	5
--	---

Capítulo III – APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DMAIC

<i>Tabela 3.1.1:</i> Lista de defeitos.....	44
<i>Tabela 3.2.2.1 :</i> Resultados do Estudo de MSA baseado nas medições do link de 10 bombas.....	54
<i>Tabela 3.3.1.1:</i> Principais bombas explodidas em seus principais componentes (julho/2004).....	57
<i>Tabela 3.3.1.2 :</i> Matriz É/NÃO É aplicada aos problemas relacionados ao ajuste do parafuso regulador.....	58
<i>Tabela 3.3.2.1:</i> Resultado dimensional de um cabeçote de bomba rejeitada.....	62
<i>Tabela 3.3.5.1 :</i> Estudo de MSA dos processos críticos do cabeçote.....	72
<i>Tabela 3.3.5.2:</i> Critério de aceitação do sistema de medição.....	73
<i>Tabela 3.3.9.1:</i> Teste de vazamento entre componentes	79
<i>Tabela 3.4.1.1:</i> Correção dos EIME's da área do cabeçote.....	85
<i>Tabela 3.4.1.2:</i> Validação dos sistemas de medição de medição	86
<i>Tabela 3.4.1.3:</i> Estudo de R&R para o sistema que mede o diâmetro interno do barril.....	87
<i>Tabela 3.4.3.1:</i> saída do estudo de capacidade pelo software Minitab.....	90
<i>Tabela 3.4.4.1 :</i> Alterações necessárias nos planos de manufatura.....	91

Capítulo IV – CONCLUSÕES

<i>Tabela 4.2.1 :</i> Retrabalho da linha de bombas DPA.....	99
<i>Tabela 4.2.2:</i> Custo de Oportunidade para a linha de bombas DPA.....	101

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BOB – melhor das melhores (do inglês *best of best*)

CEP – Controle estatístico de processo

COPQ – Custo da má qualidade (do inglês *Cost of Poor Quality*)

C_p e C_{pk} – Índices de capacidade do processo

DMAIC – Definir, medir, analisar, melhorar e controlar (do inglês *define, measure, analyze, improve, control*)

DPA – Tipo de bomba injetora (do inglês *distribution pump A*)

DPC – Tipo de bomba injetora (do inglês *distribution pump C*)

DPG – Tipo de bomba injetora (do inglês *distribution pump generator*)

DPMO – Defeitos por milhão de oportunidades

DPO - Defeitos por unidades

DFSS – Design for Six Sigma

EDAR – Excede dosagem após regulador (tipo de falha da bomba)

EIME – Equipamentos de inspeção, medição e ensaio

FMEA – Análise dos modos e efeitos de falha (do inglês *failure mode and its effects analysis*)

FTQ – *First Time Quality*

GB – *Green Belt*

LIE – Limite inferior de especificação

LSE – Limite superior de especificação

MSA – Análise do sistema de medição (do inglês: *measure system analysis*)

NAR – Não ajusta regulador (tipo de falha da bomba)

NDAR – Não dá dosagem após regulador (tipo de falha da boma)

PPM – Partes por milhão

R&R – Reprodutividade e Repetitividade

SIPOC – Fornecedores, entradas, processos, saídas e clientes (do inglês: *suppliers, inputs, processes, outputs and customers*)

TMAP – Mapa do pensamento (do inglês: *thought map*)

VOC – Voz do Cliente (do inglês *voice of customer*)

VOP – Voz do Processo (do inglês: *voice of process*)

WoW – Pior das piores (do inglês worst of worst)

Z – distribuição normal padronizada

Z_p - Capacidade Seis Sigma de curto prazo

Z_d – Deslocamento de 1,5 sigmas

Z_p – Capacidade Seis Sigma de longo prazo

Capítulo I

INTRODUÇÃO

1.1 A IMPORTÂNCIA DA QUALIDADE COMO ESTRATÉGIA DE NEGÓCIO

Em função do crescente globalização dos mercados, a competição pelo menor preço e pela máxima qualidade é cada vez maior. A extrema facilidade de acesso aos mercados por qualquer organização eleva em muito a concorrência entre elas e obriga-as a oferecerem produtos altamente competitivos em relação a preço, desempenho, entrega e qualidade. Com isso, as empresas têm a necessidade de renovar suas estratégias para sustentar seus negócios e oferecer produtos e serviços mais competitivos.

Dentre as diversas estratégias praticadas pelas empresas nos últimos anos, as estratégias voltadas para a melhoria da qualidade têm ganhado um papel muito importante no cenário mundial. Como exemplo, podemos citar a qualidade total, a reengenharia de processos, a eliminação de fronteiras, as alianças estratégicas, os planejamentos por cenários, e o Seis Sigma.

Esta última estratégia tem se destacado bastante em função do caráter revolucionário que se deu a sua aplicação em muitas grandes empresas, tais como: Dow Química, Du Pont, GE, Kodak, Nokia, Sony, Motorola, etc..

O sucesso da aplicação do Seis Sigma nestas empresas deve-se em muito ao grande ganho financeiro obtido. Além disso, o que tem atraído muito as empresas é a ambição por processos com baixíssima variabilidade e alto controle. A idéia de se produzir pouquíssimas peças com defeitos a um baixo custo é tão idealizada pelos clientes quanto pelos fornecedores, que querem satisfazê-los, e ao mesmo tempo lucrar. Em outras palavras, um processo bastante capaz significa muita economia e muita satisfação.

A difusão do Seis Sigma em todo mundo teve início na Motorola nos anos 80. O sucesso obtido pela Motorola despertou o interesse de inúmeras empresas, inclusive de seus concorrentes. A partir deste momento, a estratégia Seis Sigma passou a ser empregada como estratégia de qualidade em diversos segmentos da economia.

O conceito deste conceito estratégico não está em novas ferramentas estatísticas, mas está na metodologia de aplicação, que pode ser voltada para a solução ou prevenção de problemas. Para Bayle et al. (2001), o Seis Sigma faz uso de uma grande variedade de ferramentas estatísticas e da qualidade e seria irracional pensar que um conjunto de ferramentas possa ser

utilizado indiferentemente do tipo de processo ou produto, devendo-se avaliar de forma adequada quais ferramentas utilizar para cada caso. A escolha das mais apropriadas técnicas,

varia de organização para organização, não há nenhuma metodologia padrão e organização que seja capaz de escolher a mais apropriadas das técnicas para ela (Pande et al., 1998).

Uma grande vantagem do Seis Sigma está na sua flexibilidade de aplicação. O Seis Sigma não é apenas um pacote de ferramentas estatísticas, mas uma metodologia robusta que pode ser aplicada em organizações de quaisquer natureza e trazer ótimos resultados.

1.2 A ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho tem como objetivo demonstrar a aplicação prática da estratégia de qualidade Seis Sigma numa empresa do setor automotivo, expondo a maneira como a metodologia DMAIC direcionou o trabalho da equipe do projeto e como os esforços da organização foram direcionados para reduzir gastos com o retrabalho de produtos de má qualidade.

Com o propósito de atingir os objetivos propostos anteriormente, o trabalho de formatura foi dividido em três partes, estruturadas do seguinte modo:

A primeira etapa (capítulo 2) apresenta os conceitos utilizados no estudo e contempla uma revisão bibliográfica sobre o tema Seis Sigma. Os conceitos mais importantes no contexto deste trabalho serão selecionados e brevemente abordados. Além dos conceitos, este

capítulo mostrará quais as etapas de um projeto Seis Sigma e em que ordem elas devem ser conduzidas.

A segunda etapa (capítulo 3) consiste da aplicação da metodologia DMAIC para determinação da causa raiz de um problema crônico apresentado por um produto através da utilização de ferramentas simples e recursos da qualidade. Por conseguinte, a equipe designada a tal tarefa deverá solucionar o problema através da proposição de melhorias. Com isso, estes dois capítulos possibilitam avaliar o potencial da metodologia utilizada, bem como sua utilidade em situações reais de uma indústria.

A terceira e última (capítulo 4) é dedicada a apresentação das conclusões, permitindo a avaliação da metodologia e das ferramentas propostas. A partir deste ponto, realiza-se uma reflexão dos resultados obtidos, quer seja na avaliação da metodologia adotada, quer seja da experiência vivida pelo autor, como nos impactos culturais advindos do uso destes conceitos.

1.3 A EMPRESA

A Delphi Automotive Systems é uma multinacional americana e maior fornecedora de componentes automotivos do mundo. A Delphi - presente em 12 localidades somente no Brasil - atua em diversos segmentos automotivos: dinâmica e propulsão; componentes eletrônicos e comunicação veicular; sistemas de segurança, térmicos e elétricos; microeletrônica; sistemas de dirigibilidade; sistemas de injeção, etc..

A **Delphi Diesel Systems** é apenas uma das divisões da Delphi Automotive Systems e, no Brasil, está representada pela planta de Cotia, localizada na grande São Paulo, SP. É nesta planta que será realizado este Trabalho de Formatura.

Os principais produtos da divisão diesel são as bombas de injeção, injetores e filtros. Estes produtos são integrados a sistemas eletronicamente controlados para atender a legislação de

emissões de poluição e tamanhos de máquinas, que podem variar de 5 a 30.000 HP de potência.

A tabela abaixo contém os principais clientes da Delphi Diesel no mundo, de acordo com a aplicação do produto:

Cars and Light Duty	Heavy Trucks	Agricultural, Industrial and Marine	Industrial Light & Heavy
BMW Fiat Ford GM Opel Hindustan Hyundai Kia Mahindra Mercedes-Benz Premier PSA Renault Rover Telco Volkswagen	Caterpillar Mercedes-Benz Volvo	Agco-Deutz Case CDC Cummins Daewoo Fiat-New Holland Goldstar Iveco John Deere Kubota Maxion MHI MWM PASA Perkins Samsung Valtra	Caterpillar General Electric Lister Petter Lombardini Mirlees Perkins Ruggerini

Tabela 1.3.1: Principais clientes Delphi. Fonte: Delphi-Cotia, 2002.

Os clientes da planta de Cotia estão espalhados em todo mundo, sendo muitos deles, outras unidades da Delphi Automotive Systems (França, UK, Espanha, México, Turquia, Índia, USA e Korea).

Recentemente, a empresa adquiriu toda a linha de produção de bicos injetores Caterpillar, localizada nos EUA. Assim, a produção de bicos injetores na planta distingue-se por dois tipos: Bicos Injetores Delphi e Bicos Injetores Caterpillar.

No mercado nacional, a planta de Cotia fornece produtos, principalmente para o mercado agrícola (tratores, colheitadeiras e pulverizadores), no qual a empresa mantém-se líder, além de abastecer o mercado de ônibus e caminhões. Assim, apenas o mercado de

automóveis não é atendido, pois não é permitida a circulação de carros movidos a diesel no Brasil.

A empresa está dividida em quatro grandes áreas, a saber:

- Usinagem de componentes
- Tratamento Térmico dos componentes
- Teste & Desenvolvimento de novos produtos (Engenharia de Aplicações)
- Montagem & Teste de Bombas

Além destas áreas serem as maiores e mais importantes da empresa, estas são as áreas mais relevantes para este trabalho.

1.3.1 A EXPERIÊNCIA DO AUTOR NA EMPRESA

O autor foi contratado como estagiário de Engenharia de Produção na Delphi para trabalhar na área de Qualidade e desempenhar as seguintes atividades: realização de estudos de capacidade de processos; elaboração e análise de FMEA's de produto e processo; participação em projetos de melhorias contínuas (kaizen); elaboração e análise de cartas de CEP (Controle Estatístico de Processo); realização de outros estudos voltados para o Controle de Qualidade da empresa.

O autor foi contratado na empresa em janeiro de 2004 e desde então, foi possível realizar grande parte das atividades previstas no contrato de estágio. No início do estágio, o autor passou por um período de aprendizado a respeito do produto no setor de Engenharia de Aplicações da empresa, onde foi possível ter bastante contato com as bombas injetoras e aprender sobre o seu funcionamento e função dos inúmeros componentes. Para tanto, o autor foi treinado a realizar testes experimentais de bombas injetoras em motores, operando bancadas de teste e montando e desmontando bombas.

Após esta etapa, o autor participou intensamente do processo de validação dos processos de fabricação de um novo tipo produto a ser fabricado na empresa, até então produzido por uma indústria nos EUA. O processo consistiu em realizar estudos de capacidade de aproximadamente uma centena máquinas (ou processos) recém-chegadas para que a qualidade dos lotes de produção fosse assegurada.

Durante este período, o contato com líderes de produção e com o setor de metrologia da fábrica proporcionou bastante aprendizado na área de manufatura e processos e também sobre a mensuração de diversos tipos de características das peças, com o conseqüente aprendizado sobre o manuseio dos instrumentos e equipamentos de medição e ensaio.

Em junho de 2004, o autor ingressou num projeto de Seis Sigma como Green Belt, o qual foi escolhido como Trabalho de Conclusão de Curso. Tanto a supervisão do estágio, como os Sponsors do projeto, apoiaram esta idéia de desenvolvimento de um trabalho acadêmico prático aplicado num projeto da empresa.

A avaliação que o autor faz sobre o período de estágio é satisfatória. O autor conta com apoio e incentivo de seus superiores na realização do trabalho de formatura – além da colaboração dos colegas de trabalho - e também observa boas oportunidades no ingresso de novos projetos e/ou atividades de interesse.

1.4 O PRODUTO

Os produtos fabricados na planta de Cotia são todos acessórios do sistema de injeção de diesel, destacando-se: bombas injetoras, injetores e filtros. O produto alvo de estudo do projeto será a bomba injetora. Este produto será detalhado logo abaixo de forma que o desenvolvimento do projeto possa ser compreendido pelo leitor sem qualquer dificuldade.

A Figura 1.4.1 logo abaixo mostra uma bomba injetora genérica Delphi e seus diversos componentes.

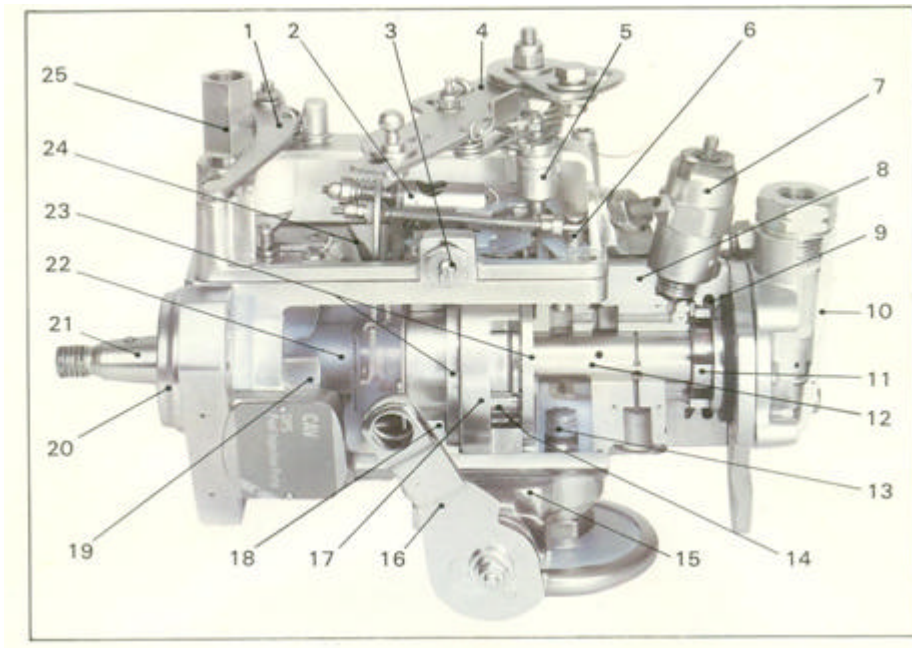


Figura 1.4.1: Bomba injetora Delphi. Fonte: Delphi

A bomba injetora é um componente que faz parte do sistema de injeção de motores e tem a função de regular a passagem de óleo que é transmitida até a câmara de combustão do motor, provocando a explosão do combustível e o conseqüente movimento dos pistões. Portanto, é de vital importância para os motoristas que a bomba funcione corretamente, pois caso contrário, o motor do veículo pode acelerar ou desacelerar o veículo de forma descontrolada e arriscada.

O princípio de funcionamento da maioria das bombas fabricadas na Delphi atualmente é totalmente mecânico, isto é, a regulação da passagem de óleo é feita através de dispositivos mecânicos. Por isso, esta característica requer um grande número de componentes para que o processo funcione perfeitamente, o que torna difícil a sua regulação e ajuste.

Uma bomba injetora possui, em média, cerca de 200 componentes, entre placas, molas, cilindros, pistões, eixos, etc. Os componentes mais importantes de uma bomba são:

- ✓ **Cabeçote Hidráulico:** Componente cilíndrico que é constituído por outros dois subcomponentes (também cilíndricos) : o barril e a luva. O cabeçote é considerado o “coração” da bomba, pois abriga os pistões que injetam óleo de dentro para fora da bomba (ver Figura 1.4.2). O Barril é a parte externa do cabeçote, enquanto que a luva é um cilindro interno. Como há diversos canais internos (Figura 1.4.3) de passagem do óleo até que o mesmo chegue nos pistões, é muito importante que o acoplamento entre luva e barril seja bem sucedido. Na figura 1.5.1, o cabeçote é região onde estão os pontos 9,11 e 12.
- ✓ **Carcaça:** é o componente que estrutura a bomba e abriga todas as peças.
- ✓ **Válvula Dosificadora:** controla a passagem de óleo que entra no cabeçote (item 6 da figura 1.4.1)..
- ✓ **Link:** haste conectada a uma série de componentes (inclusive à válvula dosificadora) e, portanto, é outro agente regulador da passagem de óleo. Cada modelo de bomba possui uma especificação correta para a dimensão da haste compreendida entre outros dois componentes. Na figura 1.4.1, o link é a haste conectada na válvula dosificadora (item 6).
- ✓ **Conjunto Regulador:** envolve uma série componentes responsáveis por regular a passagem de óleo pela bomba, tais como válvula dosificadora e link. Na figura 1.4.1, está representado pelos itens 1,2,3,4,5,6 e 24.
- ✓ **Pistões:** presentes no interior do cabeçote, têm a função de injetar o óleo.
- ✓ **Anel de Ressalto e Placas de Ajuste:** trabalham conjuntamente com os pistões para permitir o ajuste do volume de óleo injetado e o tempo de sincronismo entre as injeções.

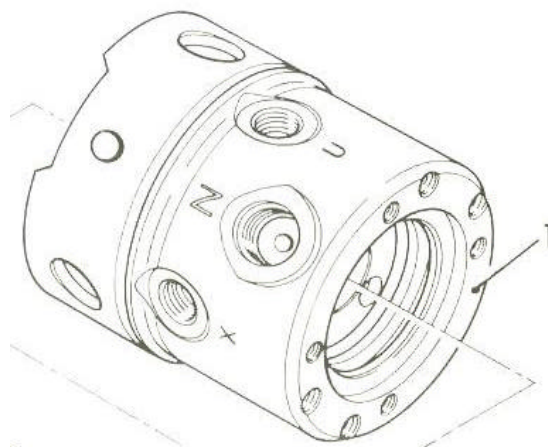


Figura 1.4.2: Cabeçote Hidráulico acabado, composto por Luva (interno) + Barril (externo). Fonte: Delphi

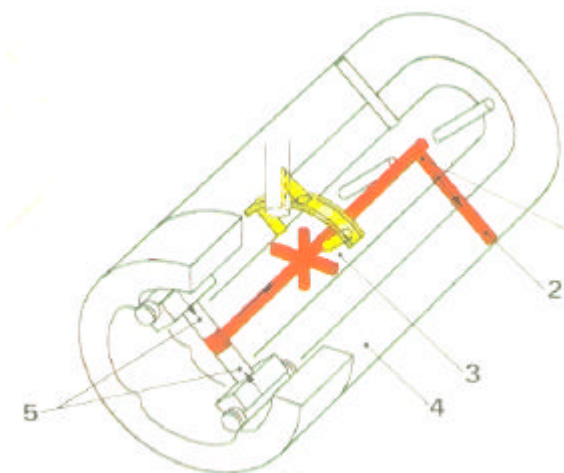


Figura 1.4.3: Região interna do barril com os canais de passagem do óleo em destaque. Fonte: Delphi

A Delphi produz três tipos principais de bombas injetoras: DPA, DPC e DPG. As bombas DPC e DPG são evoluções das bombas DPA e apresentam bem menos defeitos por mais apresentarem projetos mais robustos e confiáveis. As bombas DPC têm aplicação em carros movidos a diesel e possui sistemas controlados eletronicamente. As bombas DPG são mais parecidas com as DPA, mas suas aplicações limitam-se aos geradores de energia.

1.5 O PROCESSO

O processo genérico de produção de uma bomba injetora pode ser simplificado pelo macro diagrama abaixo:

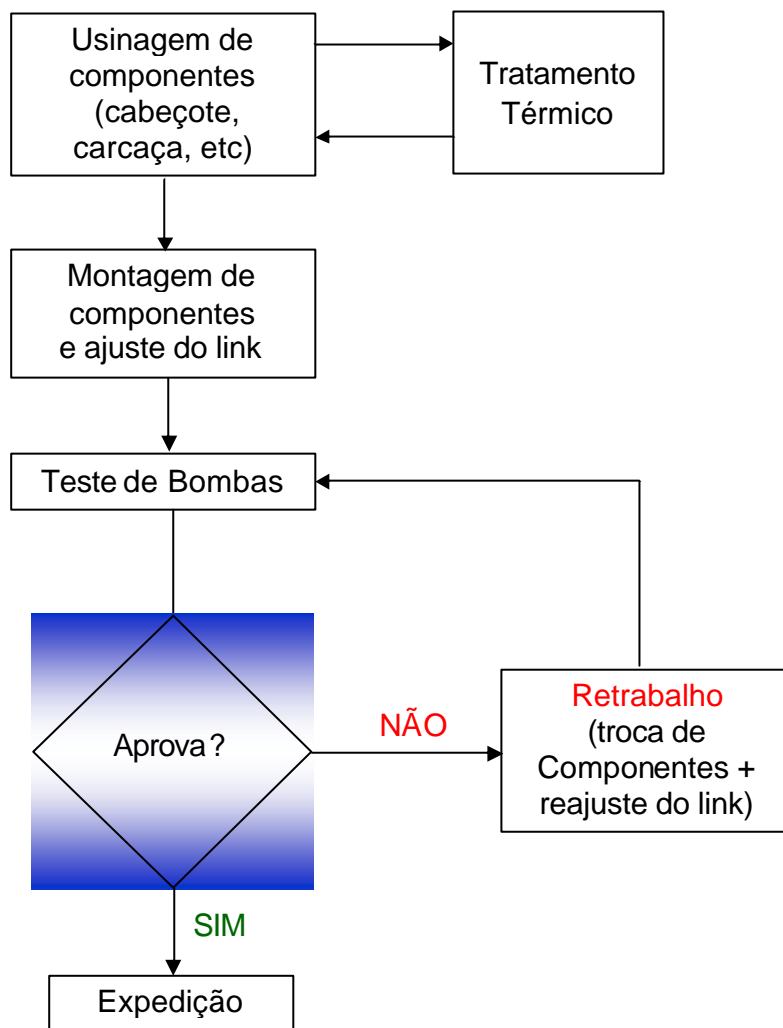


Figura 1.5.1: Processo geral de fabricação de uma bomba injetora. Fonte: elaborado pelo autor

Após a montagem e ajuste dimensional da bomba, a mesma passa por um teste prático de desempenho em bancadas de teste. O teste funcional consiste numa simulação de diversas condições de funcionamento do motor.

O processo de aprovação ou reprovação da bomba é feito através do levantamento de uma curva de desempenho, na qual são registrados os valores de fluxo de óleo injetado (dosagem) em função da rotação da bomba. No teste completo, são registrados os valores de dosagem durante a aceleração (aumento da rotação da bomba) e durante a desaceleração (redução da rotação até zero). Com isso, obtém-se um gráfico com duas linhas: a ida e a volta.

Para que uma bomba possa ser aprovada, a mesma deve apresentar uma curva (tanto a de ida como a de volta) semelhante à curva obtida executando-se o mesmo procedimento com a bomba padrão. A bomba padrão é uma “cópia” da bomba desenvolvida pela engenharia, cujo desempenho foi vendido aos clientes. Ou seja, a bomba padrão é uma espécie de gabarito, a partir do qual todas as outras devem se adequar para que a necessidade de desempenho do cliente seja atendida, uma vez que o mesmo conhece o desempenho da bomba padrão e também possui uma “cópia” desta.

Portanto, uma bomba que é testada só pode ser aprovada se a curva obtida atender as especificações de desempenho e tolerância da bomba padrão.

1.6 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

A Delphi Diesel Systems do Brasil é uma empresa que, atualmente, atua no limite de sua capacidade para atender um grande número de clientes em todo o mundo. Na verdade, a empresa já vem trabalhando nesta situação há alguns anos em consequência da crescente demanda por bombas injetoras para motores a diesel.

Desta forma, é fundamental para o sustento e crescimento da empresa, que a mesma reduza ao máximo suas atividades de retrabalho, ou seja, a empresa deve maximizar o tempo disponível às atividades que agregam valor.

É importante destacar que a Delphi costuma desenvolver muitos de seus produtos juntamente com seus clientes, o que significa desenvolver produtos dedicados às características específicas dos motores dos seus clientes. Assim, a Delphi torna-se o fornecedor único de muitos clientes. Com esta relação de dependência, os clientes não podem trocar de fornecedor ou simplesmente quebrar os contratos a qualquer momento, visto que a parceria entre as empresas envolve altos investimentos e, conseqüentemente, requer muita confiança de ambas as partes, principalmente por parte dos clientes que temem não serem abastecidos.

Além disto, a Delphi é líder no mercado nacional de máquinas agrícolas, que por sua vez vem crescendo em ritmo acelerado nos últimos anos. A urgência da situação resulta, inclusive, em pressões por parte do governo federal.

Dado que a Delphi acaba por tornar-se a única opção de muitos clientes, fica evidente a necessidade de se ampliar a capacidade produtiva para atender os altos níveis de demanda de clientes nacionais e internacionais.

Neste sentido, as atividades de retrabalho estão reduzindo significativamente a capacidade produtiva da empresa e, por isso, devem ser reduzidas ao máximo. Ademais, antes de qualquer iniciativa de ampliação física da fábrica (através de aumento de espaço e compra de máquinas), os índices de rejeições devem ser os mais baixos possíveis para que a ampliação possa ser planejada de forma precisa e otimizada. Ou seja, as causas raízes dos altos índices de defeitos devem ser encontradas, atacadas e controladas antes de mais nada. E neste caso, o crescimento da empresa depende disto e tais medidas devem ser tomadas o quanto antes.

O índice utilizado para medir rejeições na Delphi é o FTQ* (*First Time Quality* ou Rejeições pela Primeira Vez), servindo de termômetro para os gerentes da fábrica, visto que o índice permite calcular os custos de retrabalho e de oportunidade. Assim, qualquer redução do FTQ é desejável.

* Nota: O FTQ é a relação entre o número de produtos rejeitados no primeiro teste/medição pela quantidade total de produtos testados/medidos. O valor desta divisão é dado em PPM.

A metodologia Seis Sigma torna-se um artifício para uma organização de destacar na concorrência e estar na preferência do mercado devido a sua abordagem estruturada ao problema e por possuir enfoque no cliente.

A metodologia DMAIC do Seis Sigma já é utilizada pela empresa e mostra-se adequada ao problema, visto que o mesmo requer um enfoque estruturado e robusto para identificar as variáveis que estão influenciando no sistema e causando as não-conformidades nos produtos. Através do DMAIC, pode-se controlar a variabilidade indesejada dos processos críticos para a qualidade de maneira sistemática e eficaz, traduzindo-se em credibilidade e retorno financeiro para a empresa.

1.7 O PROBLEMA

Para definir o objeto específico de estudo, isto é, para determinar os produtos e processos específicos sobre os quais se deve agir, o índice FTQ será usado como base de apoio à decisão. O FTQ representa, em partes por milhão, o índice de rejeições que ocorrem na primeira vez em que determinado produto é testado.

Definido o tipo de bomba a ser atacado, o problema será detectar quais características de produto e de processo influenciam no sistema e quais delas têm influência relevante no elevado índice de rejeição no teste de bombas.

Definido o produto específico a ser estudado, o estudo deverá focar num tipo determinado tipo defeito (que seja significativo), dentre os vários tipos de defeitos ou falhas que podem ocasionar a rejeição de uma bomba.

Portanto, devemos partir de um índice geral para toda a fábrica, para então, focar nos produtos que apresentam índices mais altos e que também representem custos que justifiquem o retorno financeiro do projeto.

Estudos periódicos comprovam sistematicamente que diversos processos relacionados a características críticas de componentes da bomba apresentam grande variabilidade, resultando numa distribuição dimensional muito larga das referidas características e, desta forma, contribuindo para o rejeito de bombas no testes práticos.

Além da variabilidade dos processos de fabricação dos componentes, existe também variabilidade no processo de montagem de componentes. Como processo de montagem sofre variações causadas pelos diferentes operadores (incluindo o processo de medição e de leitura dos equipamentos de medição) e também pela própria posição relativa das peças a cada montagem, as etapas do processo de montagem também deverão ser estudadas para que as causas-chave dos rejeitos sejam identificadas.

Enfim, o problema consiste em identificar, ao longo de todo o processo de produção, a(s) causa(s) que afeta(m) o desempenho de uma bomba injetora (num determinado aspecto a ser definido dentre os vários modos de falha) durante testes experimentais nos quais o motor é testado sob diversas condições.

Capítulo II

REVISÃO DA LITERATURA

2.1 SEIS SIGMA

Seis Sigma é uma estratégia gerencial disciplinada e altamente quantitativa, caracterizada por uma abordagem sistêmica. A aplicação deste conceito tem como objetivo aumentar drasticamente a lucratividade das empresas, por meio da otimização de produtos e processos, com o conseqüente incremento da satisfação de clientes e consumidores (BREYFOGLE et al, 2003). Foi, originalmente, desenvolvida pela Motorola e, depois, aperfeiçoada por diversas outras empresas, tais como General Electric, Allied Signal, Citicorp, etc..

O emprego do Seis Sigma (PANDE, 1998) pode ser usado segundo duas perspectivas diferentes: sob a perspectiva da prevenção (metodologia DFSS, do inglês *Design for Six Sigma*), ou sob a perspectiva da solução de problemas e/ou melhoria de sistemas, produtos e processos (metodologia DMAIC).

O conceito Seis Sigma é bastante amplo, pois tem sido aplicado em diversos ramos da economia, além de incorporar muitos conceitos do gerenciamento por processos, controle estatístico de processo (CEP), manufatura enxuta, simulação, benchmarking e delineamento de experimentos, etc.. Segundo (ROTONDARO, 2002), é um conceito que se concentra no cliente e no produto.

Desta forma, a metodologia Seis Sigma poderia ser resumida da seguinte maneira (BREYFOGLE et al, 2003):

Uma Estatística

- Menos de 3.4 Defeitos por milhão de oportunidades

Uma Filosofia de Gestão

- Defeitos são dispendiosos
- Menos defeitos = Menor custo + Maior lealdade do cliente
- Baixo Custo + Alto Valor = Resultados Financeiros
- Devemos alcançar um nível de Qualidade Competitiva

Um Processo

- DFSS (Design for Six Sigma) – Projeta processos novos, livres de defeitos
- DMAIC – Melhora os processos existentes

A seguir, a metodologia DMAIC será suficientemente detalhada para que o desenvolvimento do projeto (próximo capítulo) possa ser bem estruturado e embasado nesta metodologia.

2.2 A METODOLOGIA DMAIC

A metodologia DMAIC significa seguir as seguintes etapas na condução de um estudo no qual deseja-se otimizar processos e produtos (com a conseqüente redução de custos e aumento de produtividade).. Segundo (ROTONDARO et al, 2002):

- **D - *Define*** (Definir): Definir com precisão o escopo do projeto.
- **M - *Measure*** (Medir): Determinar a localização ou foco do problema.
- **A - *Analyze*** (Analisar): Determinar as causas de cada problema prioritário.
- **I - *Improve*** (Melhorar): Propor, avaliar e implementar soluções para cada problema prioritário.
- **C - *Control*** (Controlar): Garantir que o alcance da meta seja mantido a longo prazo.

2.2.1 Definição (*define*)

Esta primeira fase do projeto pode ser resumida através do seguinte diagrama:

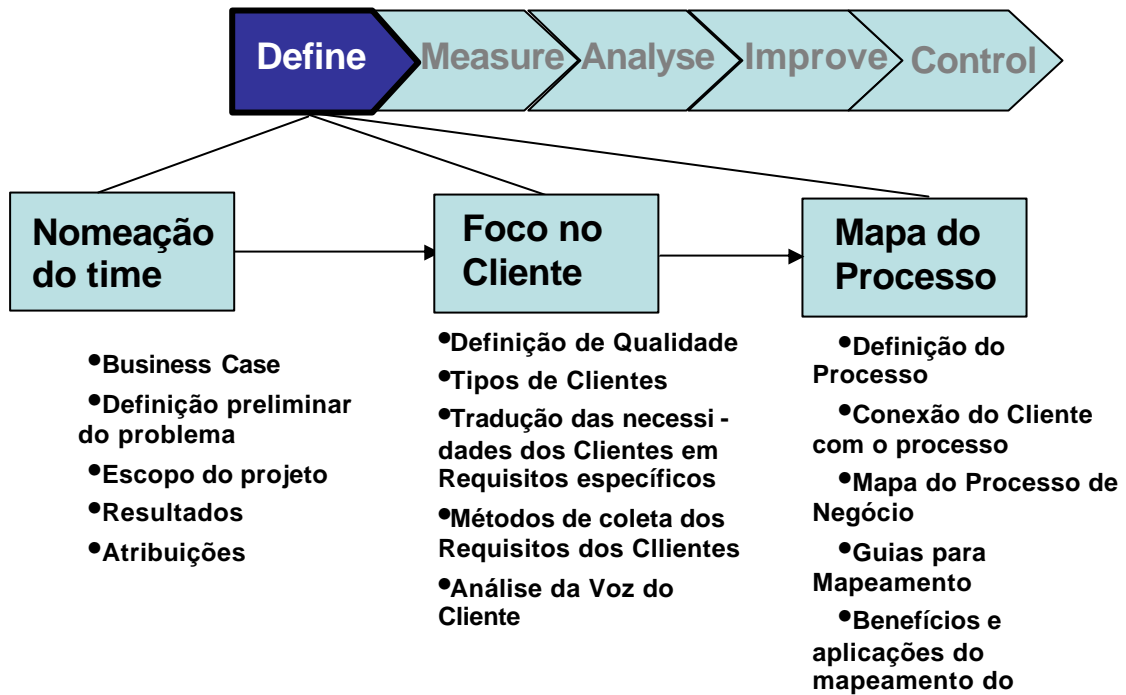


Figura 2.2.1.1: Fase *define* da metodologia DMAIC. Fonte: apostila de treinamento Green Belt

2.2.1.1 As Ferramentas

Neste momento do projeto, algumas ferramentas básicas são comumente utilizadas para direcionar o time do projeto. As ferramentas que irão ajudar o time a melhor definir seu projeto e/ou problema são:

- Brainstorming
- Diagrama de Afinidade
- Multi-Votação
- Matriz É / Não É

Através destas simples ferramentas, a equipe do projeto estará apta a definir detalhadamente o problema a ser resolvido, bem como as premissas do projeto.

2.2.1.2 SIPOC (Supplies, Inputs Boundaries, Process, Output Boundaries, Customers)

O SIPOC é um mapa de alto nível do processo relacionado ao problema tratado e relaciona o Fornecedor ao início do processo, e o Cliente ao final, ou saída, do processo. Esta ferramenta permite ver todas as inter-relações dentro do processo, evidenciando os limites de atuação do time do projeto.

O SIPOC gerado poderá estar contido em um Core Process, o que significa que seus fornecedores e clientes serão internos.

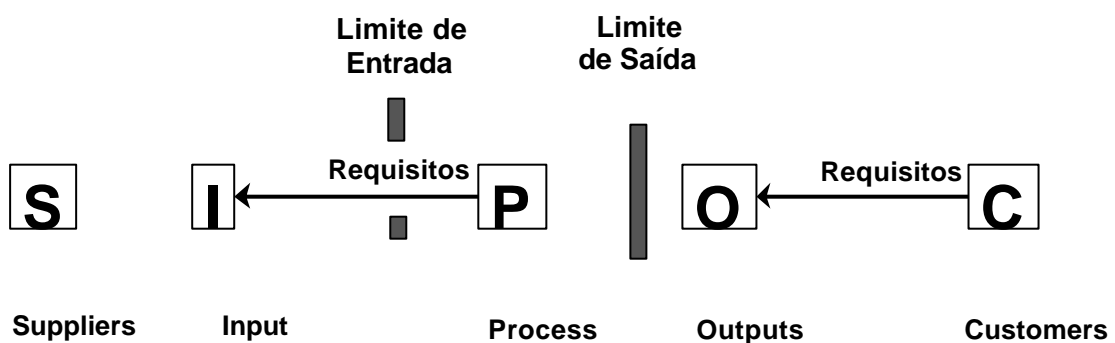


Figura 2.2.1.2.1: Mapa global do processo. Fonte: apostila de treinamento Green Belt

O SIPOC relaciona o Fornecedor ao início do processo, e o Cliente ao final, ou saída, do processo. Esta ferramenta permitir que todas as inter-relações sejam observadas.

Durante a elaboração do SIPOC, deve-se listar todos os requisitos e saídas de cada etapa contida no escopo. Com isso, busca-se compreender melhor os limites do processo como um todo; identificar os *gaps* ou as falhas contidas nas etapas; identificar os clientes de cada processo e quais necessidades devem ser atendidas e por quem.

Com isso, escopo do projeto é definido pela magnitude do processo entre os limites de entrada e saída.

2.2.1.3 O Mapa do Processo

O Mapa do Processo é a representação visual do processo. Para (GALLOWAY, 1997) um Mapa do Processo deve ser construído ainda no início do projeto para facilitar a familiarização com o processo. Para tanto, o time deve percorrer o processo e ver com cada posto de trabalho com os próprios olhos.

Ao se fazer o mapa do processo do que já foi estabelecido no escopo do projeto, pretende-se contemplar os seguintes fatores:

- Uma série de atividades (Tarefas)
- Inputs que são Transformados em Outputs
- Tolerâncias e Especificações
- Expectativas dos Clientes
- Gargalos
- Sub-processos de retrabalho
- Fornecedores

Como os Inputs e Outputs de alto nível vêm diretamente do SIPOC, os detalhes do processo devem ser obtidos com auxílio da seguinte documentação:

- Especificações do Processo
- Planos de Controle do Processo
- Instruções do Operador
- Especificações das peças e materiais
- Desenhos dos Produtos ajudam a determinar como o processo é realmente realizado

Procedendo-se dessa forma, os inputs e outputs importantes, bem como seus relacionamentos são identificados com facilidade. Além disso, o mapa do processo ajuda o time a desvendar a “Fábrica Oculta”, que está sempre presente.

Após o mapeamento do processo, é preciso entender quais são os pontos críticos do processo. Para isto, o time reunido deve classificar as entradas de cada etapa do processo, conforme as seguintes categorias de inputs:

Inputs Controláveis (C): Variáveis de entrada (x’s) que podem ser alteradas para verificar seu efeito nas variáveis de saída do processo (y’s). Também chamadas de Variáveis Ajustáveis.

Procedimento Operacional Padrão (P): Procedimentos padrão que descrevem como o processo é executado e identificam certos fatores a monitorar e manter. Também são classificados como Padrão aqueles inputs que não se alteram (p.ex., um operador padrão) e aqueles que quando alterados não afetam o processo ($120V > 110V$).

Noise Inputs ou Ruído (R): Variáveis de entrada que impactam os y’s mas não são controláveis, são de difícil controle, ou de custo muito alto. Ex.: variáveis ambientais como umidade, temperatura ambiente, etc.

Além disso, os inputs também podem ser classificados como críticos:

Inputs Críticos (!): Variáveis de entrada (x’s) que as ferramentas (FMEA, SPC, MSE, etc.) provaram ter um grande impacto nas variáveis de saída (y’s). Um conhecimento significativo do processo pode identificar antecipadamente inputs suspeitos de serem críticos.

Feito isto, o time deve adicionar aos inputs Controláveis e Críticos as especificações operacionais e metas do processo. Desta forma, a comparação da situação encontrada pode

ser confrontada contra as especificações e, assim, não-conformidades, ou causas especiais, possam ser corrigidas para que a causa raiz do problema possa ser evidenciada.

2.2.2 Medição (*measure*)

Esta fase do projeto pode ser resumida através do seguinte diagrama:

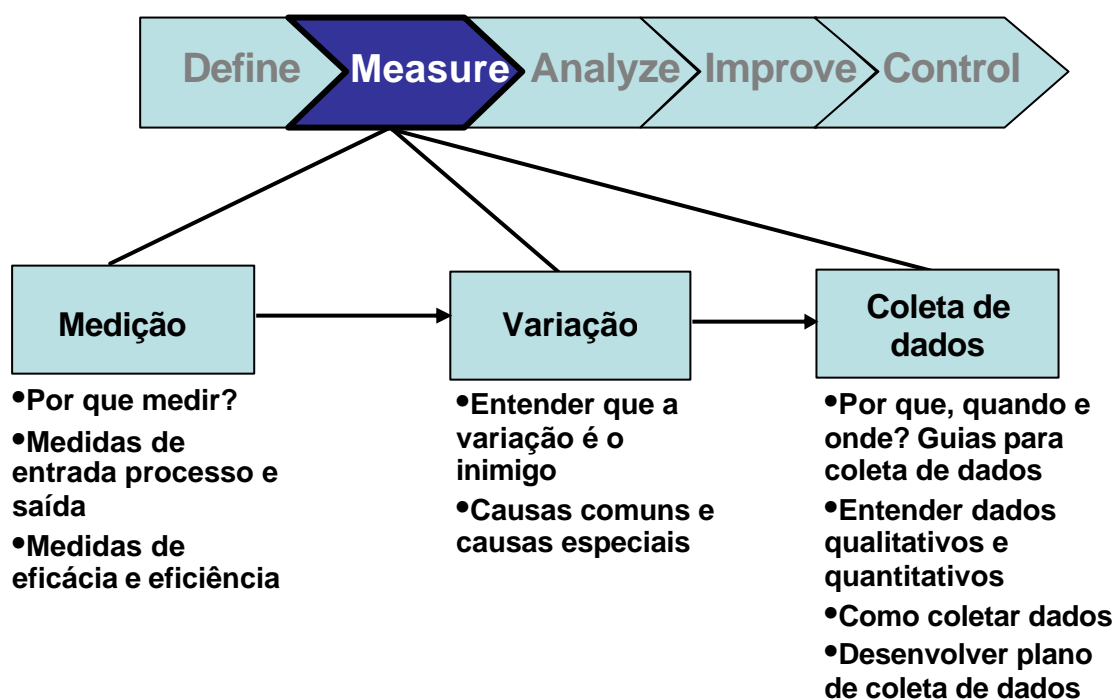


Figura 2.2.2.1 : Fase *measure* da metodologia DMAIC. Fonte: apostila de treinamento Green Belt

A fase de medição é uma fase de transição, que serve para validar ou refinar a definição do problema, e para começar a busca pelas causas raiz - que é o objetivo da fase seguinte (*Analyze*), as medições devem responder a duas perguntas chave:

- 1 Qual o foco e extensão do problema, com base nas medições do processo e/ou outputs?
- 2 Quais dados chave podem ajudar a relacionar o problema a seus principais fatores, ou causas principais “Vitais”?

Para planejar as medições que serão feitas, é preciso tentar responder as seguintes questões:

1. Existem dados que ajudam a entender o problema?
2. Se não, o time pode ter que desenvolver um novo plano para coleta de dados.
3. Em esforços para melhoria do processo, a necessidade de coletar dados em diversas fases é uma das principais razões para que os projetos demorem meses para serem concluídos.
4. Algumas vezes não é possível fazer as medidas que se gostaria então é importante a habilidade de encontrar alternativas, ou de fazer o melhor uso dos dados que você consegue obter.
5. Parte da arte do Six Sigma reside em basear as decisões e soluções em fatos suficientes para ser efetivo, e em aprender como usar melhor os dados ao longo do tempo.

Para garantir que a coleta de dados seja completa e atenda as necessidades do projeto ao longo de sua duração, a equipe do projeto deve assegurar-se sobre a acuracidade dos. Ou seja, é preciso planejar a coleta de dados e adotar uma técnica consistente. Dados ruins não são apenas um desperdício de recursos, mas também corrompem o processo de tomada de decisões.

O principal requisito de preparação para a fase *Analyse*, é ter pelo menos uma medição sólida e repetível, confirmando o problema ou oportunidade. Esta deve ser a medição a ser repetida durante a implementação das soluções, e depois, para acompanhar os efeitos de suas melhorias.

Outro resultado comum da fase *measure* é um conjunto mais sofisticado de questões sobre o problema. Estas questões são um bom sinal: elas mostram que o time está pensando sobre como investigar o problema, ao invés de tirar as soluções da “cartola”.

Ao final da fase *Measure*, os seguintes resultados devem ser obtidos:

- Medidas chave identificadas,
- Coleta de dados planejada e executada,
- Variação do processo visível e comunicada,
- Desempenho atual (baseline) identificado,
- Nível sigma calculado,
- Metas de melhoria definidas, e
- Declaração final do projeto estabelecida.

2.2.2.1 Ferramentas Básicas da Fase Measure

Nesta fase de medição, muitas ferramentas podem ser usadas para facilitar a compreensão de dados, priorização de ações e monitoramento do processo (KIEELE et al, 1999).

1. Análise de Pareto
2. Gráfico de Barras
3. Gráfico de Linhas, ou Run Chart
4. Gráfico de Pizza
5. Folha de Verificação (tabela & gráfica)
6. Histograma
7. Z-Score
8. Capabilidade/Nível Sigma
9. Cartas de Controle

A Capabilidade é um conceito muito importante, pois é onde está fundamentada a meta da metodologia Seis Sigma. Capabilidade é a relação entre as medidas de Tendência & Dispersão e as Especificações do Cliente. Ou seja, a capabilidade compara a Voz do Cliente (VOC) com a Voz do Processo (VOP).

Um indicador de capabilidade do processo é um valor simples que representa a habilidade que o processo tem de atender seus requisitos. Foram desenvolvidos diversos indicadores

estatísticos de capacidade do processo, porém neste treinamento, focaremos os quatro mais conhecidos: **Cp - Cpk - Pp - Ppk** (KUME, 1993).

Os dois primeiros são calculados da seguinte forma:

$$C_p = (LSE - LIE) / (6s)$$

$$C_{pk} = \min(C_{pk_{upper}}, C_{pk_{lower}}), \text{ onde :}$$

$$C_{pk_{upper}} = (LSE - \text{Média}) / 3s \text{ e } C_{pk_{lower}} = (\text{Média} - LIE) / 3s$$

O **Nível Sigma** de um processo é calculado da seguinte maneira:

$$\text{Nível Sigma} = C_{pk} \times 3$$

Ou seja, o Nível Sigma é o número de desvios padrão que cabem entre o centro do processo e o limite do cliente mais próximo.

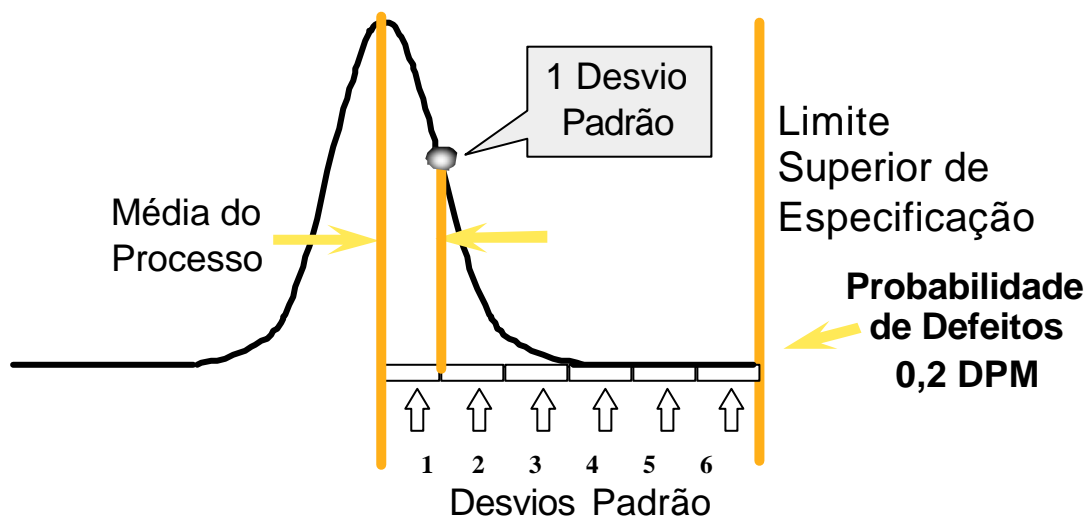


Figura 2.2.2.1.1: Conceito de variação sigma de um processo. Fonte: apostila de treinamento Green Belt

2.2.2.1.1 Capabilidade e Nível Sigma no Longo Prazo

Segundo (HARRY, 2000), é difícil manter um processo sempre centralizado já que, a longo prazo, vários fatores provocam seu deslocamento em relação ao centro da especificação.

Após anos de coleta de dados, a Motorola determinou que os processos variam e se movem ao longo do tempo,- fato que eles batizaram de “Variação Dinâmica de Longo Prazo das Médias. Além disso, determinaram que esta variação tipicamente oscila entre 1,4 e 1,6 s .

Para representar esta capabilidade a longo prazo, foi definido o termo “Capabilidade Sigma” do processo. Segundo (ROTONDARO et al, 2002), para chegarmos à capacidade potencial do processo, denominada de curto prazo (Z_{cp}), devemos descontar o deslocamento ($Z_D=1,5$), ou seja, o índice de capacidade é obtido da seguinte forma:

$$Z_{CP} = Z_{LP} + 1,5$$

ou

$$\text{Capabilidade Sigma} \sim \text{Nível Sigma} + 1,5$$

Desta forma, um processo pode ser considerado Seis Sigma quando apresenta capacidade potencial para ser um processo Seis Sigma quando centrado, porém pode estar fora de centro em até 1,5s, com:

$$C_p = 2,0 \quad \text{e} \quad C_{pk} = 1,5$$

O que corresponde a:

$$\text{Nível Sigma} = 4,5 (3 \times 1,5) \rightarrow \text{DPM} = 3,4$$

$$\rightarrow \text{Capabilidade Sigma} = 6,0 (4,5 + 1,5)$$

2.2.2.1.2 Controle Estatístico de Processo

O Dr. Walter A. Shewhart Shewhart, creditado como introdutor das cartas de controle, determinou que podemos olhar par um grupo bem pequeno de dados, e fazer previsões (inferências) sobre todo o lote de produtos (KIEELE et al, 1999).

Como existem diversos tipos de variações de dados, que por sua vez, também podem diferir quanto à sua natureza, muitos tipos de cartas de controle são utilizados no monitoramento de processos.

Shewhart definiu duas causas de variação: Comuns e Especiais. A correção, eliminação ou minimização destas duas formas de variação requer diferentes tipos de ações.

Regras estatísticas foram desenvolvidas para identificar variação devida a causas especiais. Quando apenas causas comuns existem, dizemos que o processo está estatisticamente sob controle.

Para nosso propósito no DMAIC, devemos atingir o controle estatístico, antes de tentar melhorar o processo, para evitar que sejamos confundidos pelos “ruídos” no processo, e para que possamos tomar as ações apropriadas de melhoria.

Para ajudar a determinar qual média ou amplitude podemos esperar, calcula-se o que é conhecido como “limites de controle” de cada gráfico. Os limites de controle não têm nenhuma relação com os limites de especificação do cliente.

Estes limites de controle, e outras regras estatísticas são usados para se determinar se um processo está sob controle estatístico, ou não.

- Cartas de controle existem para fazer previsões.
- Para poder prever, deve-se buscar distinguir as variações por causas comuns (variação natural do processo) das variações por causas especiais ou identificáveis (eventos que ocorrem e que podem ser isolados e explicados através de suas causas).
- Para uma carta de controle ser considerada sob controle estatístico, somente causas comuns de variação deveriam estar presentes no processo.

2.2.2.2 Análise do Sistema de Medição

Para identificar a variabilidade real do processo, a variação devida ao sistema de medição deve primeiro ser identificada e separada daquela devida ao processo real. Desta forma, um sistema de medição é a combinação de pessoas, instrumentos, métodos, ambiente, e o material a ser medido.

Dependendo do tipo de dados (por atributos ou contínuos), deve-se fazer um estudo diferente para entender a origem de toda a variação do sistema de medição.

Para se determinar todas as fontes de variação do sistema de medição, diversos estudos devem ser realizados a partir de uma série de medições com um grupo de peças. O diagrama logo abaixo resume as principais fontes de variação e suas relações.

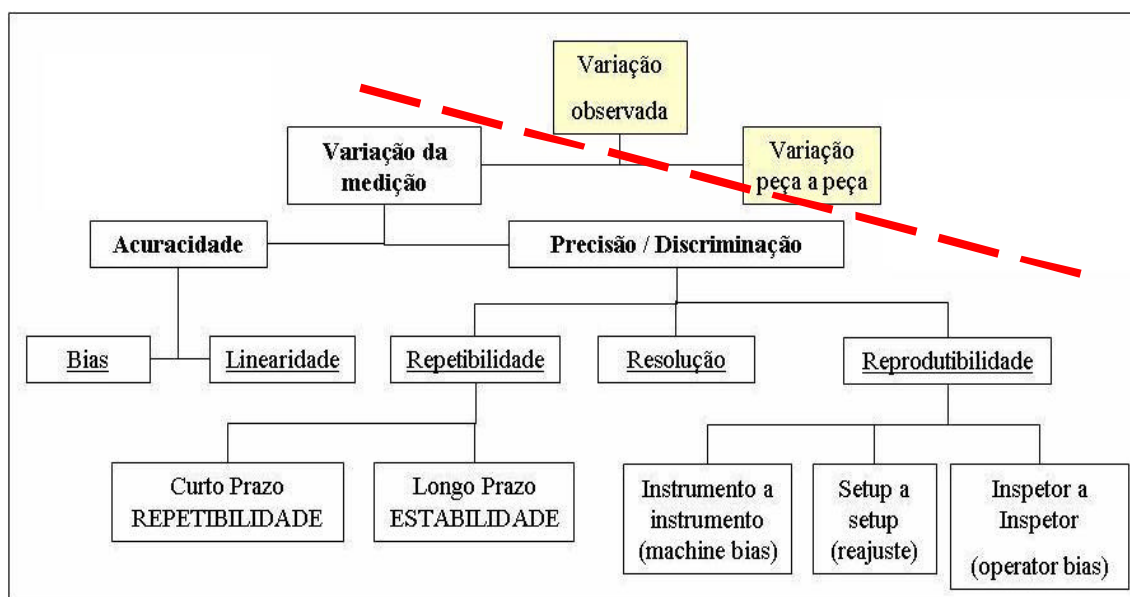


Figura 2.2.2.2.1: Sistema de Medição: “a árvore da variação”. Fonte: apostila de treinamento Green Belt

As definições dos conceitos citados no diagrama acima seguem abaixo:

a) REPRODUTIVIDADE

É a variação das médias das medições feitas por diferentes inspetores, usando o mesmo instrumento de medição, quando medindo a mesma característica, na mesma peça.

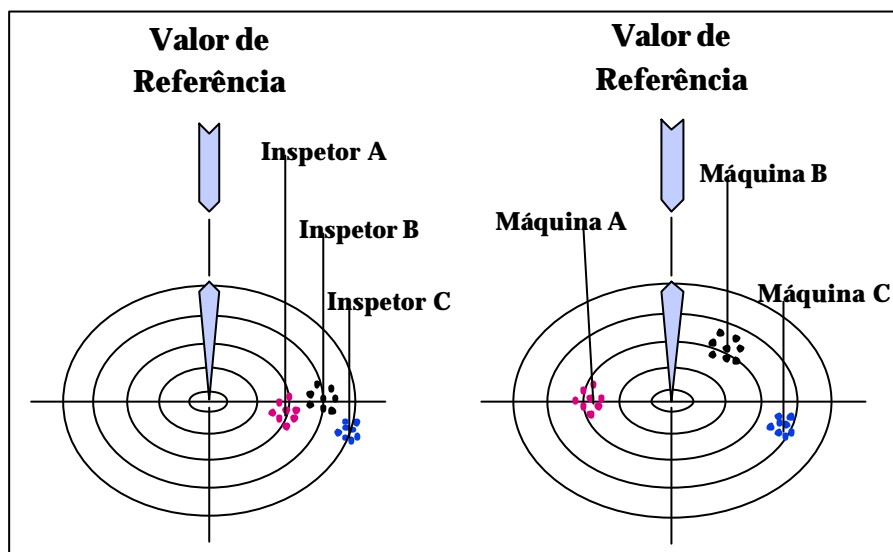


Figura 2.2.2.2.2: Diferença de reprodutividade entre medidores. Fonte: Apostila de treinamento Green Belt

b) REPETITIVIDADE

É a variação encontrada em um instrumento de medição, quando usado várias vezes por um mesmo inspetor, para medir a mesma característica, na mesma peça. Ou seja, é a variação total nas leituras obtidas de um sistema de medição, medindo sempre a mesma característica, nas mesmas peças, ao longo de um grande período de tempo.

A Figura 2.2.2.2.3 ilustra bem este conceito.

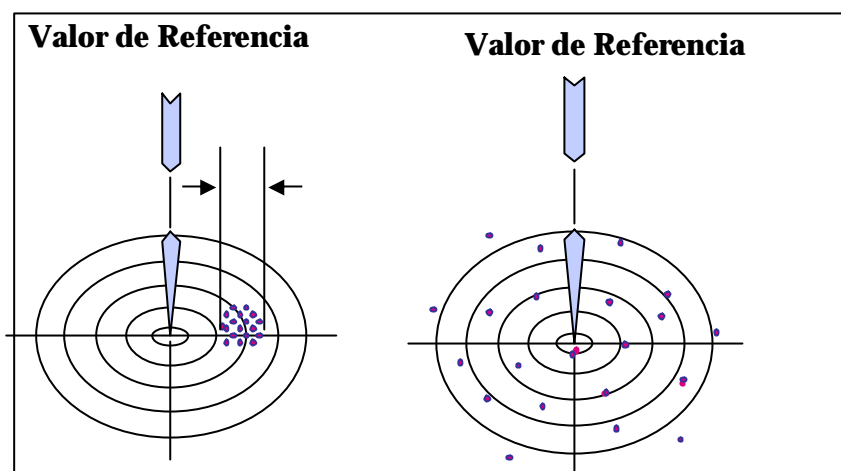


Figura 2.2.2.2.3: Diferença de repetitividade entre equipamentos. Fonte: apostila de treinamento Green Belt

c) BIAS

É a diferença entre a média **observada** das leituras, e o valor de **referência**, o qual pode ser acordado e pode ser determinado pela média das leituras obtidas com um instrumento de maior resolução.

d) LINEARIDADE

É a diferença entre os valores de BIAS (tendência) ao longo da faixa esperada de operação do instrumento.

2.2.3 Análise (*Analyze*)

Esta fase do projeto pode ser resumida através do seguinte diagrama:

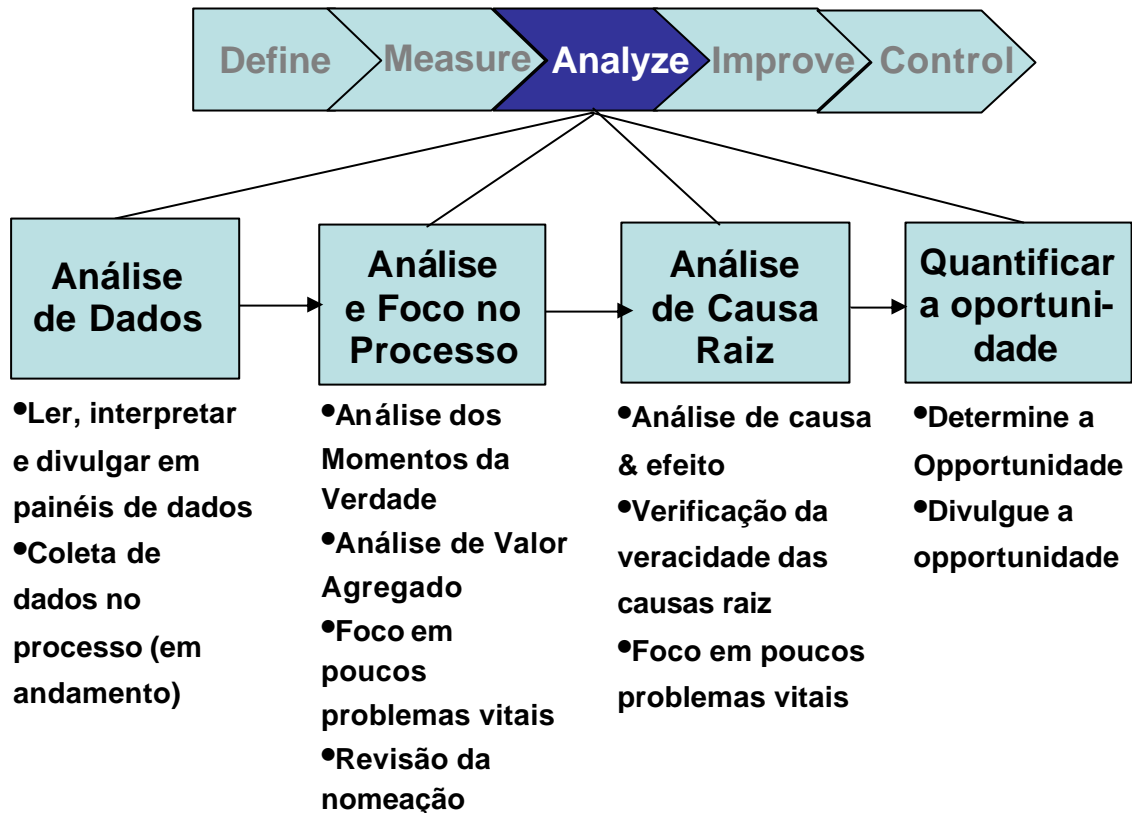


Figura 2.2.3.1: Fase *analyze* da metodologia DMAIC. Fonte: apostila de treinamento Green Belt

O propósito da fase *analyze* é a determinação das causas raiz dos defeitos e oportunidades de melhoria. Seus principais objetivos são:

- Foco nas poucas causas raiz vitais
- Identificação das fontes de variação
- Verificação das causas raiz
- Determinação da oportunidade (\$)

Também podemos representar a fase *Analyze*, aplicada à melhoria do processo, como um ciclo:

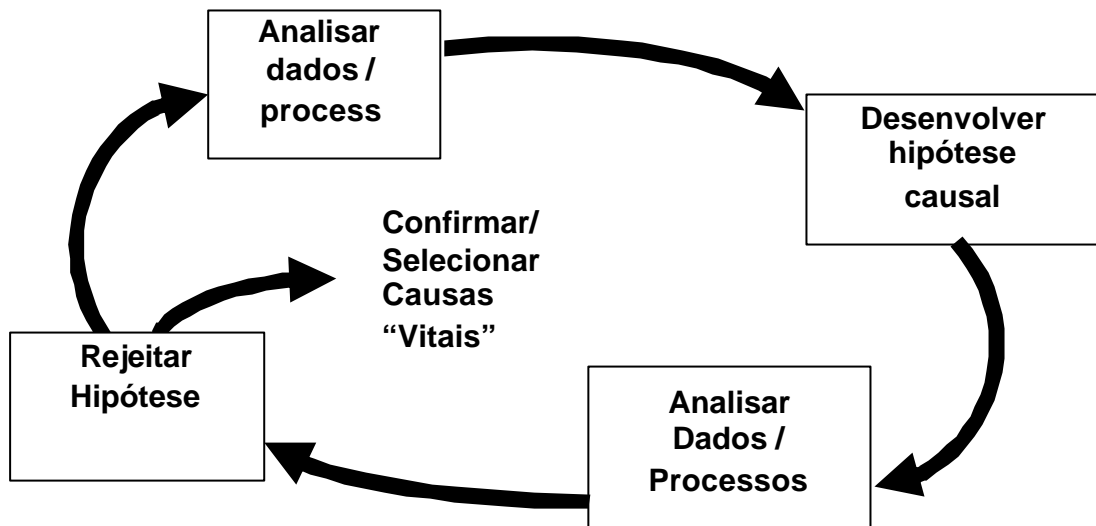


Figura 2.2.3.2: Diagrama genérico da fase *analyze*. Fonte: apostila de treinamento Green Belt

Para se chegar nas causas de um ou mais problemas, muitas ferramentas são comumente usadas para este fim, tais como:

- Mapa do Pensamento
- Diagrama de Causa & Efeito (Espinha de Peixe, ou Diagrama de Ishakawa)
- Árvore de Causa Raíz (Análise da Árvore de Falhas)
- Análise de 5 Porquês
- Diagrama de Dispersão
- FMEA (Failures Modes Effects Analyses)
- Delineamento de Experimentos (técnicas de Shainin)

2.2.3.1 O Mapa do Pensamento (Thought Map - TMAP)

O TMAP é uma ferramenta muito utilizada na metodologia Seis Sigma por mostrar-se muito útil na elucidação do problema e na localização dos mesmos no processo. O TMAP facilita a visualização dos pontos do processo que são críticos e que deverão ser atacados

durante o projeto. A partir destes pontos, procura-se fazer perguntas relacionadas ao problema para, a partir de ações ou não, ganhar conhecimento ou testar hipóteses.

O Mapa do Pensamento do Processo contém todas as entradas necessárias para cada saída em cada etapa crítica do processo. Ou seja, o TMAP contém os seguintes elementos básicos:

- Questões feitas
- Ações tomadas para responder às questões
- Inputs necessários para responder às questões
- Respostas às questões

Apesar de bastante útil para elucidar o problema e alinhar as informações e o foco com o time do projeto, esta ferramenta é extremamente simples e pode ser representada da seguinte maneira:

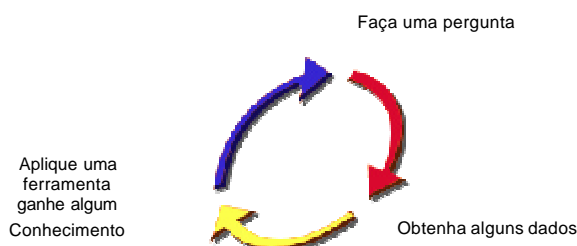


Figura 2.2.3.1.1: Mapa do pensamento. Fonte: apostila de treinamento Green Belt

O TMAP é o mapa da lógica por trás de uma série de decisões para resolver um problema, contemplando a linha de raciocínio do time e as ferramentas utilizadas como suporte para verificação de cada caminho tomado.

2.2.3.2 Técnicas de Shainin

As técnicas de Shainin (SCHMIDT et al, 1998) são delineamentos de experimentos muito úteis na investigação de causas raízes de efeitos estudados. Dentre as diversas técnicas, destaca-se o *Components Search* (Bhote, 1991) na determinação de uma causa raiz quando há inúmeros componentes potenciais do efeito observado.

A técnica consiste em listar todos os componentes que podem influenciar a ocorrência de um determinado efeito para, então, testar a influência de cada um deles isoladamente, ou então a influência de mais de um deles simultaneamente (interação de fatores). Os testes de *Components Search* são experimentos práticos de desempenho realizado com pelo menos 5 pares de produtos, cujos efeitos observados entre cada par sejam opostos e com a máxima intensidade possível. Assim, um dos produtos do par é nomeado como BOB (best of best), enquanto que o outro é considerado WOW (worst of worst). O primeiro deve apresentar um efeito favorável máximo (melhor produto), enquanto que o segundo deve apresentar um efeito desfavorável na máxima intensidade possível (pior produto).

Para verificar a influência de um ou mais fatores no efeito estudado, deve-se inverter o(s) mesmo(s) fator(es) entre os pares BOB e WOW e testá-los para medir o efeito. Se os efeitos dos produtos também forem invertidos, significa que o(s) parâmetro(s) em teste interfere(m) no efeito estudado e, portanto, podem ser considerados causa raiz do problema. Caso os produtos BOB e WOW continuem a apresentar os mesmos efeitos de quando antes da troca de componentes, significa que o(s) componente(s) não são capazes de alterar o efeito observado no produto. Neste caso, deve-se repetir o procedimento para todos os outros componentes listados inicialmente.

Desta forma, é possível eliminar uma série de componentes potenciais do efeito em análise, reduzindo-se bastante o universo de componentes e características dos mesmos a serem medidas e avaliadas. Portanto, esta técnica é usada principalmente em casos em que se deseja reduzir o número de variáveis potenciais da causa de um problema.

Após uma exaustiva e cuidadosa análise da(s) causa(s) raiz, deve-se quantificar as oportunidades de melhoria encontradas. Portanto, deve-se quantificar as diferenças de desempenho do processo atual e o desempenho esperado do processo após uma melhoria. A partir daí, projeções superficiais de ganhos financeiros podem ser calculadas e avaliadas.

2.2.4 Melhorias (*Improve*)

Esta fase do projeto pode ser resumida através do seguinte diagrama:

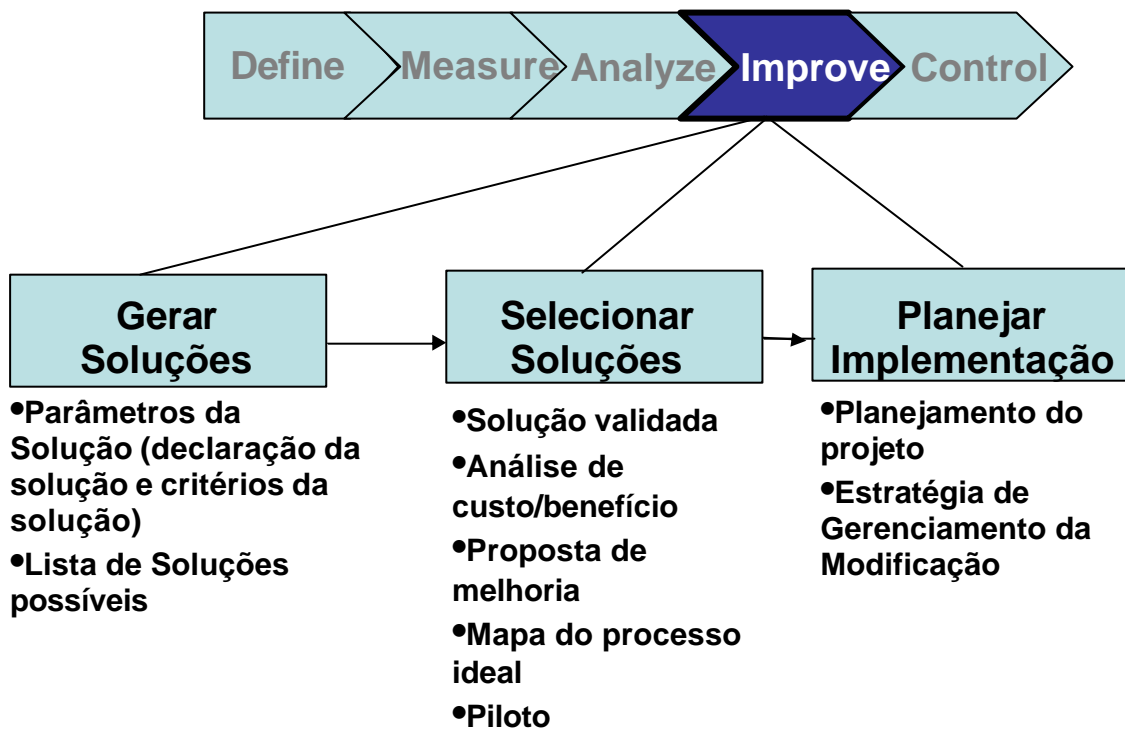


Figura 2.3.4.1: Fase *improve* da metodologia DMAIC. Fonte: apostila de treinamento Green Belt

O propósito da Fase Improve é o de gerar, selecionar e implementar soluções. Falta de criatividade, falhas ao desenhar as soluções, implementação não planejada e resistência da organização são fatores que podem eliminar os benefícios de um projeto Six Sigma.

Dois planos de ação são criados na nesta fase: o primeiro é o plano de ação para a linha piloto; o segundo é o plano de ação para a implementação mais ampla e permanente. Para cada um dos métodos práticos que o time planeja implementar, um detalhamento passo a passo da implementação das soluções deve ser levantado.

É importante também que o time assegure que determinou a precedência dos itens de ação. Alguns itens somente podem ser implementados após a conclusão de outros.

Após a elaboração dos planos de ação gerados, as soluções devem ser testadas, tanto em termos práticos como em termos de resultado e desempenho. Neste momento, é importante fazer nova coleta de dados para atualizar os indicadores escolhidos anteriormente e validar a eficácia de cada solução. As ferramentas mais utilizadas na fase Improve são as seguintes:

- *Assumption Busting*
- *Phoenix*
- Cabos de Guerra
- Árvore de Efeitos
- Matriz de Seleção de Soluções
- Análise de Custo/Benefício

E antes de prosseguir para a próxima fase da metodologia DMAIC, o time deve assegurar que relevou todos aspectos importantes para o sucesso da mudança em questão. Estes aspectos podem ser listados num checklist, contemplando os requisitos de Planejamento e Recursos, o Plano de Gerenciamento de Risco, Orçamento e Controle.

2.2.5 Controle (*Control*)

Esta fase do projeto pode ser resumida através do seguinte diagrama:

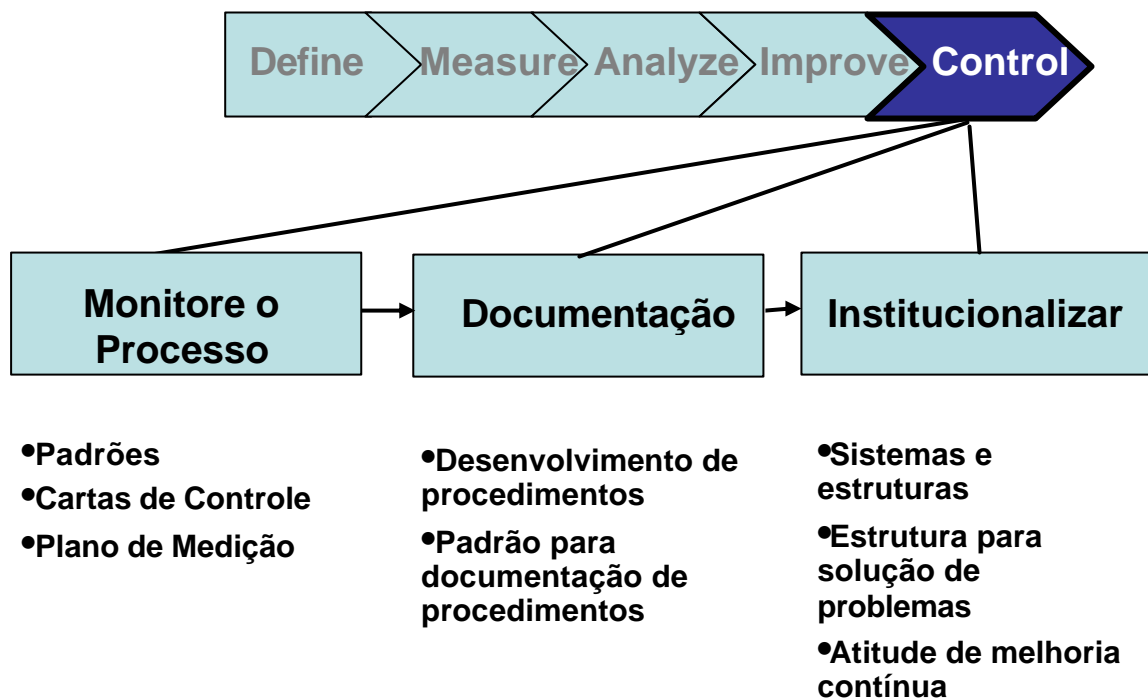


Figura 2.2.5.1: Fase *control* da metodologia DMAIC. Fonte: apostila de treinamento Green Belt

Os principais objetivos da fase Controle são os seguintes:

- Para validar as melhorias e para ajustar o processo adequadamente para atingir os ganhos.
- Para assegurar que o processo permanece sob controle depois que as soluções tiverem sido implementadas. Os ganhos devem ser mantidos.
- Para detectar rapidamente sinais de falta de controle e determinar as causas especiais associadas, de forma que ações possam ser tomadas para corrigir o problema, antes que defeitos ou erros sejam feitos.

Após as alterações de processo, todas as mudanças devem ser formalizadas através da revisão e atualização de documentos. Quando a equipe do projeto adentrar a fase Control, os seguintes aspectos devem trabalhados:

- Atualizando o Sistema de Controle do Processo
 - Fluxograma do Processo
 - Metrics
- Monitorando as Melhorias do Processo
- Documentação e Padronização
- Metodologias à Prova de Erros (Poka-Yokes), sempre que possível

Desta forma, garante-se que as melhorias implementadas durante a fase *Improve* permanecerão sob controle, evitando que os mesmos problemas observados no início do projeto voltem a ocorrer.

Capítulo III

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DMAIC

3. 1 FOCANDO NO PROBLEMA (*DEFINE*)

Para execução deste projeto, uma equipe com membros de diversas áreas da empresa foi treinada e montada. A participação do autor no projeto deu-se como candidato a Green Belt, conforme contrato do projeto no anexo I.

O ponto de partida para escolha deste projeto foi o alto índice de rejeições de bombas. Como pode ser visto abaixo, o FTQ das bombas é elevadíssimo e acaba por tornar-se um dos maiores responsáveis pelo alto índice geral de FTQ.

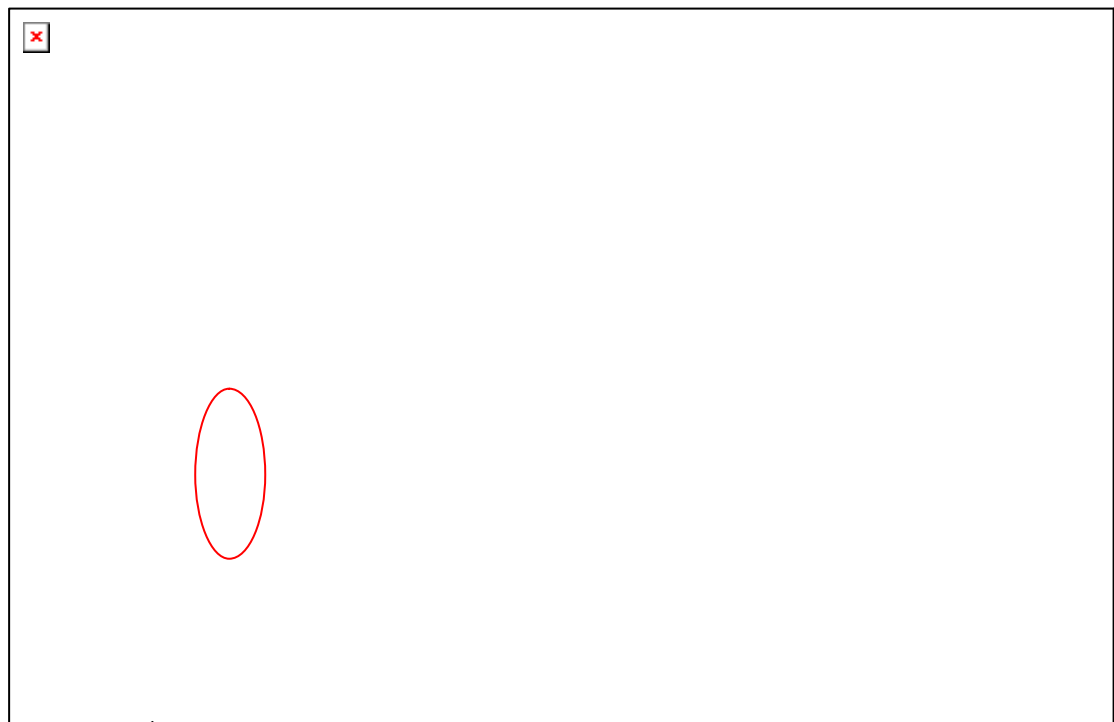


Figura 3.1.1: Índice de rejeições pela primeira vez para toda a planta (valor acumulado de 12 meses).

Fonte: dados internos.2004

Pelo pareto acima, nota-se que as bombas DPA lideram o índice de rejeições pela primeira vez entre uma série de produtos. Na figura 3.1.2, observa-se que em 12 meses, o FTQ de bombas manteve-se entre 90 e 150 mil PPM's, que é um índice muito elevado tanto em termos relativos como absolutos. Independentemente de outros produtos apresentarem

índices de rejeição bem mais baixos, o índice de rejeição acima de 10% sugere que o produto possui deficiências de projeto e de processo.



Figura 3.1.2 : Índice de rejeições de bombas acumulado em 12 meses.

Fonte: dados internos. 2004

Dentre os principais tipos de bombas produzidos pela Delphi em Cotia, deve-se buscar trabalhar em cima das bombas mais problemáticas. Com auxílio do gráfico abaixo, nota-se que as bombas do tipo DPA apresentam o maior índice de rejeição.



Figura 3.1.3: Rejeição por tipo de bombas para os primeiros meses de 2004. Fontes: dados internos

Como é possível notar, as bombas DPA são as bombas mais problemáticas e, por isso, serão as bombas estudadas no projeto para que o impacto do projeto seja o maior possível no que se refere a melhoria de qualidade e ganho financeiro. Para iniciar o estudo, devemos conhecer o nível histórico de rejeição destas bombas (Figura 3.1.4).

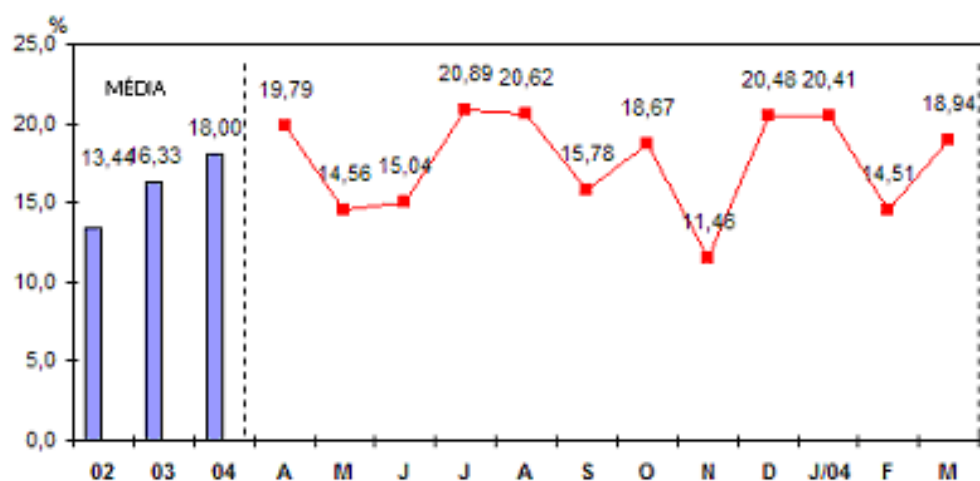


Figura 3.1.4 Evolução do índice de rejeição no teste de bombas DPA. Fonte: dados internos

Observando os dois gráficos acima, nota-se que alto índice de rejeição das bombas DPA acaba por tornar-se responsável pelo alto índice de bombas (todos os tipos de bombas) e, consequentemente, pelo alto o índice geral de FTQ da planta.

Antes de buscar causas do grande número de bombas reprovadas no teste de bombas, é preciso conhecer os efeitos das falhas e a frequência com que elas ocorrem. A tabela abaixo contém os principais modos de falha registrados num período de 12 meses.

	Defeito	Total acumulado	%	% Acum
A	Não dá dosagem após regulador (NDAR)	1624	18,2%	18,2%
B	Não ajusta óleo (NAO)	1518	17,0%	35,2%
C	Cai dosagem após ajuste parafuso torque (IPT)	627	7,0%	42,2%
D	excede dos após regulador (EDAR)	581	6,5%	48,7%
E	avanço baixo (AVB)	553	6,2%	54,9%
F	consumo variando (CV)	517	5,8%	60,7%
G	não corta óleo pela válvula (NCOV)	418	4,7%	65,4%
H	não ajusta pressão (NAP)	389	4,4%	69,8%
I	não ajusta regulador (NAR)	359	4,0%	73,8%
J	não ajusta fase dinâmica (NAFD)	353	4,0%	77,7%
K	não ajusta avanço (NAV)	320	3,6%	81,3%
L	pouco consumo cem (PCC)	305	3,4%	84,7%
M	avanço alto (AVA)	259	2,9%	87,6%
N	pressão baixa (PB)	197	2,2%	89,8%
O	vazamento pelo banjo (VB)	189	2,1%	92,0%
P	Fechando em alta RPM (FARPM)	152	1,7%	93,7%
R	eixo preso (EP)	133	1,5%	95,1%
S	engripamento (E)	114	1,3%	96,4%
T	Não injeta (NI)	106	1,2%	97,6%
U	excede dos após marcha lenta (EDAML)	79	0,9%	98,5%
V	muito barulho (MB)	55	0,6%	99,1%
X	CUBO PRESO (CP)	45	0,5%	99,6%
Y	OUTROS	34	0,4%	100,0%
Total		8927	100,0%	100,0%
Qtde testada		48620	-	-
Índice de Rejeição		18,36%	-	-

Tabela 3.1.1: Lista de defeitos. Fonte: dados internos.2004

Diante de tantos modos de falha, é preciso estudar os defeitos que representam a maior fração do total registrado. Neste caso, há um grupo de três defeitos listados acima que estão intimamente relacionados e que, juntos, representam quase 30% do total de defeitos. São eles: os defeitos A (não dá dosagem após regulador, ou NDAR), D (excede dosagem após regulador, ou EDAR) e I (não ajusta regulador, ou NAR). Agrupando-se a ocorrência das rejeições pelos tipos de defeitos, pode-se visualizar (Figura 3.1.5) quais são os principais defeitos das bombas DPA, assim como a representação dos três defeitos alvo do estudo.

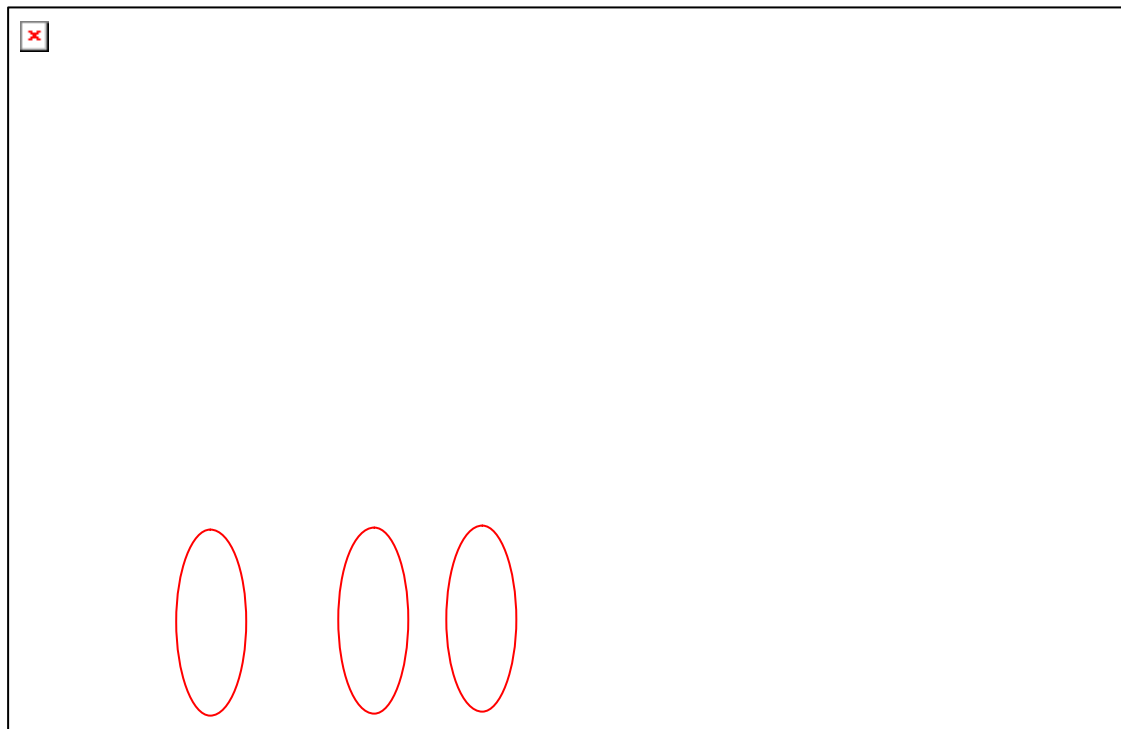


Figura 3.1.5: Gráfico de Pareto para os tipos de defeitos. Fonte: dados internos

De acordo com os engenheiros de pesquisa e desenvolvimento da empresa, estes três defeitos só podem ser causados por um conjunto de peças comum, chamado “Conjunto Regulador” (Figura. 3.1.6). Daí a importância de se estudar o conjunto regulador da bomba.

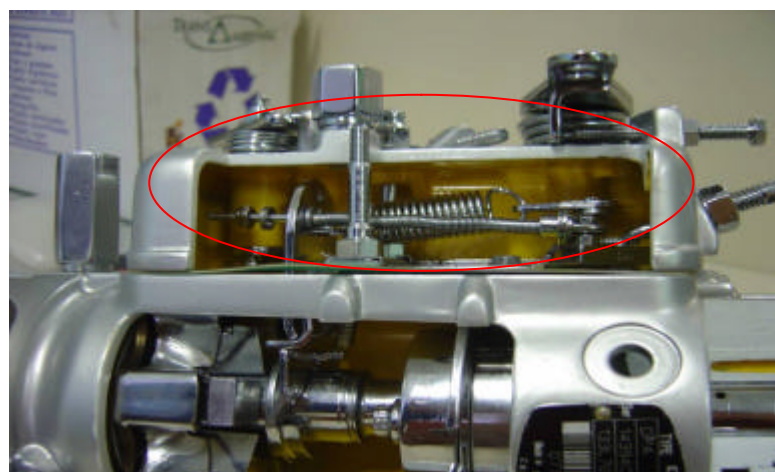


Figura 3.1.6: Bomba Injetora DPA com o conjunto regulador em destaque. Fonte: Delphi Diesel Cotia

Para facilitar a busca da causa raiz destes problemas, o projeto será focado principalmente no problema NDAR, que é o maior problema dentre os problemas do conjunto regulador. Com isso, espera-se que os defeitos EDAR e NDAR sejam reduzidos juntamente quando da redução da ocorrência do NDAR. Por isso, no levantamento de dados, os três defeitos serão agrupados.

O NDAR (“Não Dá Dosagem Após Regulador”) consiste na dificuldade de ajuste do volume de óleo após o ajuste do parafuso “regulador”. Quando a rotação do motor é elevada e depois reduzida novamente ao mesmo ponto, observa-se que o volume de óleo injetado no motor é menor que antes, apesar da mesma rotação. Assim, o efeito da falha no cliente seria redução da potência no motor. Dado que os defeitos EDAR e NAR são muito semelhantes e, normalmente são corrigidos através do ajuste do link e outros componentes do conjunto regulador, estes três defeitos são denominados “problemas de regulador”.

Devido à esperada dificuldade de encontrar a causa raiz deste problema, estabeleceu-se como meta uma **redução de apenas 50%** neste índice, isto é, uma redução de 15% no total dos problemas com as bombas DPA.

O indicador base do projeto, índice de rejeição de bombas, representa apenas as ocorrências dos defeitos de regulador (NDAR, EDAR e NAR), cujo levantamento de dados é feito para cada modelo de bomba. Portanto, o *Índice de Rejeições de Bombas* (que na verdade significa “rejeições por problemas de regulador”) será o indicador utilizado durante e após o término do projeto.

3.2 MEDIÇÃO (*MEASURE*)

Nesta seção, serão levantados todos os dados necessários para a próxima fase: *o analyse*. Além dos dados de suporte à análise, o processo de montagem de bombas será mapeado e avaliado quanto ao sistema de medição para garantir a fidedignidade dos dados coletados e dos dados após a implementação de melhorias.

O acompanhamento do indicador base do projeto teve início em junho de 2004, quando do início do projeto. Com isto, pode-se determinar quais são os modelos de bombas mais problemáticos quanto a estas falhas, e também monitorar a evolução de cada bomba ao longo e após o projeto. Para iniciar o projeto, convém “tirar uma foto” do atual índice de rejeições para cada bomba (Figura 3.2.1). Daí, a equipe do projeto estará habilitada a iniciar os estudos em cima das bombas mais críticas, além de conhecer os níveis de rejeição das mesmas e projetar os novos índices, ou *gap*, que a equipe deverá buscar atingir.

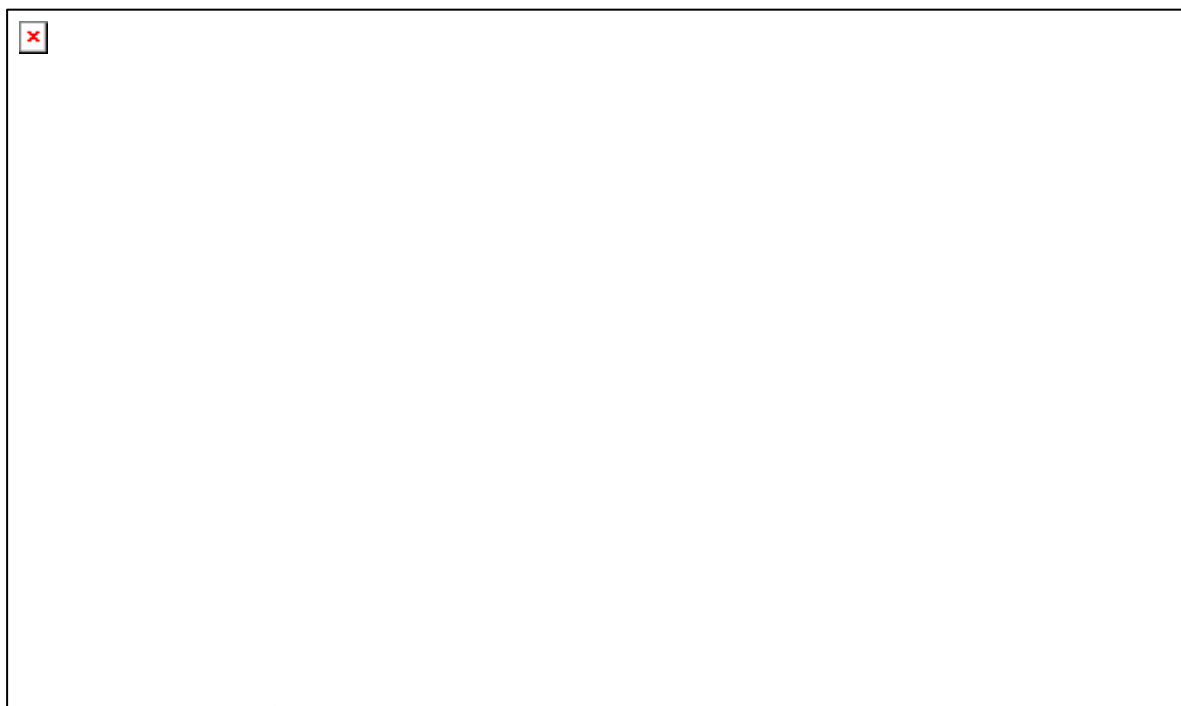


Figura 3.2.1: Índice de rejeições de bombas em junho de 2004. Fonte: elaborado pelo autor

Em função das grandes diferenças entre muitos modelos de bombas, este gráfico será utilizado mais tarde para seleção das bombas a serem priorizadas quanto à investigação das causas raízes. Dado que praticamente todos os modelos são produzidos mensalmente, o período de um mês pode ser considerado suficiente para análise destes dados.

Para priorizar as bombas que resultarão em maior ganho quando tiverem seus índices reduzidos, também é importante considerar o volume de produção de cada modelo. O gráfico abaixo mostra a quantidade produzida acumulada em 12 meses.

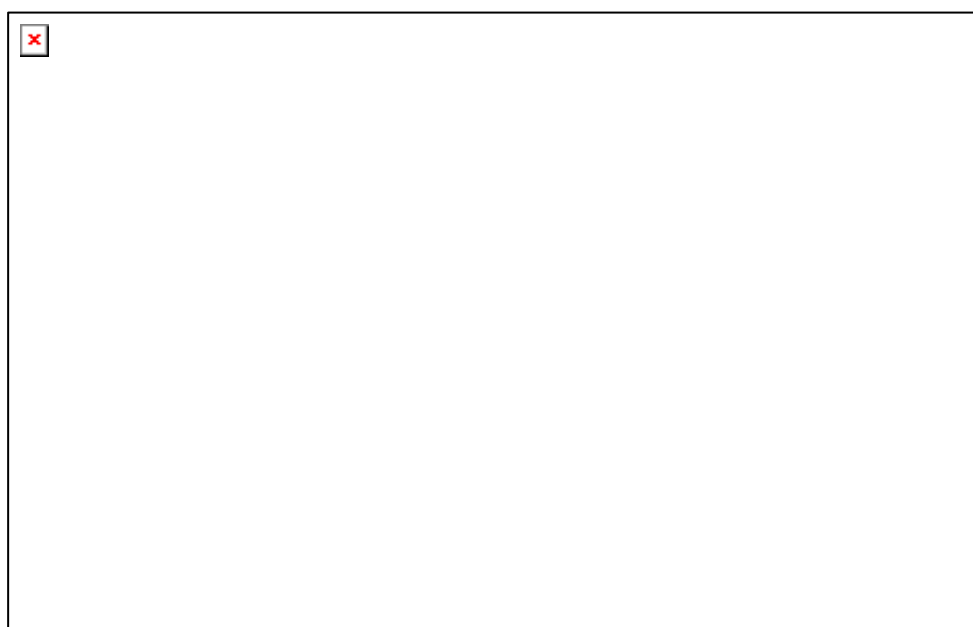


Figura 3.2.2: Volume de produção de bombas. Fonte: dados internos

A partir dos paretos acima, as bombas com os maiores índices de rejeição foram selecionadas para estudo e comparação com bombas semelhantes (mesma família), porém com baixos índices de rejeição. Este estudo será abordado na próxima seção (fase *analyze*).

3.2.1 Mapeamento do Processo de Montagem

Em função do grande número de componentes e processos deste produto, decidiu-se iniciar a investigação das causas do problema no final do processo produtivo, onde os requisitos

dos componentes e processos anteriores são mais facilmente identificáveis. Entretanto, o escopo do projeto abrange fornecedores e clientes internos desde a fabricação de componentes até a montagem e teste final de bombas, isto é, o mapa SIPOC (suppliers, inputs, process, outputs, customers) está contido num Core Process, como mostra a figura 1.5.1, na apresentação do processo da empresa.

Como todas as bombas injetoras são testadas antes de serem enviadas aos clientes, os defeitos apresentados pelas bombas (inclusive o “NDAR”) são sempre detectados no teste de bombas, que é a última etapa do processo. Dado que o processo imediatamente anterior ao teste de bombas (montagem da bomba) também pode apresentar fonte de variação e não-conformidades, decidiu-se mapear o processo de montagem. Com isto, espera-se que sejam detectadas falhas nos métodos de montagem e inspeção e nos critérios de aprovação dos componentes antes montá-los.

Compreendido o processo de montagem, o foco do projeto será direcionado para os processos dos componentes mais críticos detectados nesta última etapa do processo de fabricação das bombas.

O mapeamento da montagem e teste de bombas (figura 3.2.1.1) permite que sejam claramente identificados os requisitos de cada etapa da montagem e quais deles podem ocasionar o defeito em questão. Para tanto, cada item do mapa de processo foi classificado segundo os seguintes critérios Controlável (C), Ruído (R), Padrão (P). Após isto, cada item é avaliado quanto à sua criticidade (!).

A avaliação dos elementos de entrada, ou requisitos, do teste de bombas é importante para que a equipe do projeto possa avaliar a adequação do procedimento de teste e critérios de aprovação das bombas. Desta forma, procura-se reduzir quaisquer interferências aleatórias, ou causas especiais, nos resultados dos testes e nos dados de rejeição coletados. A seguir, foram listados todos os *inputs* e *outputs* necessários para a montagem e teste de uma bomba.

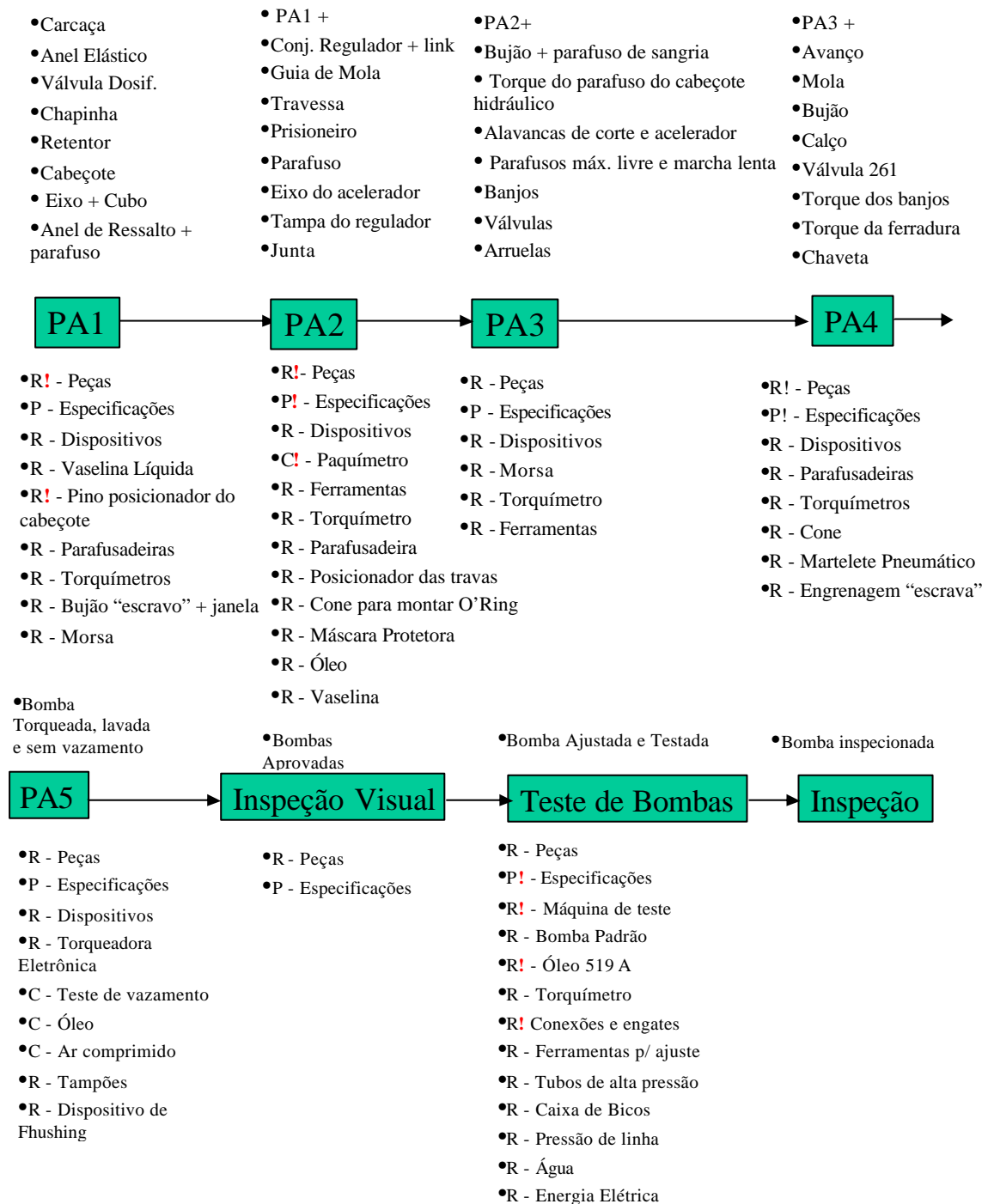


Figura 3.2.1.1: Mapa do Processo de montagem de bombas, onde as entradas são listadas abaixo e as saídas listadas acima dos postos de trabalho correspondentes. Fonte: elaborado pela equipe do projeto

Com este mapa, é possível ter uma visão ampla de quais variáveis podem estar afetando o problema em questão (NDAR). Isto é, deve-se estar atento a todos dispositivos, peças e materiais necessários às diversas etapas, principalmente aos itens considerados críticos e/ou ruídos.

Os postos de trabalho mostrados acima foram minuciosamente avaliadas por toda a equipe do projeto, porém não apresentaram não-conformidades, com exceção de um instrumento de medição, a ser abordado no próximo item.

3.2.2 Análise do Sistema de Medição

Durante o mapeamento, a equipe observou a inadequação de um sistema de medição contido no posto PA2, pois notava-se que o método de ajuste do link com paquímetro parecia desajeitado e impreciso. A utilização do paquímetro para medir torna difícil o posicionamento correto do mesmo durante a leitura da medição.

Conforme se observa na Figura 3.2.2.1 abaixo, as duas extremidades de apoio do paquímetro (braço do regulador e válvula dosificadora) são regiões pequenas e de difícil acesso, dificultando ainda mais o posicionamento paralelo do paquímetro ao link.

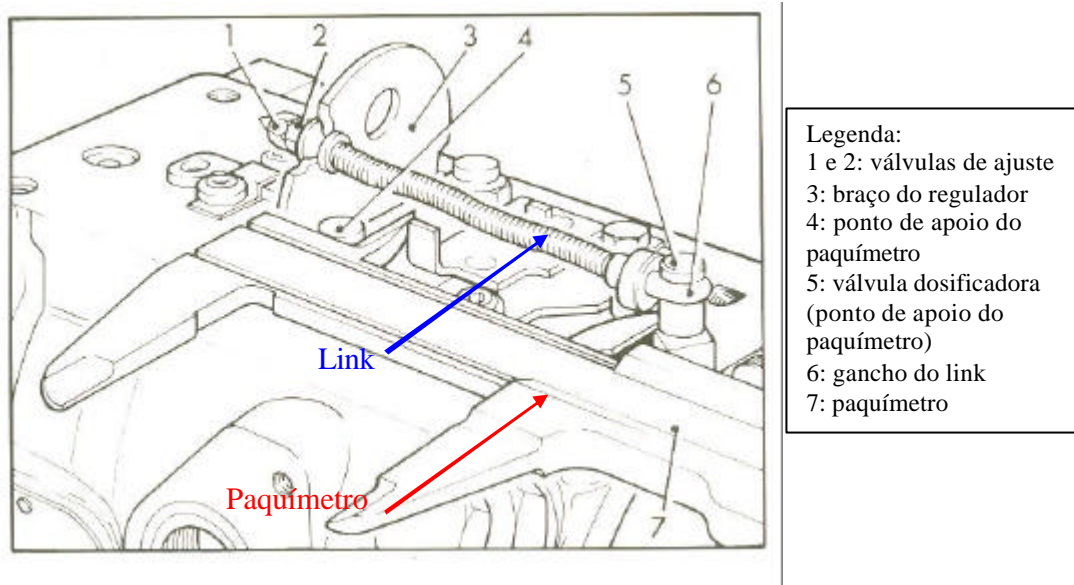


Figura 3.2.2.1: Medição do comprimento do link com o conjunto regulador em destaque. Fonte: Delphi

Conforme visto anteriormente, o comprimento do link é uma dimensão que influencia diretamente a vazão de óleo na bomba e, portanto, pode estar relacionada ao problema.

Para confirmar tal suspeita de inadequação do sistema, foi realizado um estudo de MSA (Measure System Analysis) neste sistema. Neste estudo, é calculada toda a variação proveniente tanto do operador (método) como do instrumento (paquímetro). Dois operadores (Thiago e Maria) medem 10 peças alternadamente 3 vezes cada um. Com base nestas 30 medidas, conclui-se o seguinte estudo:

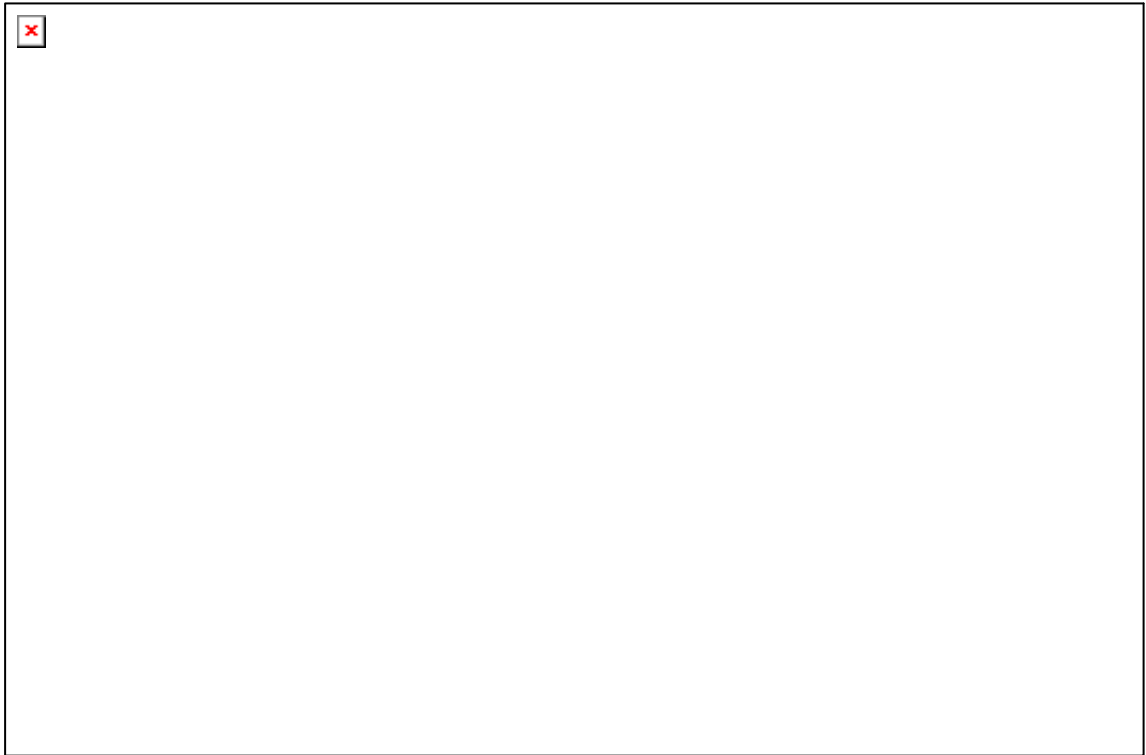


Figura 3.2.2.2: Estudo do Sistema de Medição para medida do comprimento do link da bomba.

Fonte: equipe do projeto

Conforme mostra o estudo, o sistema de medição apresenta problemas de repetitividade e reprodutividade. No gráfico de amplitudes R, nota-se que o sistema não é instável (um ponto fora dos limites de controle), com grandes diferenças de amplitude e médias entre os operadores, caracterizando o problema de reprodutividade. No diagramas por peça, nota-se a clara deficiência de repetitividade do equipamento, visto que um mesmo operador não é capaz de reproduzir uma mesma medida para a mesma peça.

Neste caso, estudos de tendência (bias) e variação de tendência (linearidade) não são necessários, uma vez que o sistema já estaria reprovado pelos critérios de repetitividade e reprodutividade. A inadequação do sistema pode ser comprovada pelos números abaixo:

REPETITIVIDADE (Variação do Equipamento)	VE=	0,582
REPRODUTIVIDADE (Variação do Avaliador)	VA=	0,570
REPETITIVIDADE & REPRODUTIVIDADE	R & R=	0,815
VARIAÇÃO PEÇA A PEÇA	VP=	0,308
VARIAÇÃO TOTAL	VT=	0,871

Tabela 3.2.2.1: Resultados do Estudo de MSA baseado nas medições do link de 10 bombas.

Fonte: elaborado pela equipe do projeto com auxílio do software Minitab (método ANOVA)

Daí, temos o seguinte resultado conclusivo:

% VE=	66,86	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO	
% VA=	65,44	% R & R < 10 % → SIST. ADEQUADO	
% VP=	35,33	10 % < % R & R < 30 % → SIST. ACEITÁVEL	
% R & R=	93,55	% R & R > 30 % → SIST. INADEQUADO	

Estes resultados indicam que 93,55% da variação total do sistema deve-se às variações provenientes do equipamento e do operador (método). Portanto, observa-se que o sistema é completamente inadequado para realização desta medida de comprimento do link.

É importante lembrar, mais uma vez, que o comprimento do link é uma medida que está diretamente relacionada à vazão de óleo da bomba, podendo ser uma das causas raiz do alto índice dos defeitos de regulador estudados.

3.3 ANALISANDO AS POSSÍVEIS CAUSAS DO PROBLEMA (ANALYZE)

Nesta fase do DMAIC, o estudo será direcionado para a investigação das causas raízes do problema através de comparação de componentes, testes experimentais, verificação de especificações de engenharia e planos de manufatura, análise de dispositivos de máquinas, capacidade de processos, etc.

Para iniciar a investigação sobre as possíveis causas dos defeitos de regulador na bomba, um diagrama de Ishikawa foi elaborado com a ajuda de engenheiros e técnicos dos processos de fabricação da bomba.

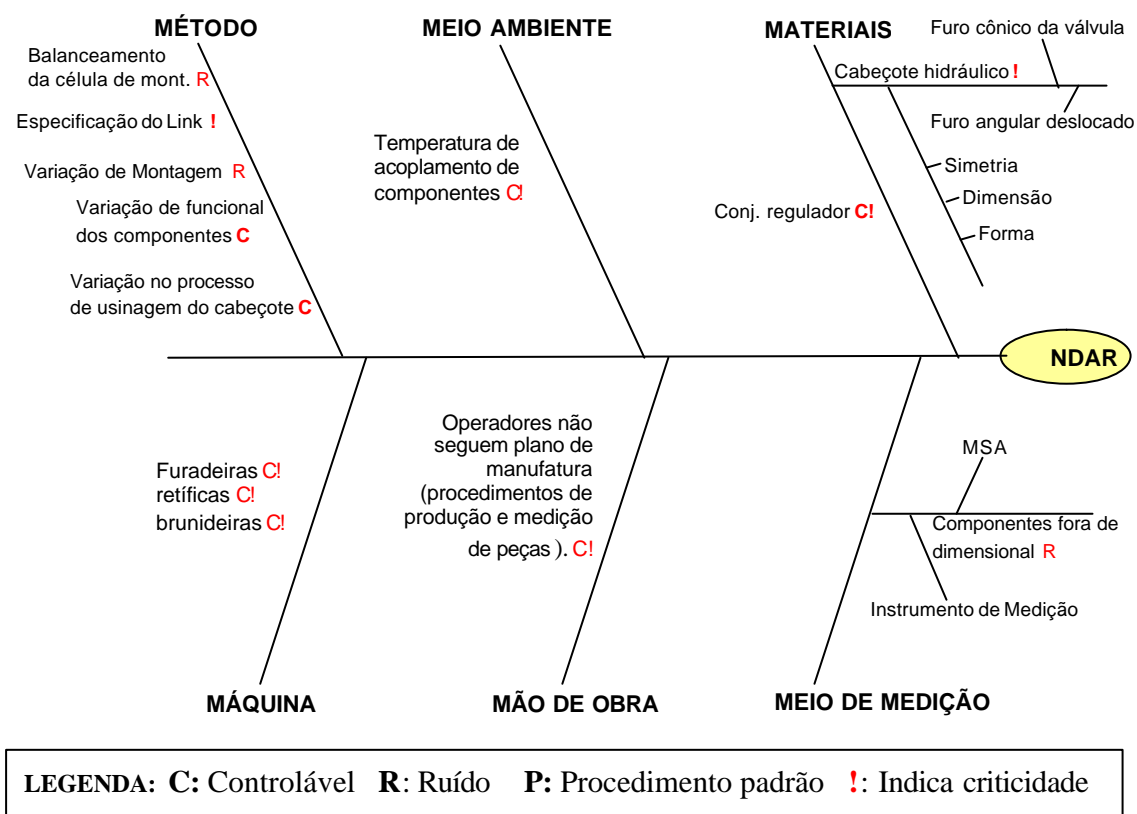


Figura 3.3.1: Diagrama de Ishikawa para o problema “não dá dosagem após regulador”, ou NDAR. Fonte: elaborado pela equipe do projeto

A partir de inúmeras reuniões para elaboração do diagrama de causa e efeito, os engenheiros de produto e desenvolvimento apontaram as especificações dimensionais dos componentes como fator mais provável, ou de maior influência sobre os defeitos de regulador, em comparação às outras causas potenciais levantadas no diagrama.

3.3.1 Analisando os componentes

Como a dimensão dos componentes foi apontada como principal fator potencial de causa dos problemas de fluxo de óleo na bomba, partiu-se para análise dos componentes da bomba.

A partir do levantamento de dados do índice de rejeição dos diversos modelos de bomba, observa-se que existem muitas bombas apresentam baixos índices de rejeição, o que sugere que as diferenças de componentes entre tais bombas sejam comparadas.

E para verificar se as principais diferenças e semelhanças de componentes que há entre bombas que rejeitam muito ou que rejeitam pouco, uma tabela de componentes foi montada (Figura. 3.3.1.1), com algumas bombas explodidas em seus componentes. Os componentes ou características listadas foram selecionados de acordo com o critério de influência no defeito NDAR. Isto é, características que, certamente, não afetam o problema NDAR não foram relevadas.

Entretanto, alguns modelos de bombas ficaram de fora do estudo (a 3642F840T, por exemplo) por apresentarem peculiaridades funcionais e de componentes. E para atingir a meta de 50% de redução no índice de rejeição sem atuar em todos os modelos de bombas, serão escolhidas para estudo grupo de bombas semelhantes e que apresentam elevados índices de rejeição. Desta forma, garante-se que a melhoria de um destes modelos terá grande impacto no índice geral de rejeição.

Bomba	V8860A221W	V8861A200W	V8860A121W	V8860A280W	V8861A170W	V8860A300W	V8861A140W
Cliente	Valtra	J. Deere	Valtra	MWM	J. Deere	J. Deere	Valtra
PPM	263.000	283.000	174.000	448.000	31.000	33.000	22.000
cabeçote hidráulico	9050-300L	9050-222L	9050-300L	9050-228L	9050-222L	7185-127U	9050-222L
válvula dosificadora	7180-321A	7180-321A	7180-321A	7182-621E	7180-321A	7180-321A	7180-321A
eixo	7180-173D	9050-383B	7180-173D	7180-173D	9050-383B	9050-383B	7180-173B
braço do regulador	7180-345	7180-345B	7180-345	7180-345	7180-345B	7180-345B	7180-345
suporte do regulador	7123-100F	7123-100F	7123-100F	7123-100F	7180-876A	7180-876A	7123-100F
carcaça	9050-266A	7180-374	9050-266A	9050-217A	7180-374	7180-374	9050-266D
contra pesos	7123-914G	7123-914G	7123-914G	7123-914G	7123-914G	7123-914G	7123-914G
luva corrediça	7167-089A	7167-089A	7167-089A	7167-089A	7167-089A	7167-089A	9050-015A
mola do regulador	7123-898Y	7123-898G	7123-898Y	7123-898Z	7123-898G	7123-898W	7123-898X
eixo acelerador	7123-770A	7123-770P	7123-770A	7123-770P	7123-770P	7123-770P	7123-770A
anel de ressaltos	7139-844E	7123-309C	7123-949E	7139-844E	7139-687P	7180-199A	7139-940E
tampa do regulador	9050-385A	9050-385J	9050-385A	9050-213D	9050-385J	9050-385J	9050-385A
parafuso de torque	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM
fluxo de ajuste / rpm	94,8/700 e 89,4/1150	87,1/700 e 89,2/1050	73,4/750 e 69,6/1150	96,2/700	65,1/750 e 58,7/1150	59,3/750 e 57,3/1200	90,3/900 e 84/1150

Tabela 3.3.1.1: Principais bombas explodidas em seus principais componentes (julho/2004).

Fonte: elaborado pela equipe do projeto

A partir da análise minuciosa desta tabela, muitas semelhanças entre as bombas V8860A221W e V8860A140W foram notadas. Como a primeira apresenta alto índice de rejeição (263.000 PPM) em relação à segunda (22.000 PPM), decidiu-se fazer alguns estudos entre estas bombas na tentativa de determinar uma ou mais causas do defeito NDAR num dos componentes listados.

Neste momento, é apropriado elaborar uma Matriz É/Não É para as bombas mencionadas acima (Tabela 3.3.1.2), como forma elucidar melhor as diferenças e os pontos a serem melhor estudados.

		É	NÃO É	DIFERENÇAS
Qual?	Qual objeto?	V8860A221W	V8861A140W	Cabeçote, Mola Reg., luva corrediça
	Qual defeito?	Ajuste no Regulador	Não Ajusta Óleo (NAO)	
Onde?	Onde geograficamente?	Teste de bombas	Montagem	
	Onde, no objeto?	Conjunto Regulador	Outros	
Quando?	Quando, em horas ou dias?	NA	NA	
	Quando, dentro do processo?	Durante o teste	Após o teste	
Quanto?	Quantos objetos	Alguns	todos	
	Quantos defeitos por objeto?	Até 3 (NDAR, EDAR, NAR)	>3	
Como?	Algum padrão?	NA	NA	
	Qual o tamanho do defeito?	NA	NA	

Tabela 3.3.1.2: Matriz É/NÃO É aplicada aos problemas relacionados ao ajuste do parafuso regulador. Fonte: elaborada pelo autor

O componente “luva corrediça” foi apontado pelos especialistas como a principal diferença entre as bombas, pois a luva 7167-089 da bomba V8860A221W é feita de nylon, enquanto que a luva 9050-015 da bomba V8860A140W é de aço.

Para verificar a influencia deste componente do efeito NDAR, foi realizado um teste prático de desempenho, no qual a bomba V8860A221W utiliza a luva de aço 9050-015, componente da bomba V8860A140W. O teste prático (Figuras. 3.3.1.1 e 3.3.1.2) consiste em obter valores do fluxo de óleo (ou dosagem) próximos aos valores da bomba padrão (dentro da faixa de tolerância) para os diversos valores de rotação da bomba. Durante o teste, a bomba é acelerada (curva de ida) de 10 em 10 RPM's e depois desacelerada novamente, enquanto são registrados os valores de dosagem de óleo para cada rotação.

Portanto, uma bomba é avaliada pelos valores absolutos de dosagem obtidos, bem como pela relação entre as curvas de ida e volta, as quais devem ser as mais próximas possíveis.



Figura 3.3.1.1: Curva de desempenho da bomba V8860A221W conforme especificação com cliente.

Fonte: dados internos

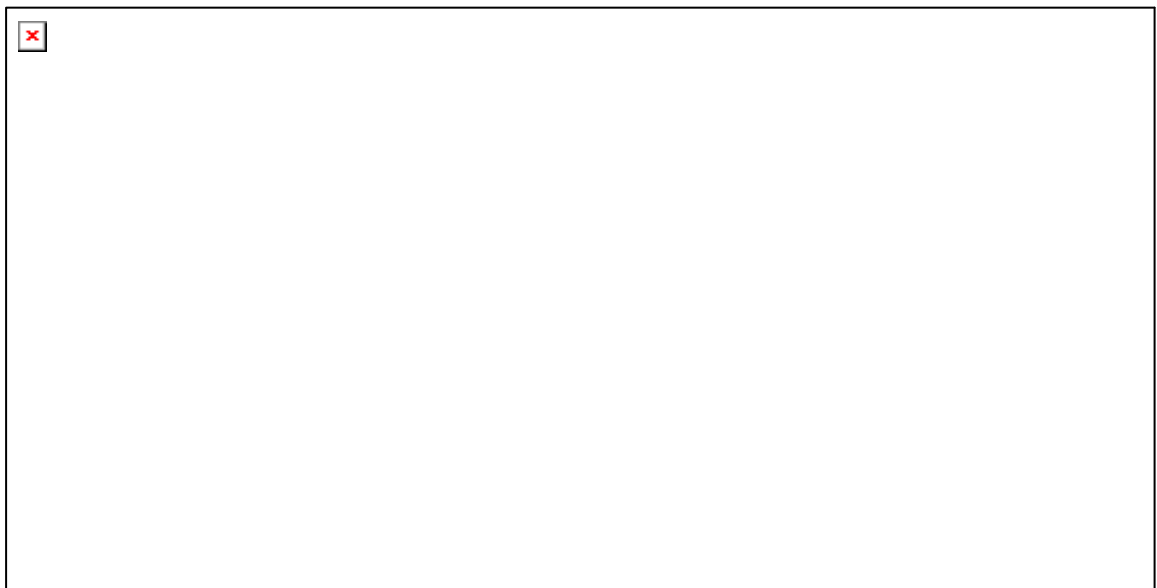


Figura 3.3.1.2: Curva de desempenho da bomba V8860A221W com componente de um outro modelo de bomba. Fonte: elaborada pela equipe do projeto

Analisando as duas curvas acima, nota-se que o desempenho da bomba V8860A221W com a luva corrediça da bomba V8861A140W é praticamente o mesmo. Ou seja, a priori, não

haveria nenhum problema em se alterar a especificação deste componente, já que a troca de componentes não afetou o desempenho especificado e a bomba 221W não apresentou os defeitos de regulador.

Com ampliação este teste para uma amostra de 10 bombas, foi possível obter praticamente os mesmos resultados de desempenho. Isto significa que, apesar da utilização de uma luva corrediça com características bastante diferentes na bomba V8860A221W, a mesma apresentou o desempenho praticamente idêntico à bomba padrão (com todos os componentes originais).

Observa-se nos gráficos que tanto a curva de ida como a curva de volta (aumentando e diminuindo a rotação da bomba) do teste prático estão bastante parecidas de gráfico para gráfico. Como as diferenças de dosagem (ou fluxo de óleo) permitida entre as curvas de ida e volta (tolerância) são de até 5mm³ de óleo, conclui-se que a bomba testada atende às especificações de desempenho do cliente mesmo com um outro componente.

Portanto, a solução imediata para reduzir o índice de rejeição da bomba V8860A221W é substituir sua luva corrediça (7167-089A) pela luva corrediça atualmente utilizada na bomba V8861A140W (9050-015A). Com esta modificação na especificação deste componente, espera-se que a bomba V8860A221W atinja um índice de rejeição semelhante ao índice da bomba V8861A140W, que é muito mais baixo (ver Tabela 3.3.1.1).

3.3.2 Análise de Processos e Dispositivos Relativos aos Componentes

Os componentes listados na tabela 3.3.1.1 foram identificados como sendo os principais componentes associados ao efeito NDAR da bomba. São eles: cabeçote hidráulico, válvula dosificadora, eixo, braço do regulador, carcaça, contrapesos, luva corrediça, mola do regulador, eixo acelerador, anel de ressaltos e tampa do regulador. Como cada um destes componentes deste possui uma ou mais características consideradas críticas no que se refere a problemas de regulador, tem-se um número muito grande de características associadas ao controle da vazão de óleo que sai da bomba.

Dado que a causa raiz do problema pode estar em qualquer um destes componentes, ou até mesmo nas interações causadas por alguns deles, decidiu-se aprofundar o estudo de tais peças para identificar possíveis causas do problema.

Durante a realização de reuniões do time do projeto com engenheiros, decidiu-se listar as características mais importantes (que interferem no ajuste de óleo da bomba) de cada componente para, então, analisar os processos correspondentes às mesmas.

O estudo das características importantes foi realizado através da análise de capacidade dos processos. Desta forma, todas as características críticas, ou que possam apresentar alguma influência nos defeitos de regulador, foram avaliadas com relação às suas especificações.

A medição das amostras de tais componentes resultou em muitas distribuições deslocadas em relação à média e/ou em grande variabilidade dimensional. Assim, todos os processos não conformes foram centralizados em relação ao seu valor nominal especificado, e tiveram suas variâncias reduzidas.

Com isso, espera-se que a causa raiz do problema seja encontrada com mais facilidade e clareza. O resultado mais otimista é que apenas a correção destes processos seja capaz de reduzir o índice de defeitos do regulador, no caso dos mesmos estarem sendo causados pela interação de componentes não-conformes. É possível que a não-conformidade dos componentes críticos esteja afetando o ajuste correto do link, dado que muitas bombas rejeitadas no teste são aprovadas após reajuste do comprimento do link (que passa a apresentar um valor diferente do ajuste especificado).

Continuando com a análise das diferenças e semelhanças entre as bombas listadas na tabela 3.3.1.1, nota-se que bombas com alto índice de rejeição apresentam um componente em comum: o cabeçote 9050-300L. Tal observação sugere que alguma(s) característica(s) do cabeçote esteja(m) fora de especificação.

A medição das características mais importantes (que estão relacionadas ao controle de vazão de óleo pelo cabeçote) de um cabeçote retirado de uma bomba rejeitada comprovou tal hipótese ao detectar que uma delas estava não-conforme (Tabela 3.3.2.1).

Característica Especificada	Valor encontrado
Furo Angular – 24,36 a 24,46°	24,10°
Ângulo – 30 a 32°	31°
Simetria – 0,2 mm (máx)	0,15 mm

Tabela 3.3.2.1: Resultado dimensional de um cabeçote de bomba rejeitada. Fonte: elaborado pelo autor

Para ratificar a hipótese levantada, outros 10 cabeçotes provenientes de bombas reprovadas foram checados e também apresentaram o furo angular com inclinação menor que 24,26°. Ou seja, todos eles apresentaram a mesma característica fora de especificação. Daí, conclui-se que o furo angular (Figura 3.3.2.1) pode ser uma das causas raiz para o problema em questão.

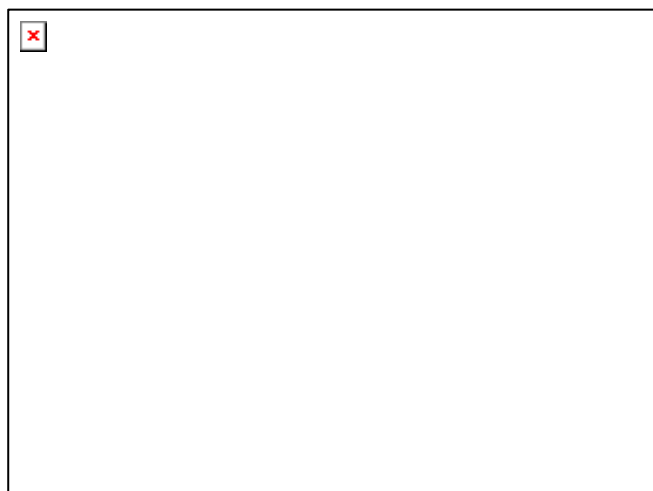


Figura 3.3.2.1: Furo angular do cabeçote hidráulico. Fonte: dados internos

Aprofundando a investigação da causa raiz do problema, a equipe detectou uma falha no dispositivo de furação do cabeçote e no processo de inspeção das peças, as quais não estavam sendo checadas com o calibrador do tipo “passa/ não passa”.

3.3.3 Testes Experimentais (Shainin)

Após a detecção da não conformidade do Furo Angular do Cabeçote, a investigação do projeto foi direcionada para este componente: o Cabeçote Hidráulico.

Para garantir que nenhum outro componente estivesse relacionado aos problemas de regulador, decidiu-se utilizar um teste prático com a bomba V8860A221W, baseado nas técnicas de Shainin (BHOTE, 1991).

O delineamento de experimentos tipo Shainin é uma técnica avançada na investigação de causas raízes. No caso do projeto, a técnica específica a ser utilizada será o *Components Search*. Esta técnica é muito útil em casos em que há muitos componentes potenciais de um determinado efeito, como neste caso. Com este tipo de experimento, é possível eliminar uma série de hipóteses a respeito da influência de componentes (ou interação de componentes) no resultado.

Para evidenciar qual(quais) componente(s) que são capazes de influenciar no resultado final (variável de saída) de um teste, é preciso dispor de um par de produtos que apresentem resultados bastante opostos, isto é, utiliza-se um produto cujo resultado seja bastante favorável (melhor caso) e outro cujo resultado seja bastante desfavorável (pior caso). Os produtos nestas condições são comumente apelidados de BOB (*best of best*) e WOW (*worst of worst*).

O *Components Search* consiste, basicamente, na troca de um ou mais componentes por vez entre um produto originalmente BOB e um produto originalmente WOW. Daí, os produtos BOB e WOW são retestados para que se possa verificar se houve significativa alteração no resultado do teste de cada produto.. A influência do componente trocado só é comprovada se os desempenhos do par de produtos forem invertidos, ou seja, se o produto “BOB” virar “WOW” e vice-versa. Por exemplo, trocando-se as válvulas dosificadoras entre um par de bombas BOB/WOW, cujas especificações de dosagem é de 50 mm³, uma bomba que

injetava 50 mm³ de óleo a 100 RPM (BOB) pode passar a injetar apenas 5 mm³, enquanto que uma bomba que injetava 8 mm³ pode passa a injetar 51 mm³. Se isto ocorrer, estará provada a influencia da válvula dosificadora na dosagem de óleo da bomba.

Deste modo, diversos componentes podem ser avaliados quanto à sua influencia na variável de saída, reduzindo bastante o universo inicial de possibilidades de causas potenciais. Normalmente, são utilizados no mínimo 5 pares de bombas BOB/WOW para a confirmação da influencia de um fator de estudo qualquer.

Para realização do estudo, as seguintes variáveis foram estabelecidas para serem verificadas (Figura 3.3.3.1):

- Montagem/Desmontagem da bomba
- Cabeçote
- Conjunto regulador
- Pistão
- Anel de ressalto /placas de ajuste

Para investigar quais destes fatores acima são capazes de alterar o desempenho da bomba (reduzir ou intensificar os defeitos de regulador), os mesmos foram testados individualmente. O primeiro fator a ser testado é o efeito da desmontagem e remontagem da bomba, pois pode ser que o método de montagem possa interferir no desempenho da bomba.

A seguir, os componentes listados acima serão invertidos entre cada par de bomba para que a influencia de cada fator possa ser verificada. No último do shainin, será avaliada a influencia conjunta, ou interação, do anel de ressalto com as placas de ajuste. Serão testados 5 pares de bombas BOB/WOW.

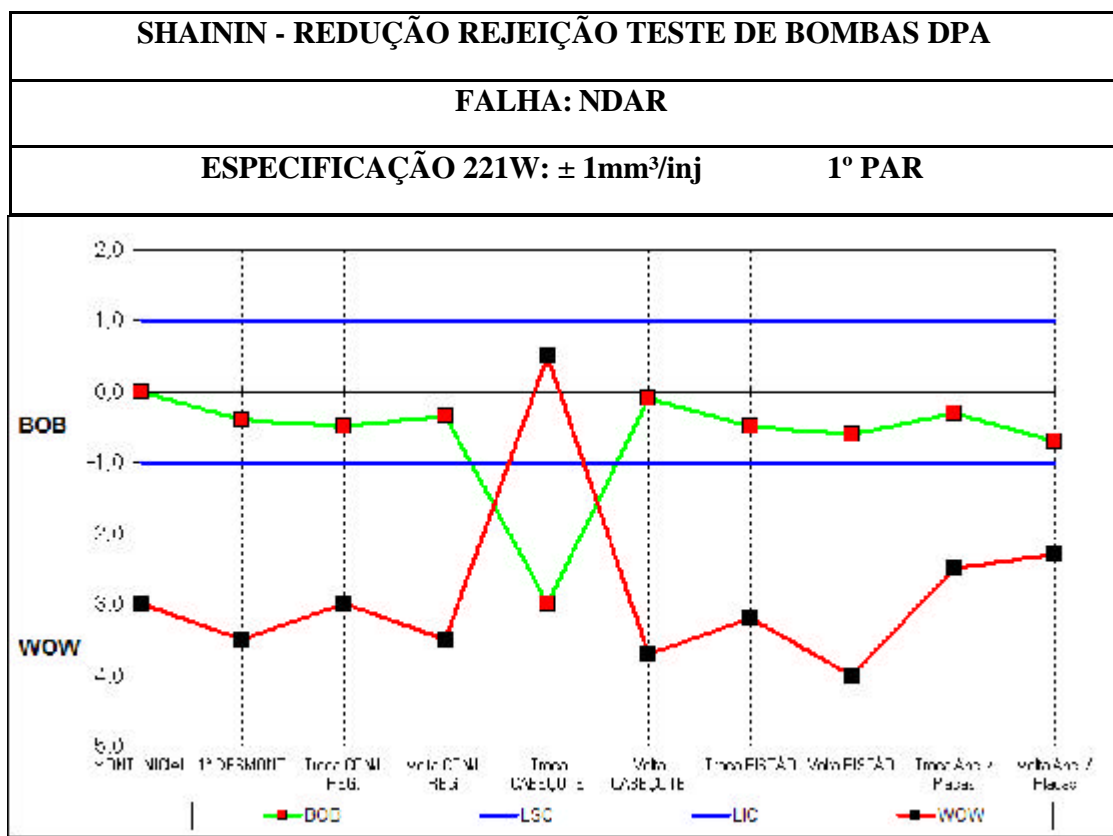


Figura 3.3.3.1: Components Search com a bomba V8860A221W.

Fonte: elaborada pela equipe do projeto.

O gráfico acima evidencia que a troca de cabeçotes entre duas bombas diferentes (uma ruim e outra boa), foi a única variação capaz de “desligar” e “ligar” o problema. Conforme recomendado, o teste foi repetido para mais 5 pares de bombas e o resultado obtido foi muito semelhante à configuração acima.

Todos os cabeçotes utilizados no estudo de Shainin tiveram suas principais características dimensionadas. A medição e comparação dos cabeçotes “bob” e “wow” mostraram que o furo angular dos cabeçotes “wow” estavam deslocados, assim como comprovado anteriormente (Tabela 3.3.2.1).

Portanto, pode-se concluir que o cabeçote hidráulico da bomba é o único responsável pelos defeitos de regulador ocorrentes.

Desta forma, a investigação será direcionada para a fabricação deste componente. Procedendo assim, espera-se encontrar a verdadeira causa-raiz do problema em nível máximo de detalhe. Ou seja, deve-se conhecer todas as etapas de fabricação do cabeçote, todas as suas características e, sobretudo, as características que estão relacionadas com o problema.

3.3.4 O Cabeçote Hidráulico

Uma vez que os testes experimentais eliminaram a possibilidade de influencia de todos os outros fatores que não o cabeçote, partiu-se para o estudo mais aprofundado do processo de fabricação do cabeçote hidráulico.

O cabeçote é constituído basicamente por dois componentes principais: a luva e o barril. A luva e o barril são peças cilíndricas e devem ser concêntricas e perfeitamente circulares, pois através de um encaixe forçado à aproximadamente 400° C, a luva é unida ao barril para formar o Subconjunto do cabeçote. Nesta união, o diâmetro externo da luva deve ficar em contato com o diâmetro interno do barril ao longo de todo o comprimento do cilindro.

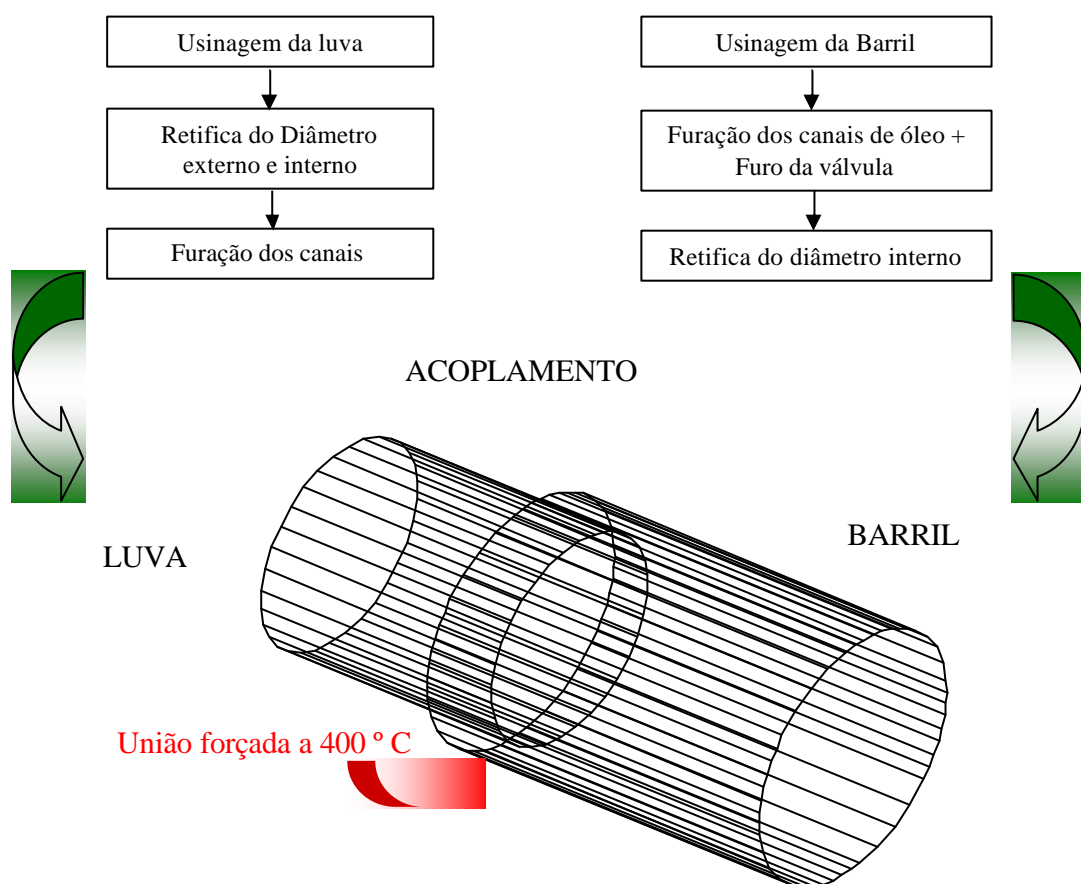


Figura 3.3.4.1: Fabricação do cabeçote Hidráulico. Fonte: elaborado pelo autor

Daí a importância do controle da circularidade destas peças. Se as peças não estiverem com a mesma forma, pode ocorrer uma fuga de óleo durante a rotação do eixo da bomba, o que pode comprometer o desempenho da bomba, inclusive nos defeitos de débito de dosagem durante a desaceleração do motor. Na figura abaixo, está detalhado o processo de fabricação da luva e do barril.

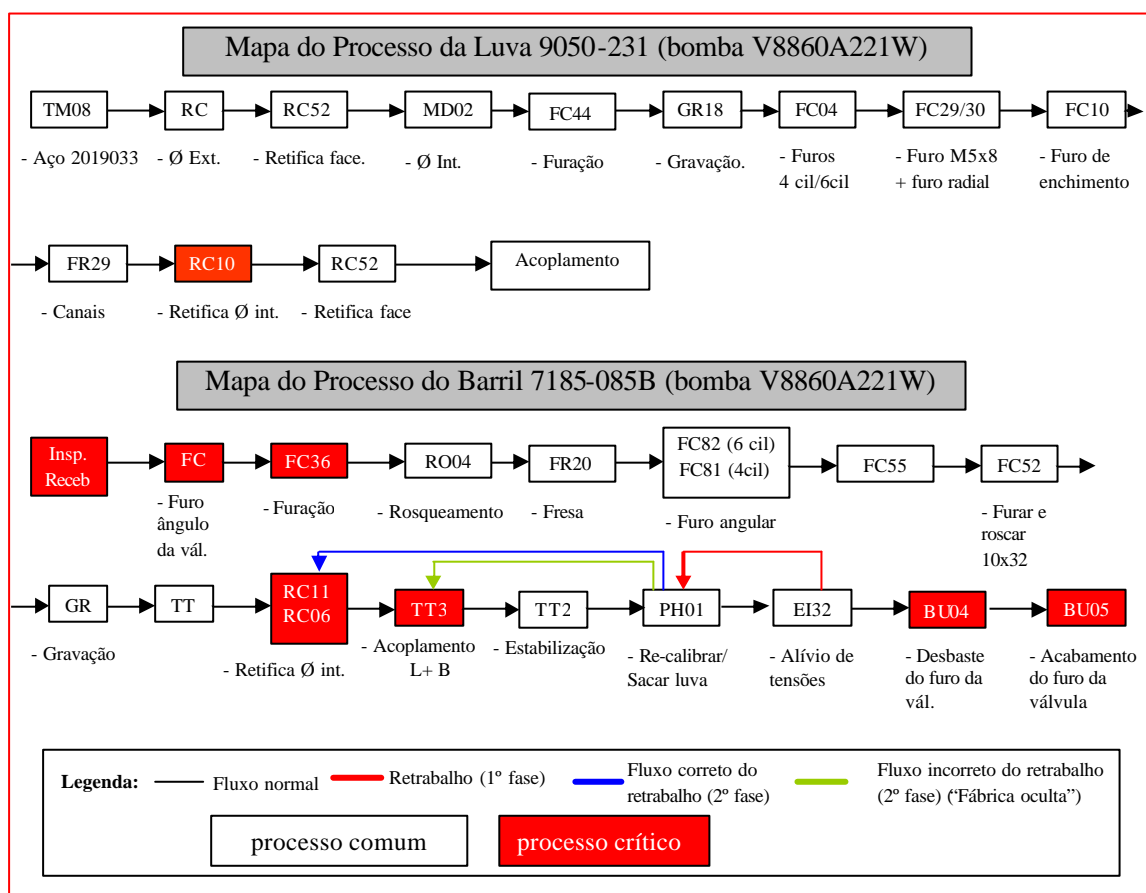


Figura 3.3.4.2: Mapa do processo de fabricação da luva e o do barril.

Fonte: elaborado pelo autor

Durante o mapeamento do processo de fabricação do barril, foi detectada uma falha no processo de retrabalho após o acoplamento com a luva. No posto PH01, a luva é sacada quando o acoplamento entre luva e barril, realizado no posto TT3, é imperfeito. Nesta

situação, o correto seria enviar o subconjunto luva + barril até o posto RC11/RC06 para retificação do diâmetro interno do barril.

Entretanto, o fluxo praticado pelos operadores é o fluxo marcado em verde no fluxograma acima (Figura 3.2.4.2.1). Quando o acoplamento entre luva e barril (união forçada a quente) não é bem sucedido, o subconjunto vem sendo diretamente reacoplado no posto TT3 sem que haja qualquer retrabalho no diâmetro interno do barril (a área de contato com a luva). Com isso, há grandes chances do novo acoplamento apresentar alguma falha, tal como uma folga localizada entre os componentes e um conseqüente vazamento de óleo nesta área.

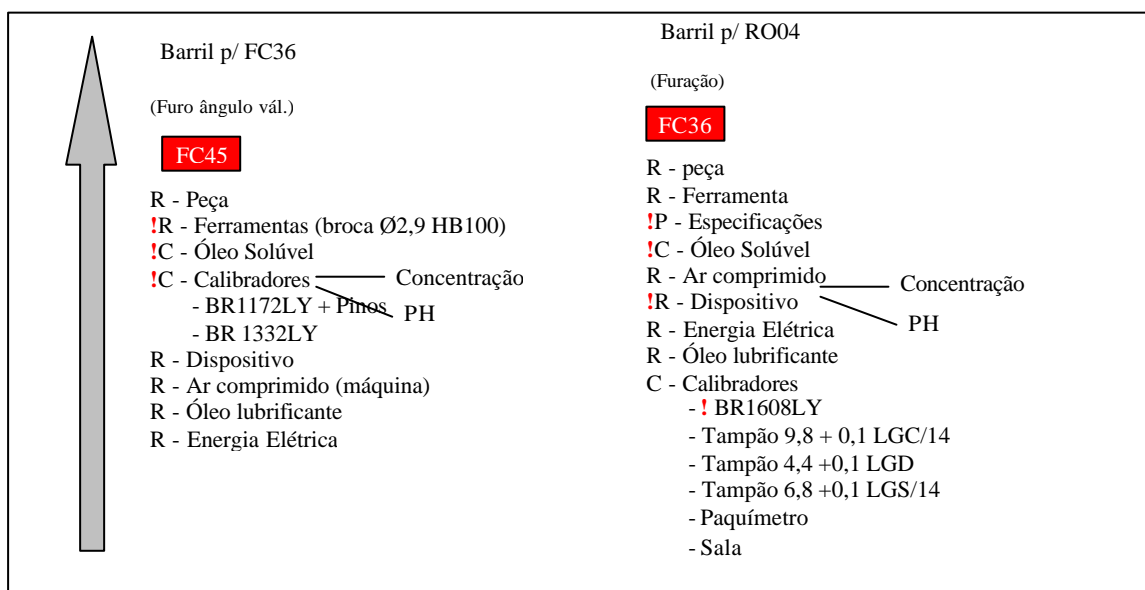
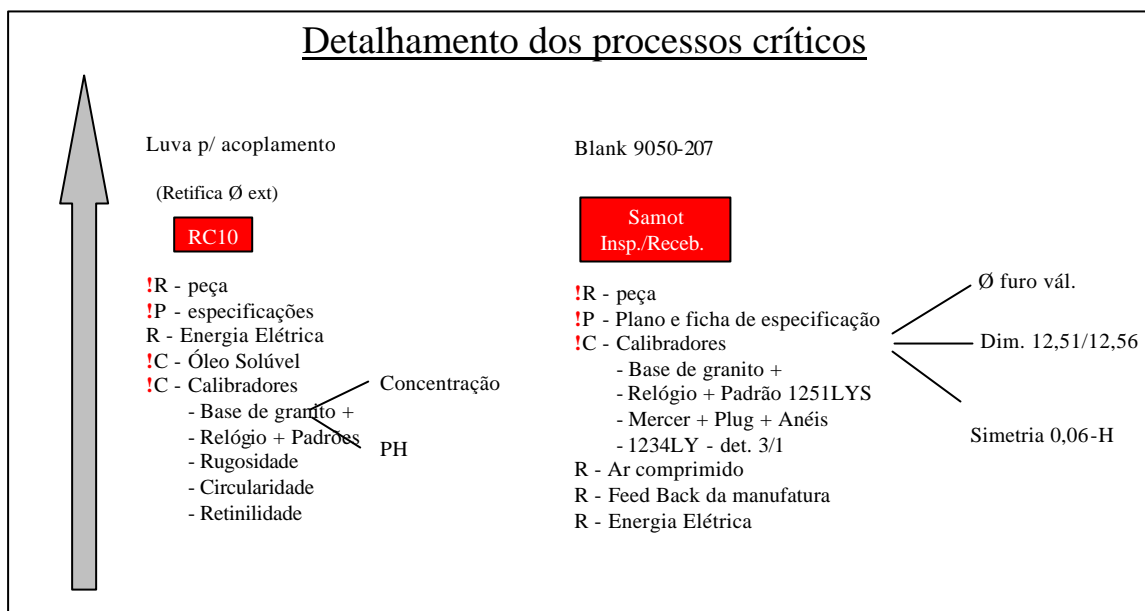
Ou seja, este fluxo incorreto no processo de fabricação do cabeçote (também conhecido como “Fábrica Oculta”), pode ser uma das causas dos defeitos de regulador apresentado nas bombas.

Se o sistema de detecção deste tipo de falha fosse eficaz, os cabeçotes defeituosos não seriam montados na bomba. Desta forma, fica evidente a necessidade de verificação funcional deste componente após o acoplamento da luva com o barril, bem como a correção do fluxo do processo praticado.

Assim como mostrado no mapa de processo acima, os postos de trabalho pintados em vermelho indicam que o respectivo processo é crítico para o problema estudado. Ou seja, as características adicionadas às peças nestas etapas estão diretamente relacionadas ao problema do regulador.

Por isso, cada um destes postos foi detalhado para possibilitar que possíveis causas do problema possam ser detectadas (Fig. 3.3.4.3). O detalhamento consiste em listar todos os requisitos de entradas e de saída de cada posto crítico de trabalho, ou etapa do processo. Assim, os processos e os meios de medição destes postos são reavaliados quanto à sua capacidade.

Detalhamento dos processos críticos



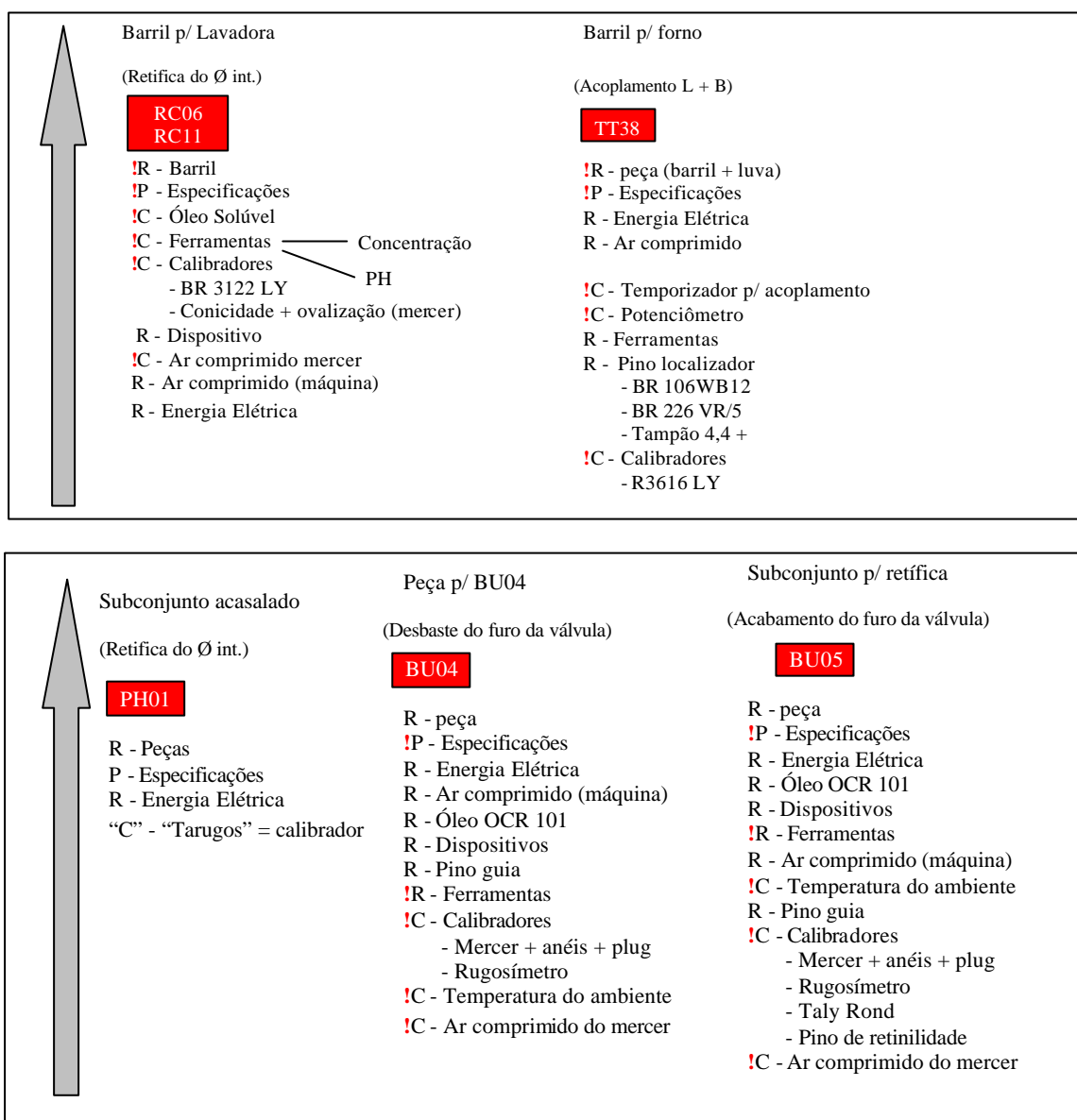


Figura 3.3.4.3: Processos críticos de fabricação do cabeçote. Fonte: elaborado pelo autor

Durante o detalhamento destes requisitos, foi detectada a necessidade avaliação de diversos instrumentos de medição e dispositivos de processo, a serem vistos a seguir.

3.3.5 Análise do Sistema de Medição

A partir da elaboração do mapa de processo detalhado, a equipe do projeto procurou analisar todos os postos de trabalho sob os diversos aspectos: aferição e capacidade dos instrumentos de medição, adequação dos dispositivos de furação, etc..

A análise dos principais instrumentos de medição (MSA) destes postos de trabalho mostrou que muitos instrumentos são incapazes (Tabela 3.3.5.1).

Produto	Característica	Posto	EIME	R&R	Observações
Luva	Perpendicularidade	RC52	BR127LY	65,9%	Reprovado --> Requer análise da metrologia
Subconjunto	Altura da luva	BT147	BZ1663LY/A	2,4%	Aprovado
Luva	Ø externo	RC10	Base 68 + Rel 221	20,5%	Aceitável
Barril	Concentricidade	RC06/RC11	BR3122LY	41,2%	Reprovado --> Requer análise da metrologia
Barril	Perpendicularidade	RC06/RC11	BR3122LY	65,9%	Reprovado --> Requer análise da metrologia
Barril	Circularidade	RC06/RC11	COP040 + Plug 37,85 PN	56,7%	Reprovado --> Requer análise da metrologia
Barril	Ø interno	RC06/RC11	COP040 + Plug 37,85 PN	30,1%	Reprovado --> Requer análise da metrologia
Barril	Conicidade	RC06/RC11	COP040 + Plug 37,85 PN	50,2%	Reprovado --> Requer análise da metrologia

Tabela 3.3.5.1: Estudo de MSA dos processos críticos do cabeçote. Fonte: elaborado pelo autor

O estudo dos sistemas de medição das características acima foi realizado com auxílio do software Minitab, cujos relatórios gerados encontram-se no anexo II.

O critério de aceitação utilizado pela empresa é o seguinte:

Valor de R&R	0 – 10 %	20 – 30 %	Acima de 30%
Conclusão	Bom	Aceitável	Inaceitável

Tabela 3.3.5.2: Critério de aceitação do sistema de medição. Fonte: dados internos

O valor de R&R é obtido através da medição de 10 peças por dois operadores. Cada operador realiza 3 ciclos de medidas das 10 peças. A partir dos resultados, o software calcula todas as variações do sistema de medição: reprodutividade das medidas pelos operadores, repetitividade do instrumento, variação das peças e interações entre operador, peças e instrumento.

Desta forma, o valor total de R&R representa a fração da variação total atribuída ao método e ao instrumento de medição. Ou seja, o restante da variação é devido à variação dimensional das peças. Por isso, a equipe atentou-se para evitar que as dimensões das peças estivessem bem distribuídas ao longo da faixa de tolerância da característica. Com isso, evita-se uma super-estimação do R&R, pois se as peças variarem pouco, o valor de R&R (relativo à toda variação do sistema) seria muito alto. Além disso, com peças bastante diversificadas, consegue uma discriminação maior para análise (categorias de dados).

3.3.6 Análise de Dispositivos

Durante a análise dos instrumentos de medição do posto RC 81/82 (onde é feito o furo angular e do avanço), foi detectada uma não-conformidade. O calibrador de inspeção dos mesmos não estava sendo usado pelos operadores, o que permitia que muitos cabeçotes com furo fora de especificação fossem passados para a montagem.

O furo mencionado acima, ou furo angular do avanço, é uma característica peculiar presente em apenas um conjunto de bombas. A figura 3.3.6.1 contém um desenho de

engenharia desta característica do cabeçote, que na verdade é um canal pelo qual o óleo diesel percorre ao entrar na bomba.

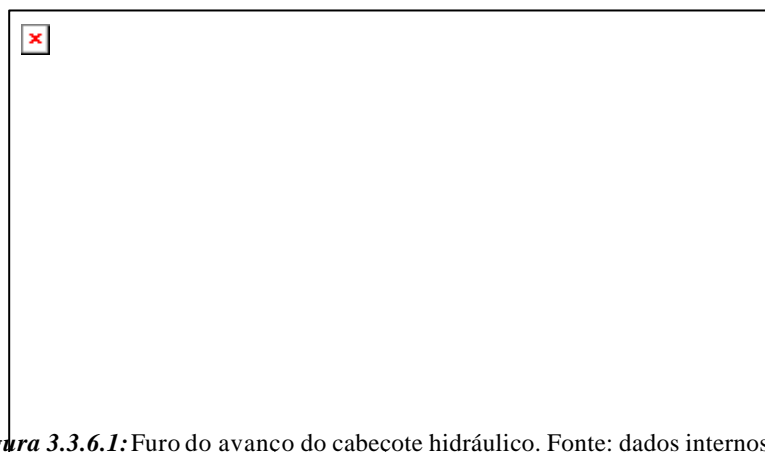


Figura 3.3.6.1: Furo do avanço do cabeçote hidráulico. Fonte: dados internos

A causa dos furos deslocados estava no dispositivo de furação do cabeçote, cujo dispositivo de fixação da peça estava solto, desviando o curso da broca a cada furação. Como o dispositivo era utilizado para furação de apenas alguns modelos de bombas, este defeito no dispositivo foi classificado como uma causa especial do processo de fabricação das bombas.

3.3.7 Confirmação da Influência do Cabeçote (Shainin)

Em função das diversas evidências de que o cabeçote é o maior responsável pelo problema NDAR até então, procurou-se estudar uma segunda bomba, porém de cabeçote diferente (ver Tabela 3.3.1.1).

A verificação de outro modelo de bomba com cabeçote diferente faz necessária pois os problemas de regulador são crônicos, isto é, muitos modelos de bombas têm um longo histórico de ocorrências de tais defeitos. Por isso, o objetivo é descobrir se o cabeçote é mesmo o responsável pelos problemas de regulador (NDAR, EDAR e NAR), independentemente do modelo da bomba.

E de acordo com os volumes de produção e frequência absoluta de defeitos (Figuras 3.2.1 e 3.2. 2), a bomba V8861A200W foi escolhida para verificação da influência do cabeçote. A equipe decidiu realizar experimentos de *Components Search* para esta bomba específica, pelo fato da mesma apresentar uma ocorrência bastante elevada de defeitos e um alto volume de produção. Desta forma, a melhoria no índice de rejeição desta bomba produz um impacto maior no índice geral de rejeições.

A bomba V3642F840T não foi escolhida porque a mesma está em processo de substituição no cliente.

Os testes da bomba V8861A200W, com as mesmas variáveis de teste definidas no experimento anterior forneceram o seguinte resultado:

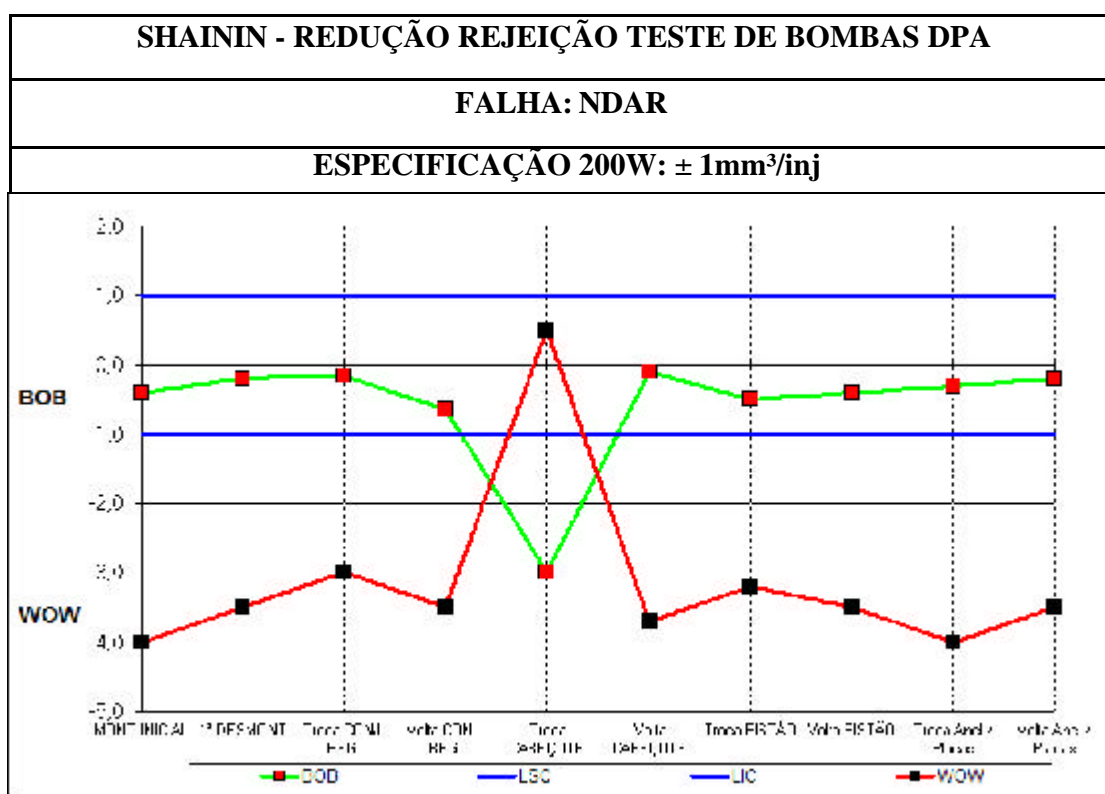


Figura 3. 3.7.1: Components Search com a bomba V8861A200W.

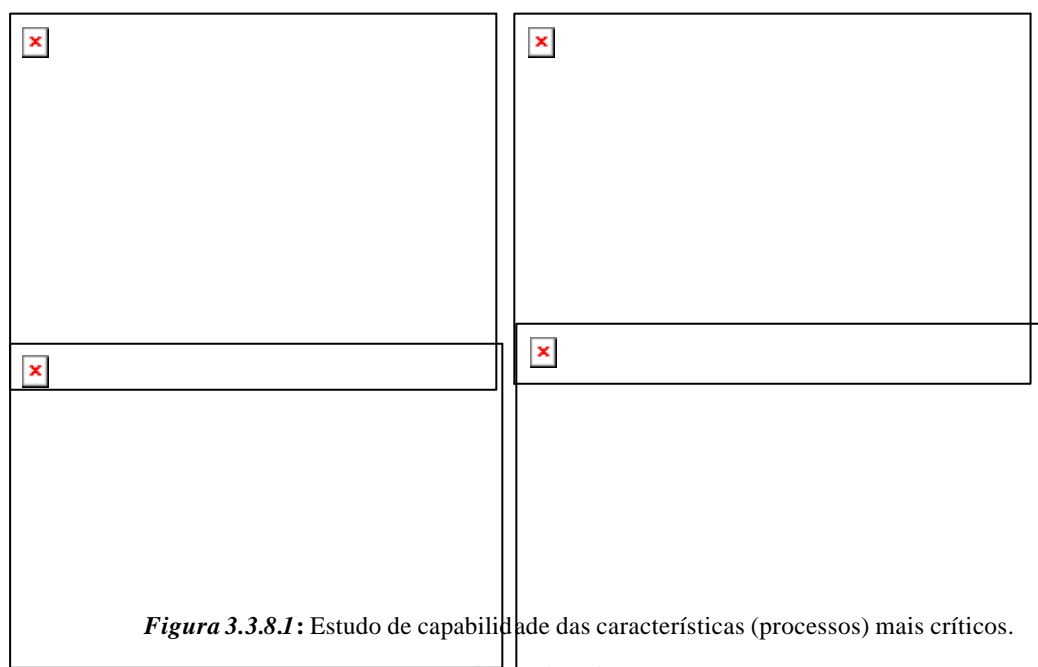
Fonte: elaborado pela equipe do projeto

Assim como para a bomba V88060A221W, o *Components Search* com a bomba V8861A200W foi realizado com mais 5 pares de bombas e, mais uma vez, o resultado obtido indicou que o cabeçote é o único elemento capaz de “desligar” e “ligar” o problema.

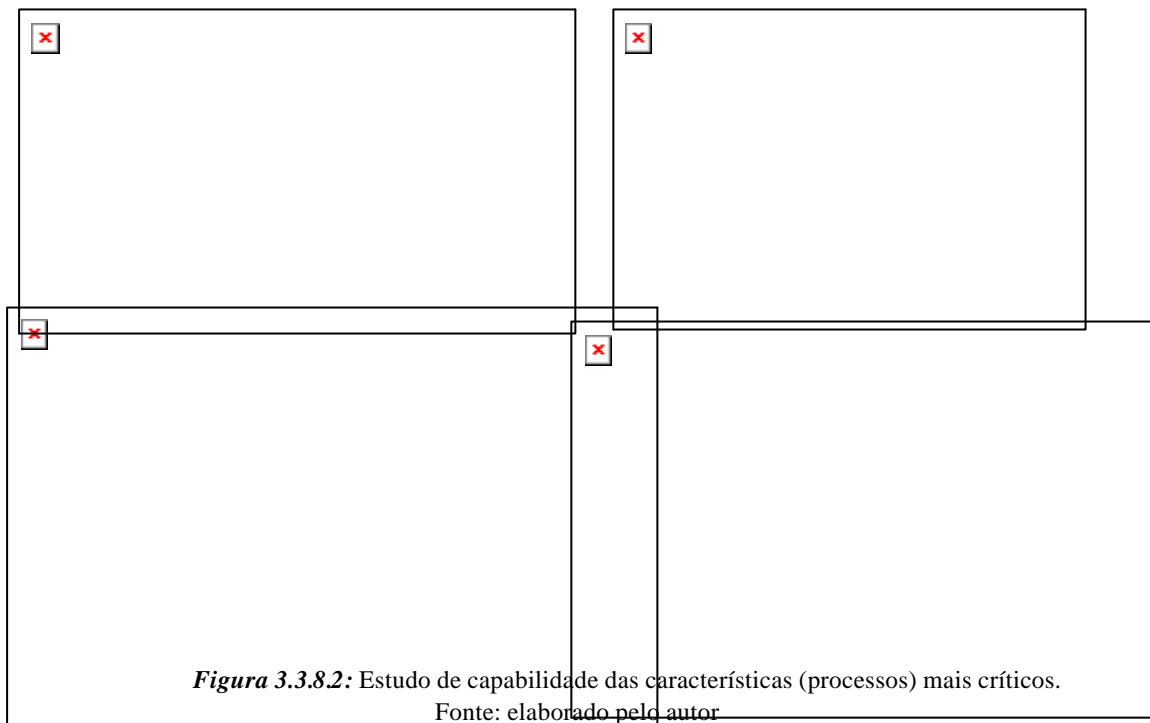
3.3.8 Capabilidade do Processo

Para compreender melhor o problema e detectar eventuais causas especiais no processo de fabricação do cabeçote, os processos mais críticos foram avaliados quanto à sua capacidade, isto é, foram analisados quanto à variação e quanto à centralização em relação a nominal (Figuras 3.3.8.1 e 3.3.8.2).

A seguir, temos um retrato da atual variação dos processos mais críticos do cabeçote.



A Figura 3.3.8.2 a seguir mostra a distribuição de outros processos relativos a características também consideradas críticas para o problema estudado.



Analisando os gráficos acima, conclui-se que, de modo geral, os processos possuem baixa capacidade, o que se deve também ao fato dos operadores, costumeiramente, alterarem os parâmetros da máquina a cada lote de peças. Esta prática foi detectada pela equipe do projeto durante o mapeamento da área do cabeçote. Alterando-se os parâmetros das máquinas em função das medidas que são obtidas a cada lote, a variabilidade do processo torna-se ainda maior do que se o processo se mantivesse inalterado ao longo de um período de tempo maior.

Para eliminar as causas especiais dos problemas de regulador é imprescindível que os processos sejam corrigidos ao máximo quanto à sua variabilidade e quanto à sua centralização, principalmente as características mais importantes para garantir o acoplamento da luva com o barril: o diâmetro interno do barril, o diâmetro externo da luva e as circularidades de ambos, as quais apresentaram grande variabilidade e descentralização em relação ao valor nominal.

Visto que estas distribuições sugerem problemas no acoplamento da luva com o barril, ficou evidente a necessidade de uma forma de avaliação mais precisa do resultado do acoplamento, o qual é verificado apenas pela diferença de nível entre a luva e o barril. Esta forma de verificação é deficiente, pois desconsidera completamente a região de contato entre os componentes, a qual deve ser perfeita para garantir a vedação e permitir a passagem de óleo apenas entre os canais de passagem (ver Figura 1.5.3).

3.3.9 Vazamento do Cabeçote

Em função da evidente necessidade de um teste prático de vazamento para verificar se o acoplamento entre luva e barril foi bem sucedido, um teste experimental para medir a fuga de óleo foi implementado rapidamente pelo departamento de Qualidade. Este teste foi também motivado pela observação de manchas de escorrimento de óleo entre a luva e o barril nos cabeçotes WOW's utilizados nos experimentos de *Componentes Search*.

O teste de vazamento consiste em fazer uma simulação do funcionamento do cabeçote (colocá-lo em rotação com o óleo passando pelos seus canais), para então medir o fluxo de óleo que ocorre entre a região de contato dos componentes mencionados.

Num experimento inicial, quatro cabeçotes (1,2,3,4) foram testados, sendo que os dois primeiros foram retirados de bombas que apresentaram defeito NDAR, enquanto que os cabeçotes 3 e 4 foram retirados de bombas que apresentaram bom desempenho.

O resultado do teste de vazamento (Tabela 3.3.9.1) mostra que o vazamento entre a luva e o barril está intimamente relacionado com o problema do débito de óleo, ou NDAR.

VAZÃO ENTRE LUVA E BARRIL				
Ensaio	Cabeçote 1	Cabeçote 2	Cabeçote 3	Cabeçote 4
1	4,0	2,5	1,5	1,1
2	3,7	2,8	0,4	1,3
3	3,4	1,5	0,6	0,5
4	2,9	2,4	0,3	0,2
5	2,3	1,8	0,1	0,1
Obs.1) Unidade de medição: Scc/m (Stand centímetro cúbico por minuto) 2) Independente da estratégia de ensaio adotada, os cabeçotes 1 e 2 apresentaram maior vazão entre as peças.				

Tabela 3.39.1: Teste de vazamento entre componentes acoplados. Fonte: elaborado pela equipe do projeto

Observando a tabela acima, confirma-se a hipótese de que a rejeição seja causada pelo vazamento de óleo entre a luva e o barril, componentes estes que são unidos para compor o cabeçote hidráulico.

Continuando pela busca da causa raiz do problema, os cabeçotes foram analisados e comparados. Ao verificar a forma dos barris, foi detectado que a circularidade dos barris rejeitados no teste de vazamento estava fora do especificado (Figura 3.3.9.1).

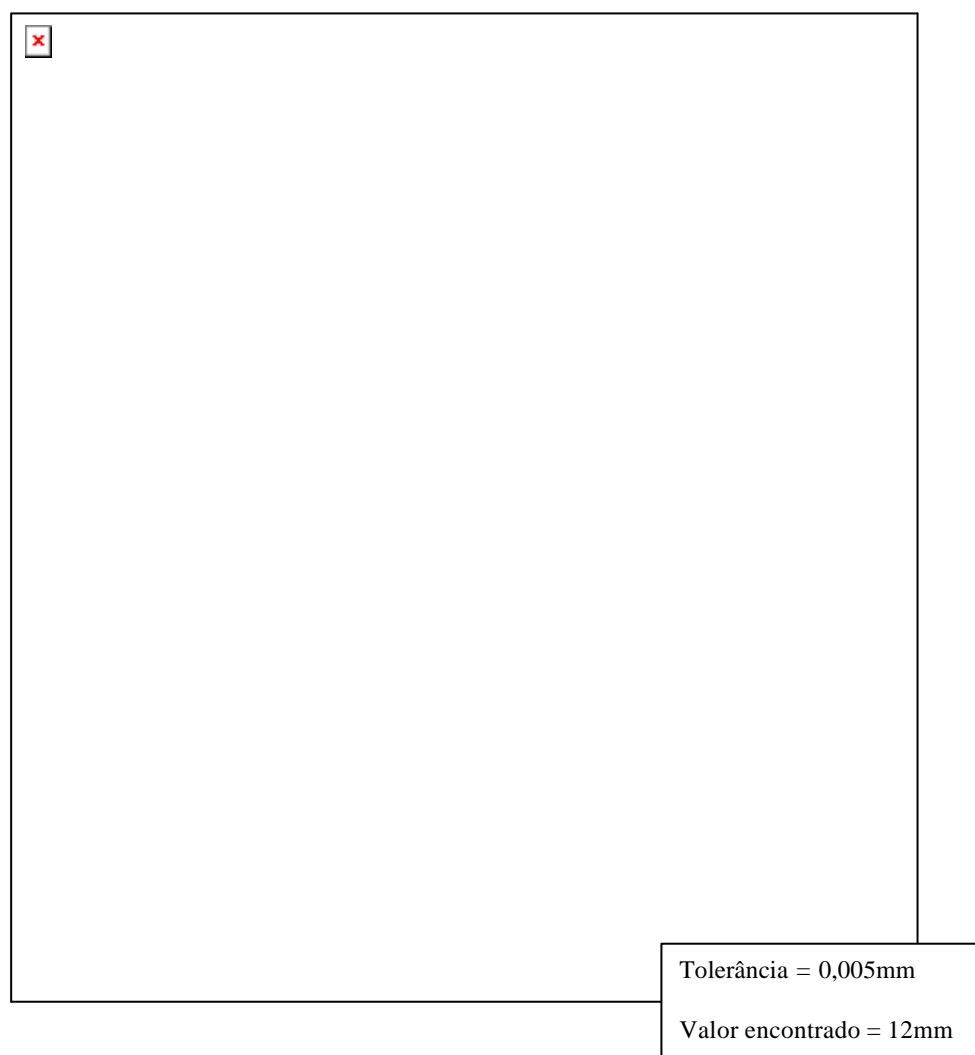


Figura 3.3.9.1: circularidade do barril nº1. Fonte: gerado pela metrologia (dado interno)

Ou seja, através da análise dimensional do barril e do teste de vazamento, foi possível identificar um importante causa potencial para os problemas de regulador: a irregularidade de forma do diâmetro interno do barril.

Ao estudar o processo de retífica do barril, uma série de não-conformidades foi identificada. O plano de manufatura não estava sendo seguido pelos operadores em diversos aspectos, tais como os parâmetros de avanço da ferramenta, frequência de dressagem do rebolo e o uso de calibradores de inspeção.

As principais consequências destas inconformidades são: a baixa frequência de dressagem do rebolo fazia com que o mesmo se deformasse rapidamente (ocasionando erros de forma na operação de retífica do diâmetro interno do barril), enquanto que a alta velocidade de desbaste (número de entradas e saídas da ferramenta por unidade de tempo) fazia com que as peças saíssem cônicas internamente.

E como agravante, os operadores não estavam utilizando os calibradores e instrumentos de acordo com frequência requerida no plano de manufatura e quando a inspeção era feita, era feita incorretamente, permitindo que peças não-conformes fossem passadas adiante.

3.3.10 Diagnóstico Geral do Problema

Durante o processo de análise do problema (iniciado no setor de montagem da bomba), o cabeçote foi claramente identificado como o componente responsável pelo efeito do problema estudado, que é um débito de dosagem de óleo após o ajuste de óleo do motor em aceleração, ou NDAR (“não dá dosagem após o regulador”)

É importante mencionar que uma bomba injetora possui aproximadamente 200 componentes e, portanto, identificar o cabeçote foi um grande avanço. Feito isto, o estudo do processo de fabricação do cabeçote hidráulico revelou uma série de causas potenciais do problema.

Desta forma, o diagnóstico do problema pode ser descrito por um conjunto de causas especiais. Estas causas, das mais diversas naturezas, foram identificadas e classificadas como causas potenciais do problema.

O conjunto destas causas pode ser resumido da seguinte maneira:

- Existência de fluxos “ocultos” de processo
- EIME’s (instrumentos de inspeção, medição e ensaio) inadequados e incapazes.
- Peças fora de especificação e com grande variação (larga distribuição)

- Inadequação do sistema de ajuste do link na montagem de bombas.
- Planos de Manufatura desatualizados/incompletos/errados.
- Dispositivo de furação do Furo do Avanço inadequado e instrumento de medição fora de uso.
- Furo da válvula do Cabeçote deslocado (inclinação menor).
- Necessidade de ensaio prático de vazamento do subconjunto após o acoplamento
- Erro de forma no diâmetro interno do barril
- Especificação inadequada da luva-corrediça da bomba

Observando a natureza destas causas, é possível notar que existe uma relação bastante direta entre elas. Por exemplo, o vazamento de óleo observado entre o barril e a luva do cabeçote é resultado de uma série de fatores: erros de forma e dimensionais do barril (diâmetro deslocado, circularidade e conicidade acima da especificação); falha nos planos de manufatura; e a inadequação dos instrumentos de medição. Todos estes fatores contribuem para um acoplamento imperfeito entre a luva e o barril. E como agravante, a detecção desta união entre componentes é bastante deficiente, pois a única verificação é feita pela medição da diferença de altura entre os componentes, os quais devem estar no mesmo nível depois de acoplados.

Um outro agravante neste sentido, é fluxo incorreto praticado quando da necessidade de reacoplamento. Ao invés de se retrabalhar o diâmetro interno do barril novamente, o barril é levado ao posto imediatamente anterior e reacoplado com a luva sem que haja nenhuma inspeção ou retrabalho no mesmo. Desta forma, nota-se que todos estes fatores atuam sinergicamente para elevar a ocorrência de cabeçotes não-conformes que chegam até o setor de montagem e teste de bombas. A determinação da causa raiz do problema pode ser melhor compreendida através de uma análise dos 5 Porquês, como mostra o diagrama abaixo:

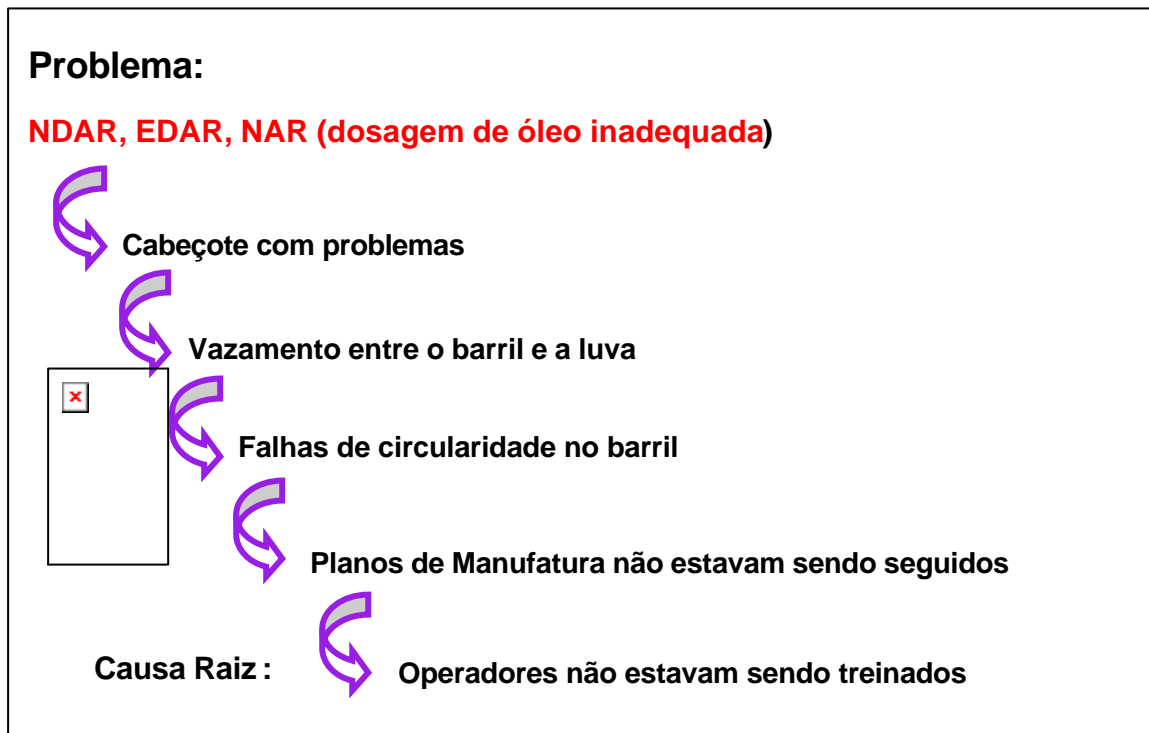


Figura 3.3.10.1: Análise de 5 Porquês. Fonte: elaborado pelo autor

Fazendo a análise dos 5 porquês, nota-se que apesar de diversos problemas técnicos, a origem de todos os efeitos indesejáveis de ajuste de óleo estava na falta de treinamento dos operadores das células de produção.

Sob o ponto de vista prático, a eliminação da causa raiz torna-se bastante simples, visto que a implementação de uma melhoria neste sentido seria treinar operadores, o que não requer altos investimentos. Por outro lado, se a causa raiz representasse problema realmente técnico, talvez a empresa tivesse que gastar milhares de reais em novas máquinas e equipamentos. Por outro lado, falhas tão fundamentais como estas indicam que a empresa não utiliza corretamente suas normas e procedimentos, o que é um ponto bastante negativo principalmente sob o ponto de vista dos clientes.

Embora o vazamento do cabeçote tenha sido apontado como o principal responsável pela rejeição das bombas no teste prático de bombas, outros fatores também contribuíram para a

as bombas chegassem apresentando não conformidades até o teste de bombas. Um exemplo é o sistema de medição do link, que causava um ajuste inadequado do comprimento do link, dada a incapacidade do método e do equipamento para a mensuração desta característica.

3.4 MELHORIAS (*IMPROVE*)

A partir das diversas falhas e problemas encontrados na etapa anterior do DMAIC, foram direcionadas as devidas ações corretivas e preventivas para cada não-conformidade e oportunidade de melhoria levantada. Nesta etapa, as ações de melhoria implementadas pela equipe do projeto serão relatadas.

Em função das causas do problema levantadas no item de análise, a equipe do projeto elaborou o seguinte plano de ação:

1. Mapeamento dos fluxos “fantasmas” e respectiva atualização do plano de manufatura.
2. Validação dos EIME’s (instrumentos de inspeção, medição e ensaios).
3. Correção dos processos deslocados em relação à nominal e redução da variabilidade dos mesmos. Quem: grupo técnico da área do cabeçote
4. Construção de um instrumento de medição do link mais adequado.
5. Revisão dos planos de manufatura.
6. Correção dos dispositivos de furação do Furo do Avanço e Furo Angular
7. Elaboração e implementação de ensaio prático de vazamento do subconjunto após o acoplamento.
8. Orientação geral para os operadores seguirem os planos de manufatura (seguir as frequências de inspeção, a correta utilização os instrumentos de medição, a correta frequência de dressagem do rebolo, etc..)
9. Alteração de especificação de engenharia, na qual o componente luva-corrediça da bomba V8860A221W passa a ser o mesmo da bomba V886A140W.

Dentre todas as melhorias implementadas, as mais importantes serão melhor detalhadas a seguir.

3.4.1 Validação dos EIME's

Os instrumentos de medição foram todos revisados, reajustados ou até mesmo trocados para que os MSA's (Measure System Analysis) de cada um deles fossem considerados aprovados.

A tabela abaixo contém as ações corretivas dos instrumentos de medição que haviam sido reprovados:

Produto	Característica	Correção
Luva	Perpendicularidade	O dispositivo de fixação da luva foi melhorado e o relógio comparador foi reajustado.
Subconjunto	Altura da luva	NA
Luva	Ø externo	NA
Barril	Concentricidade	O dispositivo pneumático (mercer) foi reajustado a partir do cilindro padrão e a discriminação do relógio foi reduzida
Barril	Perpendicularidade	A ponta do relógio apalpador foi trocada e o dispositivo de fixação da peças foi melhorado.
Barril	Circularidade	O dispositivo pneumático foi trocado
Barril	Ø int	O dispositivo pneumático foi trocado
Barril	Conicidade	O dispositivo pneumático foi trocado

Tabela 3.4.1.1: Correção dos EIME's da área do cabeçote. Fonte: elaborado pelo autor

Após a intervenção nos instrumentos inicialmente reprovados, novos estudos de R&R foram realizados para os sistemas de medição modificados. A tabela 3.4.1.2 mostra um resumo do que foi feito a respeito dos instrumentos considerados críticos.

Produto	Característica	Posto	R&R inicial	Observações	Após correção
Luva	Perpendicularidade	RC52	46,31%	Reprovado --> Requer análise da metrologia	27,27%
Subconjunto	Altura da luva	BT147	2,36%	Aprovado	2,36%
Luva	Ø externo	RC10	20,47%	Aceitável	20,47%
Barril	Concentricidade	RC06/RC11	61,41%	Reprovado --> Requer análise da metrologia	20,87%
Barril	Perpendicularidade	RC06/RC11	65,95%	Reprovado --> Requer análise da metrologia	19,52%
Barril	Circularidade	RC06/RC11	72,49%	Reprovado --> Requer análise da metrologia	13,65%
Barril	Ø int	RC06/RC11	30,12%	Reprovado --> Requer análise da metrologia	7,01%
Barril	Conicidade	RC06/RC11	51,08%	Reprovado --> Requer análise da metrologia	26,19%

Tabela 3.4.1.2: Validação dos sistemas de medição de medição. Fonte: elaborado pelo autor

Segue abaixo um exemplo de R&R feito após a correção dos sistemas inadequados.

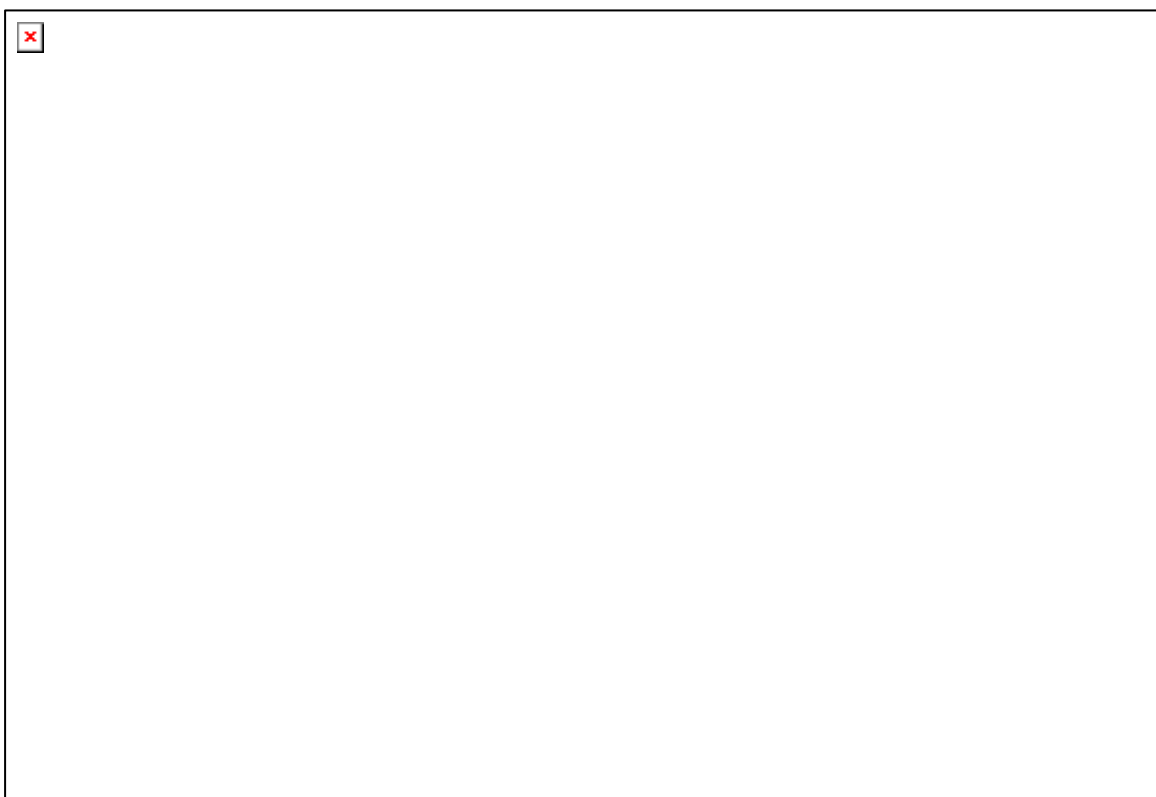


Figura 3.4.1.1: Novo estudo de R&R para o diâmetro interno do barril. Fonte: elaborado pelo autor

Os resultados do estudo foram gerados pelo Minitab (método ANOVA):

StdDev Source	Study (SD)	Var % (5,15*SD)	Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,52513	2,7044	7,01	27,04
Repeatability	0,45746	2,3559	6,11	23,56
Reproducibility	0,25787	1,3280	3,44	13,28
operador	0,25787	1,3280	3,44	13,28
Part-To-Part	7,47461	38,4943	99,75	384,94
Total Variation	7,49304	38,5891	100,00	385,89
Number of Distinct Categories = 20				

Tabela 3.4.1.3: Estudo de R&R para o sistema que mede o diâmetro interno do barril.

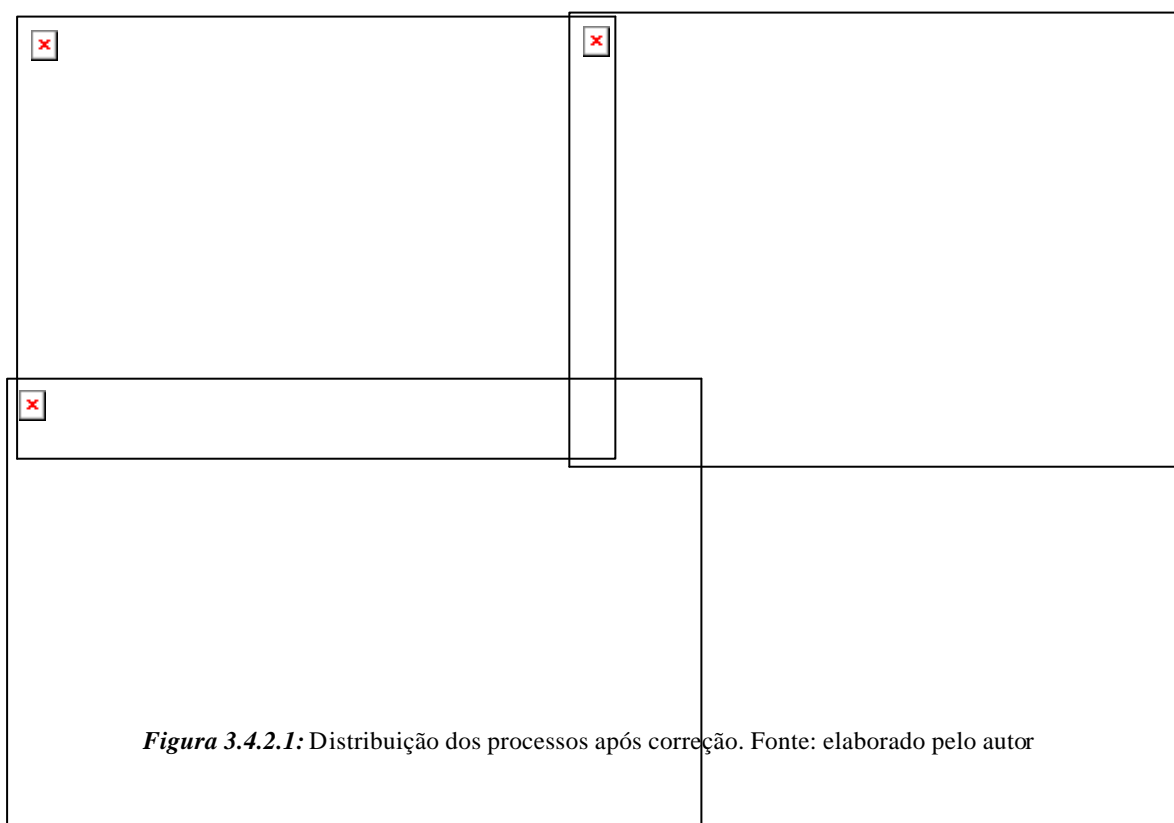
Fonte: elaborado pelo autor

Nos resultados acima, nota-se que toda a variação entre as diversas medidas obtidas para este sistema de medição, apenas 7,01% é referente à repetitividade e reprodutividade do sistema. Observando os gráfico da figura 3.4.1.1., nota-se que os dois operadores foram capazes de reproduzir as mesmas leituras do diâmetro do barril deles mesmos e também

entre eles. As linhas sobrepostas no gráfico de interação entre operador e peça indicam que agora o sistema está robusto, oferecendo maior precisão e confiança nas medições, independentemente do operador que as executa.

3.4.2 Correção dos processos (eliminação das causas especiais)

Os processos mais críticos do cabeçote, que eram relativos à retífica do diâmetro interno do barril (diâmetro, circularidade e conicidade) foram corrigidos (Figura 3.4.2.1). Para tanto, o grupo técnico da área teve de ajustar parâmetros de processo e trocar as ferramentas de desbaste, as quais estavam desgastadas e mal posicionadas.



Observando as distribuições acima, nota-se que houve uma significativa melhoria quanto à variabilidade e adequação às especificações destas características. No caso do problema estudado, a correção da circularidade do barril terá um grande impacto na redução dos defeitos de regulador, dado que foi detectado que o erro de forma estava causando vazamento entre a luva e o barril do cabeçote e, por conseguinte, causando defeitos do tipo

NDAR, EDAR e NAR. O diâmetro interno do barril e a conicidade máxima de 0,005 mm também serão muito importantes para garantir a vedação entre a luva e o barril.

3.4.3 Construção de um Novo Dispositivo de Medição do Link

Conforme mencionado, o link é uma medida muito importante da bomba pelo fato de estar relacionada com a dimensão de vários outros componentes e, através desta interação, regular a vazão de óleo através da bomba.

Por isso, foi proposto um novo dispositivo de medição do comprimento do link e, após sua aprovação pelo estudo de R&R (Figura 3.4.3.2), o novo dispositivo (Figura 3.4.3.1) foi rapidamente implementado.

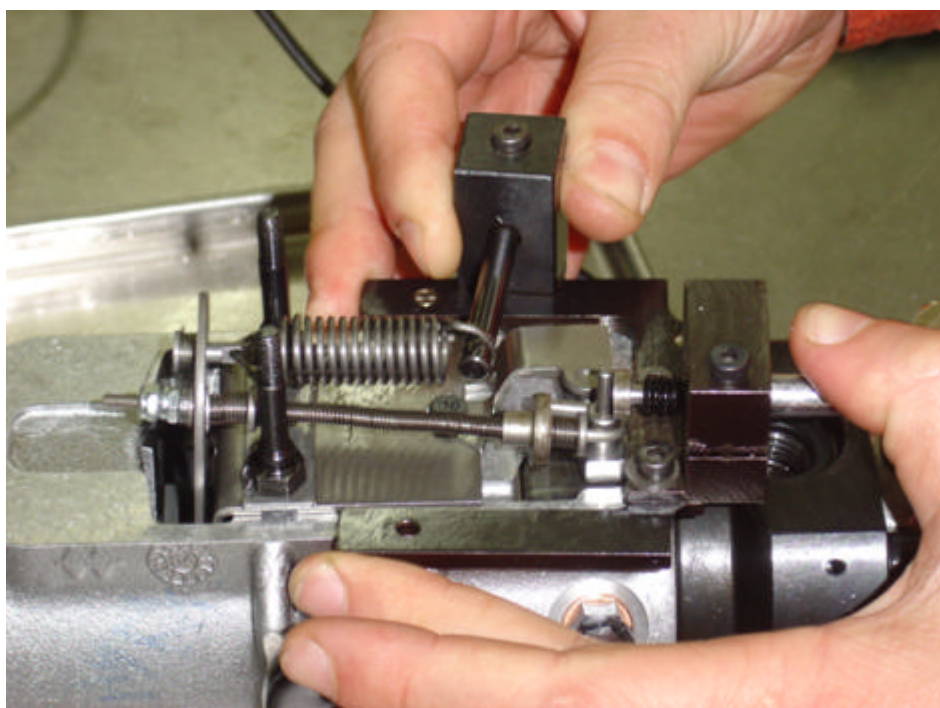


Figura 3.4.3.1: Novo dispositivo para medição do link com sensor. Fonte: projeto interno

O desenho de engenharia do dispositivo encontra-se no anexo III.

O estudo de capacidade deste dispositivo é mostrado na figura 3.4.3.2 abaixo:

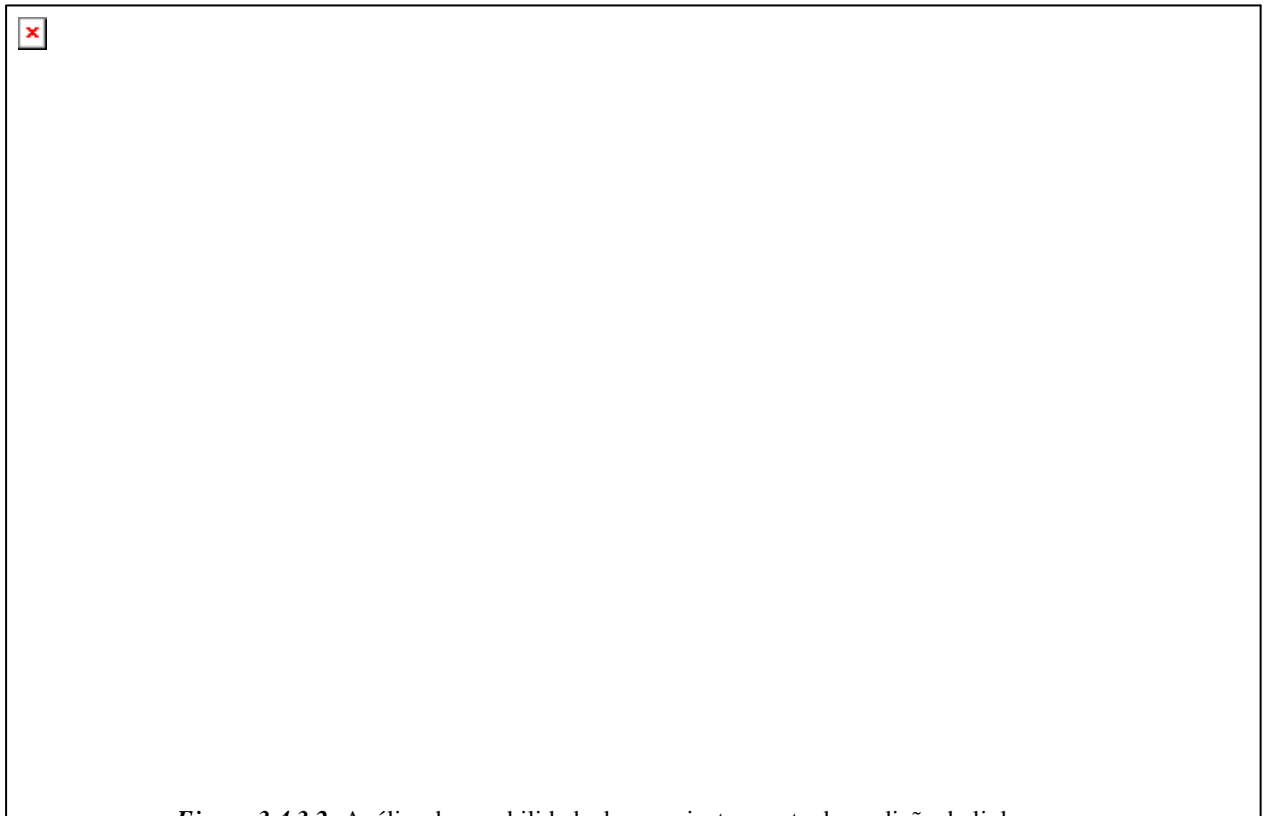


Figura 3.4.3.2: Análise de capacidade do novo instrumento de medição do link.

Fonte: elaborado pelo autor

Source	StdDev (SD)	Study Var (5,15*SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,025500	0,13132	12,95	6,57
Repeatability	0,025488	0,13127	12,94	6,56
Reproducibility	0,000753	0,00388	0,38	0,19
Operator	0,000753	0,00388	0,38	0,19
Part-To-Part	0,195315	1,00587	99,16	50,29
Total Variation	0,196972	1,01441	100,00	50,72
Number of Distinct Categories = 11				

Tabela 3.4.3.1: saída do estudo de capacidade pelo software Minitab.

Analisando os gráficos e números gerados pelo MS Minitab, podemos perceber que tanto a repetitividade quanto a reprodutividade do novo sistema de medição estão adequados agora. Vemos que praticamente toda a variação do sistema é devido às peças.

3.4.4 Revisão dos Planos de Manufatura

Com a confirmação de que a causa responsável pelo problema NDAR está contida no cabeçote, os processos e postos de trabalho relacionados ao cabeçote foram detalhadamente estudados.

Com a minuciosa análise de cada um destes postos críticos de trabalho e a partir da análise do setor de montagem, outras oportunidades de melhoria foram detectadas em diversos postos de trabalho (Tabela 3.4.4.1).

Máquina	Roteiro	Operação	O que ?
RC06 e RC11	322	180	Inserir especificação de Cilindricidade
TT20 e TT33	401	40	Corrigir dureza "mínimo"
PH01	1541	50	Inserir instrução de processo
Processo de Retrabalho TT38	novo	nova	Inserir roteiro de retrabalho quando do desacoplamento barril/luva
RC10	-	todas	Inserir códigos de instrumentos

Tabela 3.4.4.1: Alterações necessárias nos planos de manufatura. Fonte: elaborado pela equipe do projeto

3.4.5 Alteração de Engenharia

O teste de desempenho da bomba V8860A221W com o componente da bomba V8861A140W foi realizado com uma amostra de mais 30 bombas e o resultado obtido foi satisfatório. Isto é, a curva de desempenho foi muito semelhante a curva original da bomba, que representa o desempenho requerido pelo cliente (ver Figuras 3.3.1.1 e 3.3.1.2).

A proposta de alteração foi levada ao cliente, que por sua vez, aprovou a alteração.

3.4.6 Impacto das Melhorias nos Indicadores

À medida que todas as medidas de melhoria listadas acima foram implementadas, o índice de rejeição apresentou uma queda significativa nos meses de Agosto e Setembro.

Como a maioria das melhorias executadas era relativa a um vasto conjunto de bombas, a somatória destas melhorias foi capaz de reduzir a ocorrência (Figura 3.4.6.1 e 3.2.5.6.2) do problema no patamar estabelecido como meta (cerca de 50% de redução).

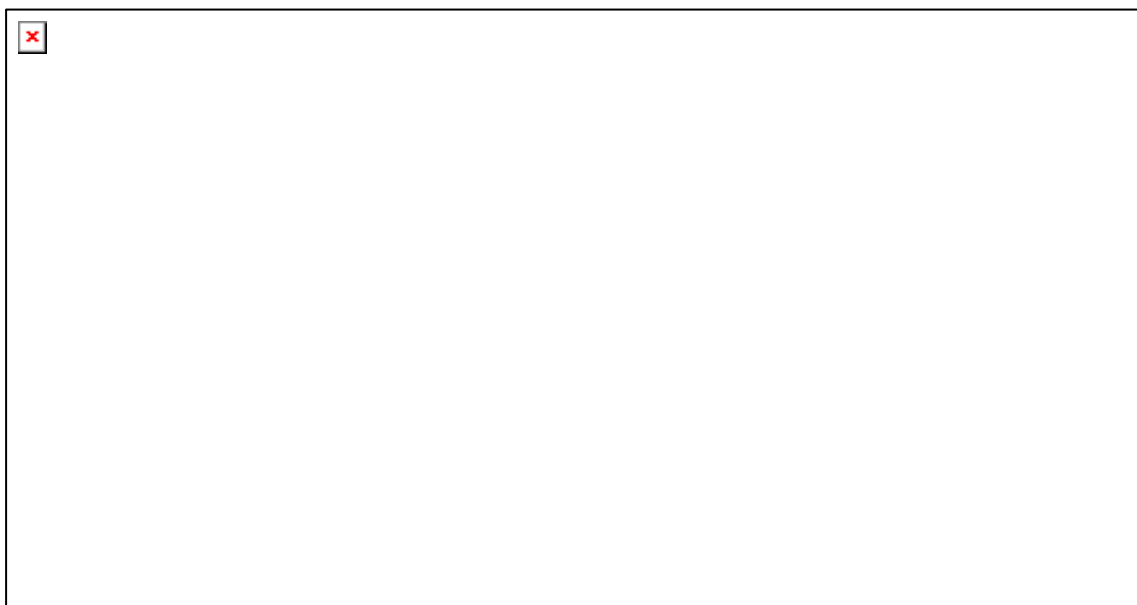


Figura 3.4.6.1: Evolução da ocorrência de defeitos de regulador. Fonte: elaborado pelo autor

Nota-se no gráfico acima que os três defeitos de regulador tiveram seus índices reduzidos (número absoluto de ocorrências) em aproximadamente 50% da média dos últimos meses. O índice de rejeição de bombas, indicador de referência do projeto, também mostra este declínio (Figura 3.4.6.2).

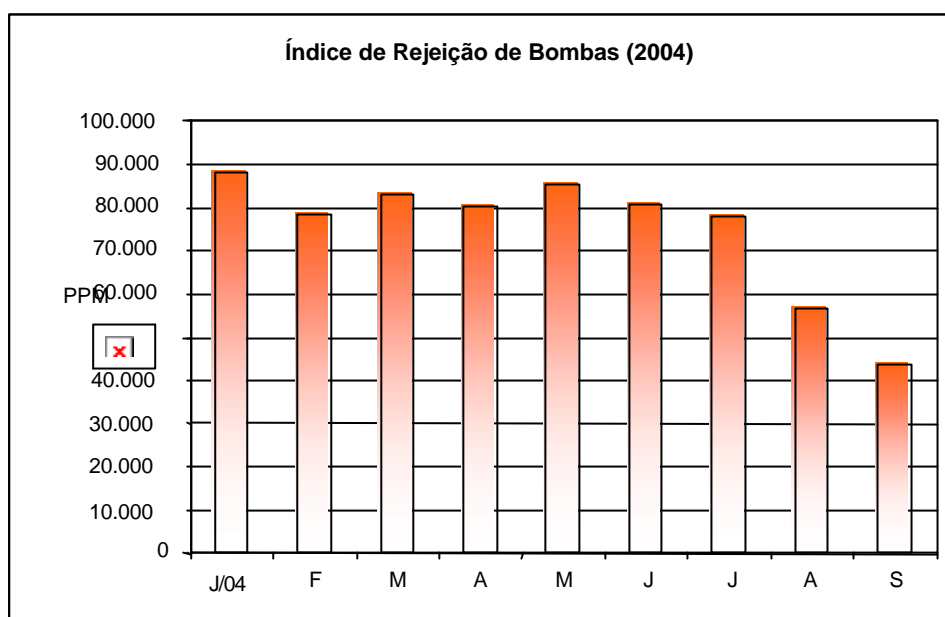


Figura 3.4.6.2: Índice de rejeição de bombas DPA. Fonte: dados internos

O índice de rejeição de bombas que contempla todos os efeitos de falhas apresenta uma redução menor, pois a redução de 50% no índice de regulador, que era de 30% em relação aos outros defeitos, significa uma redução de apenas 15% no índice geral de bombas DPA.

Como a média de rejeições em 2004 até o mês de março foi de 18%, a redução de 15% neste índice resulta num índice igual a aproximadamente 13 %, como mostra a figura abaixo.

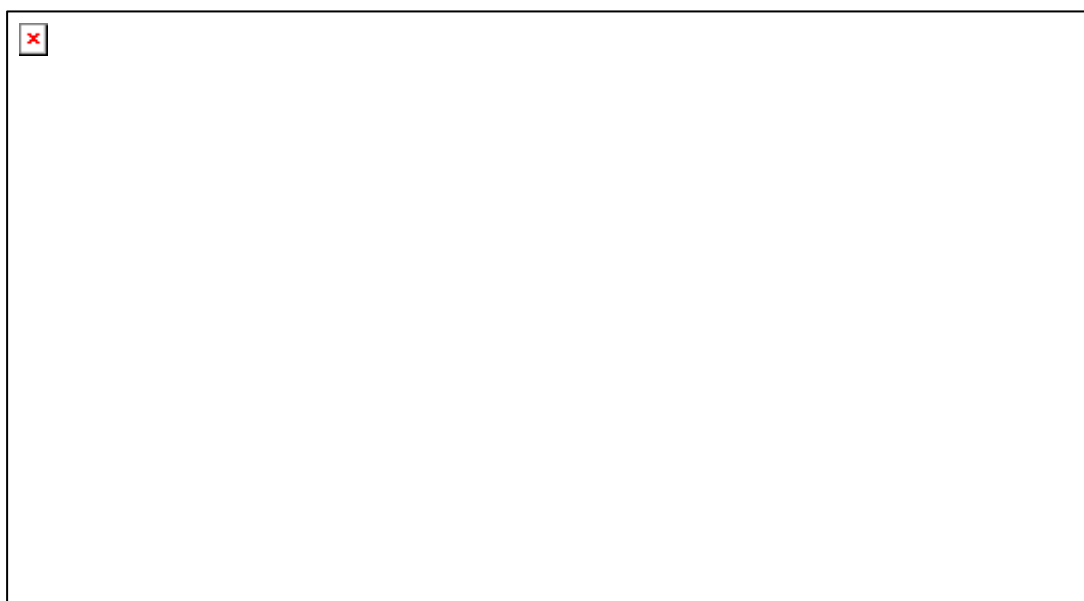


Figura 3.4.6.3: Índice global de rejeição de bombas DPA. Fonte: dados internos

Apesar da significativa variação mês-a-mês deste índice, o mais importante é a clara tendência de queda do índice nos últimos dois meses. Embora a marca final de 13,59% já tenha sido atingida anteriormente, a redução continuada do índice é uma evidência de que as melhorias implementadas não “causas especiais” e sugere que o índice deverá se estabilizar num patamar mais baixo.

A figura 3.4.6.4 mostra a evolução do índice de rejeição para alguns modelos de bombas principais.

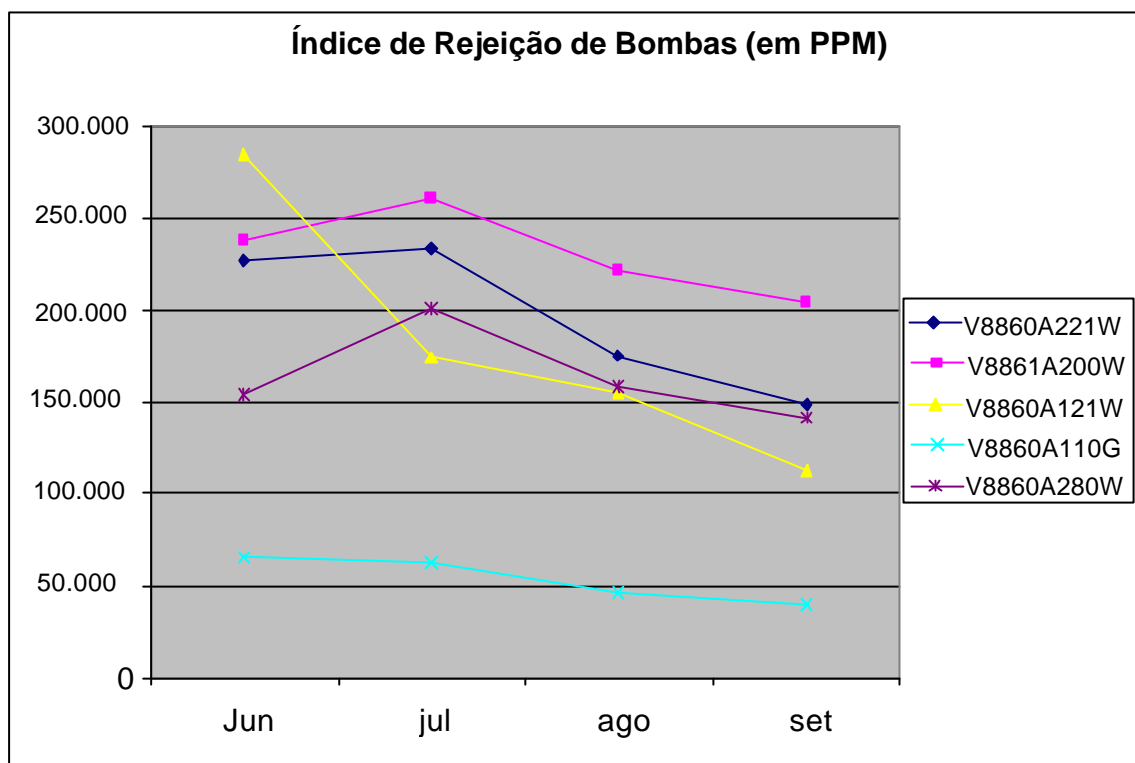


Figura 3.4.6.4: Evolução do índice de rejeição de bombas que apresentavam altos índices de rejeição.

Fonte: elaborado pelo autor

Como as bombas mostradas no gráfico são bombas de altos volumes de produção, o grande decréscimo observado em seus índices de rejeição já significou uma redução bastante significativa do índice global de bombas rejeitadas.

3.5 CONTROLE (*CONTROL*)

Conforme estabelecido no início do projeto, o indicador escolhido (índice de rejeição de bombas em PPM) continuará sendo monitorado para que a eficácia das melhorias implementadas possam ser validadas. Desta forma, evita-se que os problemas de regulador voltem a ocorrer.

Além disso, é importante garantir que os casos das não-conformidades encontradas não sejam reincidentes na empresa. Para isto, todas as alterações efetuadas devem ser registradas, oficializadas e comunicadas a todos os envolvidos.

Evidentemente, os dados pós-melhoria mostrados até aqui são insuficientes para comprovar a eficácia das melhorias implementadas. Para tanto, ainda são necessários vários meses de acompanhamento e análise do indicador. Somente após vários meses de manutenção das melhorias, a solução para o problema será validada e considerada robusta e eficaz.

O treinamento dos clientes do projeto e das pessoas que o suportarão faz parte desta fase. Cada vez mais o envolvimento sobre o projeto passa para as mãos do time operacional e sai das mãos do time montado pelo projeto.

O indicador de rejeição de bombas definido no início do projeto deverá ser continuamente atualizado e acompanhado pelo autor desta obra. Assim, a cada fechamento de mês, o mesmo deverá avaliar se os processos permanecem sob controle. Para tanto, o mesmo deverá fazer uso também das cartas de controle elaboradas pelos operadores. Após alguns meses, o processo de fabricação do barril deverá ser reavaliado.

Capítulo IV

CONCLUSÕES

4.1 VERIFICAÇÃO DOS BENEFÍCIOS PREVISTOS DO PROJETO

Os principais clientes do projeto ficaram bastante satisfeitos com as melhorias implantadas e com o claro impacto na qualidade e produtividade das bombas injetoras. Além disso, as áreas atingidas ganharam maior controle sobre as suas operações.

As áreas mais afetadas pelos ganhos do projeto foram as áreas da Montagem de Bombas e do Cabeçote Hidráulico.

A primeira reduziu significativamente o tempo de retrabalho, ganhou um instrumento de medição do link muito mais adequado e prático, teve sua relação com a área do cabeçote melhorada e, principalmente, passou a exibir maiores índices de produtividade e menores índices de hora-extra para a gerência da fábrica.

A área do Cabeçote foi claramente beneficiada com a melhoria dos processos de usinagem, dos meios de medição e treinamento de funcionários. A inserção da equipe do projeto no meio das células do cabeçote foi importante para que os funcionários da área pudessem perceber a importância do trabalho de cada um no resultado obtido com o produto final: a bomba. Desta forma, observou-se maior valorização das tarefas e maior comprometimento com a organização. Assim, a manutenção dos processos melhorados e dos atuais índices serve de motivação para trabalhar e seguir os planos e especificações de processo.

Finalmente, o benefício maior é o corporativo. A gerência, que apoiou o processo desde o início, pôde observar claramente os ganhos financeiros do projeto. E neste caso, o benefício é corporativo porque a empresa poderá repassar tais ganhos aos funcionários e/ou investir em áreas carentes de melhorias.

4.2 ESTIMATIVA ANUAL DE RETORNO FINANCEIRO DO PROJETO

Como só passaram se 4 meses desde o início do projeto, ainda não é possível medir *os savings* anuais do projeto. Por isso, o ganho anual esperado será projetado através dos dados de retrabalho de 12 meses passados.

Os ganhos financeiros obtidos podem ser separados em três categorias principais: 1) o ganho pela redução do retrabalho na Montagem, 2) o ganho com a redução do refugo na área do cabeçote, 3) o ganho pelo aumento do número de vendas, ou pelo custo de oportunidade associado.

É importante aqui lembrar que a empresa trabalha no máximo de sua capacidade há muito tempo e a prática de horas-extras tornou-se comum na tentativa de se atender a crescente demanda do mercado. Atualmente, a demanda é aproximadamente o dobro da oferta. Ou seja, a baixa produtividade afetada pelas horas de retrabalho significa grandes perdas de vendas, ou custo de oportunidade.

1) Cálculo do ganho por retrabalho:

O Retrabalho na Montagem na montagem contempla as seguintes etapas:

- ✓ Tempo de desmontagem da bomba
- ✓ Tempo de medição e ajuste
- ✓ Tempo de troca de componentes
- ✓ Tempo remontagem da bomba
- ✓ Tempo de reteste da bomba

É importante citar que este mesmo ciclo pode ser repetido inúmeras vezes até o ajuste adequado da bomba. Assim, o tempo total médio de retrabalho resulta em aproximadamente 42 minutos, dos quais 20 minutos são gastos com retestes.

Desta forma, o custo do retrabalho pode ser calculado através do número de item retrabalhos no mês, o tempo médio de retrabalho por bomba e o custo da hora da área de Montagem e Teste (Tabela 4.2.1).

Período	Qde de itens	Tempo unitário médio (h)	Tempo Retrabalhado	Custo da Hora	Custo de de retrabalho
jun	736	0,42	309,12	18,90	5.842,37
jul	625	0,42	262,50	18,90	4.961,25
ago	892	0,42	374,64	18,90	7.080,70
set	943	0,42	396,06	18,90	7.485,53
out	933	0,42	391,86	18,90	7.406,15
nov	804	0,42	337,68	18,90	6.382,15
dez	986	0,42	414,12	18,90	7.826,87
jan/04	1079	0,42	453,18	18,90	8.565,10
Fev	947	0,42	397,74	18,90	7.517,29
Mar	1013	0,42	425,46	18,90	8.041,19
Abr	1038	0,42	435,96	18,90	8.239,64
maio	990	0,42	415,80	18,90	7.858,62
				Total	87.206,87
				Ganho Anual (15%)	13.081,03

Tabela 4.2.1: Retrabalho da linha de bombas DPA. Fonte: dados internos

O custo total de retrabalho da área de Montagem e Teste, que engloba o retrabalho referente a todos os tipos de defeitos é igual a R\$87.206,00. Como a melhoria do projeto tem um impacto de apenas 15% (50% de 30%) no total de rejeições, temos que o ganho anual do projeto representa 15% deste montante, ou seja, **R\$13.081,03**.

2) Ganho com a Redução do Retrabalho na Área do Cabeçote

Diariamente, uma média de 8 cabeçotes acabados é refugada por problemas de qualidade registrados em quaisquer máquinas/operações. Dado que o custo médio de cada cabeçote deste gira em torno de R\$90,00, a empresa tem uma despesa diária de aproximadamente R\$720,00, ou R\$260.000,00 ao ano (ver figura 4.2.1).

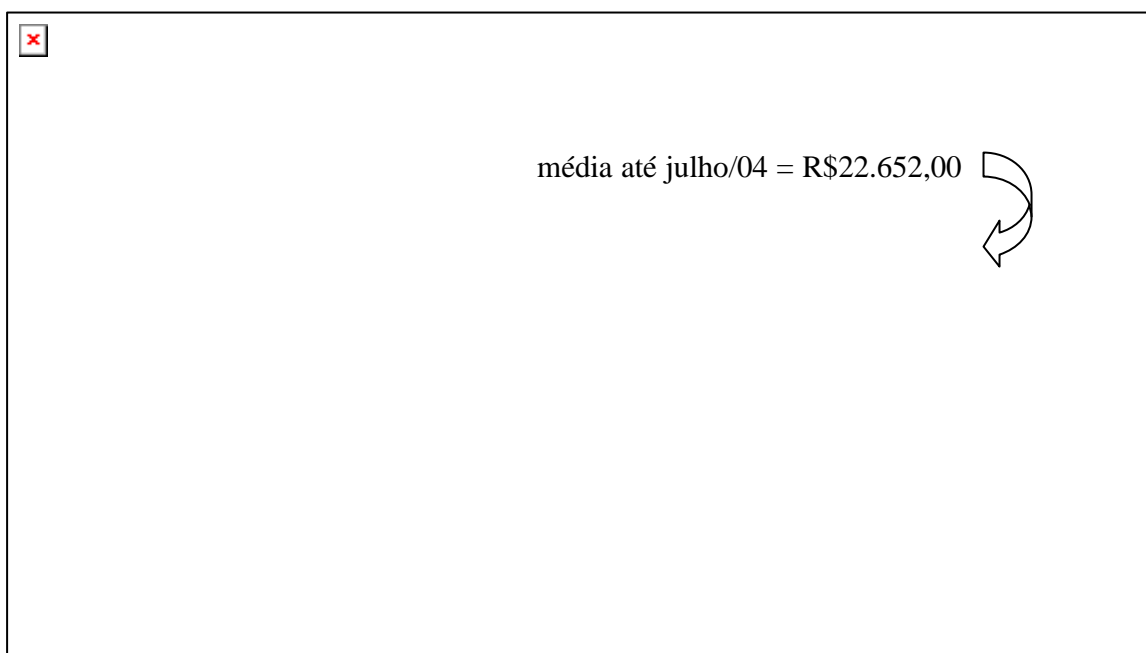


Figura 4.2.1: Gastos com retrabalho na área do cabeçote hidráulico. Fonte: dados internos

Os dados de 2004 mostram que, até junho, eram gastos uma média de R\$ 22.652,00 mensais com refugo peças. Se as alterações realizadas durante o projeto mantiverem-se controladas, espera-se que os gastos de refugo devam estabilizar-se em R\$17.050,00, assim como foi obtido em setembro.

Daí, pode-se projetar um ganho de mensal de **R\$ 5.602,00** (22.652 – 17.050), ou de **R\$ 67.225,71** ao ano, apenas com a redução do índice de refugo nesta área.

3) Cálculo do ganho do custo de oportunidade:

Para o cálculo do custo de oportunidade associado aos defeitos de regulador, foram utilizados os dados de produtividade (peças/ hora) do setor de Montagem e Teste de Bombas e também lucro líquido médio unitário para a família de bombas DPA. Analogamente ao cálculo anterior, a projeção será baseada na redução total de 15% do índice de retrabalho. Seguem os cálculos abaixo:

Período	Bombas por hora	Horas de retrabalho	Bombas não entregues em função do retrabalho	Custo de oport./unid (média 2004)	Custo de Oportunidade
jun	1,13	309,12	349,54	67,24	23.503,33
jul	1,02	262,50	268,72	67,24	18.068,50
ago	0,75	374,64	282,23	67,24	18.977,30
set	0,84	396,06	334,43	67,24	22.487,39
out	0,91	391,86	358,08	67,24	24.077,06
nov	0,87	337,68	292,27	67,24	19.652,40
dez	0,99	414,12	409,00	67,24	27.501,15
jan/04	1,01	453,18	457,75	67,24	30.778,99
Fev	1,00	397,74	399,30	67,24	26.849,07
Mar	0,97	425,46	413,42	67,24	27.798,05
Abr	1,01	435,96	440,79	67,24	29.638,69
maio	1,02	415,80	425,95	67,24	28.640,76
				Total	297.972,71
				Expectativa de Ganho Anual (15%)	44.695,91

Tabela 4.2.2: Custo de Oportunidade para a linha de bombas DPA. Fonte: elaborado pelo autor

Uma quarta fonte de ganho a ser calculada seria a redução das horas extras com o retrabalho. Entretanto, tais o número de horas extras, bem como o custo das mesmas não foram disponibilidades. Portanto, a estimativa de ganho será baseada apenas nas três projeções acima.

Somando as três projeções de ganho, a empresa terá um ganho anual de:

$$\mathbf{R\$13.081,03 + R\$67.225,71 + R\$44.695,91 \sim \boxed{\mathbf{R\$ 125.000,00}}$$

Nota-se que a cifra calculada é um excelente valor para um projeto de baixo investimento, como foi este. Os gastos do projeto não ultrapassaram mais do que R\$30.000,00, incluindo a implementação de um novo dispositivo de medição do link, o teste de vazamento, a substituição de alguns instrumentos de medição e troca de ferramentas de máquinas do cabeçote. De qualquer forma, os gastos do projeto são gastos uma única vez enquanto que os ganhos serão permanentes, permitindo que o investimento retorne em menos de um mês.

Agora fica muito claro o custo da qualidade. A redução de apenas um tipo de defeito para uma determinada família de bombas trará uma expressiva economia para a empresa daqui em diante. É interessante também destacar a importância dos custos “invisíveis”, tal como o custo de oportunidade associado ao custo da qualidade.

4.3 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O nível de exigência das montadoras automobilísticas está muito elevado, estimulando uma competição muito acirrada entre os fornecedores de componentes. Daí, a necessidade de se elevar o nível da qualidade através de Projetos Seis Sigma.

Embora a Delphi seja líder do setor automotivo, a divisão diesel da Delphi, na qual está inserida a planta de Cotia, ainda enfrenta uma concorrência muito forte.

Além da busca da excelência, a Delphi-Cotia também almeja elevar ao máximo sua capacidade produtiva pelo fato da fábrica estar saturada. Há alguns anos, a fábrica vem trabalhando no máximo de sua capacidade e fazendo uso intensivo de horas-extras para tentar manter o volume de vendas atual. Ainda assim, os clientes reclamam por mais produtos.

Como foi demonstrado no trabalho, o índice de rejeição ainda encontra-se em patamares muitíssimo elevados para uma empresa que deseja manter-se líder no mercado.

Entretanto, a empresa leva duas vantagens determinantes: além de já possuir uma fatia muito grande do mercado e contar com a força de sua marca, o desenvolvimento de componentes automotivos é uma competência essencial (Carvalho e Laurindo, 2003) que ainda sustenta muito bem sua posição no mercado e a boa imagem que os clientes têm dela.

Na tentativa de elevar a produtividade e qualidade dos produtos, a diretoria vem incentivando uma série de projetos Seis Sigma. A iniciativa deste projeto partiu do autor desta obra (que atuou no projeto como candidato a Green Belt), cuja escolha do tema foi motivada pelos maus resultados da área. Assim, o projeto foi amplamente incentivado pela alta gerência de imediato. E como foi visto, a redução do retrabalho foi suficiente para elevar a capacidade produtiva em aproximadamente 50 bombas mensais. Esta ampliação não só eleva o lucro da empresa, como também ajuda a empresa a satisfazer e manter

clientes, dado que muitos deles demandam por uma quantidade maior de bombas do que a empresa pode vender.

Embora o projeto ainda tenha sido concluído dentro da empresa, os resultados obtidos pela equipe foram imediatamente apreciados pela alta gerência. A redução de 50% na ocorrência de defeitos associados ao regulador foi considerada um sucesso, pois este os efeitos NDAR, EDAR e NAR são muito antigos e de certa forma, aparentemente insolúveis até então. Diversas tentativas já haviam sido realizadas na tentativa de se reduzir a rejeição deste efeito, mas os índices haviam recuado.

Ao longo do projeto, nota-se que não foram necessárias ferramentas muito sofisticadas para que a equipe pudesse atingir a meta de 50% de redução do índice de rejeição. Isto pode ser explicado pelo grande número de causas especiais no processo. Ou seja, a equipe do projeto foi guiada pelos efeitos de causas especiais e, através de um bom trabalho de investigação com auxílio de simples ferramentas, o time obteve êxito. Os testes de Shainin serviram de principal orientação no início do projeto, pois ajudaram a identificar o cabeçote como componente responsável pelos efeitos do problema estudado.

E através da eliminação de um conjunto de causas especiais, conseguiu-se atingir a meta de redução. Agora que os processos estão sob controle, ainda será necessário continuar estudando-os para que o problema seja erradicado.

Embora pouquíssimos processos da empresa trabalhem com uma variabilidade 6s, a empresa adotou a metodologia Seis Sigma há alguns anos. A idéia é difundir a prática pela organização como um primeiro passo para atingir uma variabilidade 6s em todos os processos.

A realização de projetos “Seis Sigma” também ajuda a provocar um espírito ambicioso pela baixa variação, pelo alto controle dos processos e pela excelência da qualidade, que são princípios básicos da Delphi E o forte apoio da alta gerência é facilmente explicado pela

questão do custo da qualidade, que ficou bastante elucidada com o desenvolvimento do projeto.

Além disso, a metodologia DMAIC é um método eficaz e flexível para a resolução de problemas de quaisquer áreas e atividades.

É importante destacar ainda o processo de aprendizado do autor e da equipe de projeto durante o desenvolvimento do projeto, no qual todos puderam compreender melhor os processos e procedimentos internos da fábrica, assim como aplicar as ferramentas estatísticas e metodológicas do Seis Sigma. Além disso, os membros do projeto trabalham como multiplicadores do conceito dentro da organização.

Além de multiplicador do conceito, o autor desempenhou um papel de líder e facilitador no que diz respeito à execução de inúmeras atividades do projeto e no levantamento e compilação de dados.

Quanto ao desempenho geral do projeto, este pode ser considerado um sucesso, já que a meta estabelecida no início foi alcançada através de um processo de aprendizado geral no qual todos ganharam: organização, funcionários e clientes.

LISTA DE
REFERÊNCIAS
BIBLIOGRÁFICAS

ABE, R.. **Seis Sigma: Melhoria do Processo de Tomada de Decisão na Área Comercial de uma Multinacional do Setor de Termoplásticos**. Trabalho de Formatura – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

BAYLE, P., FARRINGTON, M., SHARP B, HILD C. AND DOUG SANDERS.
Illustration Of Six Sigma Assistance On A Design Project, Quality Engineering, Vol. 13

BHOTE K. R. **World Class Quality**. AMACOM, 1991.

BREYFOGLE III, W. FORREST. **Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods**. 2º Edition, Hardcover, 2003.

CARVALHO, M.M.; LAURINDO, F.J. B..**Estratégias para competitividade**. São Paulo. Futura, 2003.

CROSBY, P. B.. **Qualidade é Investimento**. 3º ed. Rio de Janeiro: José Olympio, 1979.

ECKES, G.. **A Revolução Seis Sigma**. São Paulo: Campus, 2001.

GALLOWAY, D.. **Mapping Work Process**. ASQ Quality Press, Milwaukee, 1997.

GARVIN, D.. **O Que Realmente Significa Qualidade do Produto?**. Harvard Business Review, May, 1998.

HARRY, M. J.; SCHROEDER, R.. **Six Sigma**. Doubleday, A Division of Random House, Inc. 2000.

HESKETT, J.; SASSER, W., and HART, C.. **Service Breakthroughs**: Changing the rules of the game. New York: The Free Press, A Division of MacMillan, Inc., 1990.

ISHIKAWA, K.. **Guide to Quality Control** Tóquio: Asian Productivity Organization, 1987.

JURAN, J. M.; GRYNA, F. M. **Controle da Qualidade**. 5ª ed. São Paulo, SP: McGraw Hill, 1991.

KIEELE, J. M.; SCHMIDT, S. R.; BERDINE, R.J. **Basic Statistics**. 4º edition, Air Academy Press, 1999.

KUME, H.. **Métodos Estatísticos para a Melhoria da Qualidade**. São Paulo: AOTS: Gente.1993.

OHTSUKI, V.. **Aplicação do Seis Sigma em Instituição Financeira**. Trabalho de Formatura – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

PANDE, S. P.; NEUAN, P. R.; CAVANAGH, R. R. **Estratégia Seis Sigma**. Rio de Janeiro: Qualitymark. 1998.

ROTONDARO, R. G. et al.. **Seis Sigma. Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços**. São Paulo: Atlas, 2002.

SCHMIDT, S. R.; LAUNSBY, R. G. **Understanding Industrial Designed Experiments** 4º edition, Air Academy Press, 1998.

SLACK, N.. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 1999.

WILSON, M. P.. **Seis Sigma: Compreendendo o Conceito, as Implicações e os Desafios**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1999.

ZINKGRAF, S. A.; SNEE, RD.. **Institutionalizing Six Sigma in Large Corporations – A Leadership Roadmap**. QPRC, 1999.

ANEXOS

ANEXO I – CONTRATO DO PROJETO**CONTRATO DO PROJETO**

rev. 00 – 25/06/04

Líder (es) do Time	Paulo Roberto Ribeiro de Barros Castellano – Black Belt									
Membros do Time	André Lopes do Nascimento – Candidato à Green Belt Katia Regina Machado – Candidata à Green Belt José Aparecido – Montagem de Bombas Carlos Costa - Qualidade Rosinaldo Silva – Montagem e Teste de Bombas Raimundo Nonato – Cabeçote Hidráulico Ademir Vieira – Engenharia de Aplicações Cláudio Barbosa – Manufatura Samir Garcia - Manufatura									
Champion do Projeto	Luiz A. Raffagnato – Diretor de Operações	Sponsor do Projeto	André Rodrigues Alves – Gerente de Manufatura							
Título do Projeto	Redução do Índice de Rejeições no Teste de Bombas DPA por defeitos tipo NDAR (não dá dosagem após regulador), EDAR (excede dosagem após regulador) e NAR (não ajusta regulador)									
Detalhes do Projeto	➤ Definir componentes e as características/dimensões de produto e processo que são causas raízes para os problemas NDAR, EDAR e NAR. ➤ Realizar experimentos para validação das análises em relação à causa(s) raiz(es).									
Business Case	➤ Do total de rejeições na linha de teste de bombas DPA, os problemas de regulador (NDAR: não dosagem após regulador; EDAR: excede dosagem após regulador e NAR: não ajusta regulador) representam 30% dos rejeitos. ➤ Dos valores gastos com retrabalho na linha de Montagem e Teste de Bombas DPA, 99,5% foram gastos com retrabalho na linha de Teste de Bombas DPA.									
Savings Esperados	Media R\$7200,00/mês com retrabalho no teste DPA; Média de R\$22.000,00 são incorridos com refugos de cabeçotes acabados. Média de R\$25.000,00 deixam de ser faturados em função da perda de vendas em detrimento da diminuição da capacidade de montar e testar bombas (tempo de retrabalho +desmontagem + remontagem + reteste) Com a redução de 50% na ocorrência dos defeitos NDAR, espera-se o aumento da produtividade e a redução das perdas com retrabalho e refugo retornem um montante anual de aproximadamente R\$80.000,00 .									
Datas Chave	Define	20/6	Measure	30/6	Analyze	30/7	Improve	30/8	Control	25/9
Etapas/ Restrições Críticas do	➤ Definição do projeto, cálculo dos custos relativos às perdas por retrabalho na linha de Testes de Bombas DPA. ➤ Levantamento dos componentes e respectivas dimensões que possam									

Projeto	<p>acarretar em rejeições por defeitos NDAR, EDAR e NAR.</p> <ul style="list-style-type: none">➤ Disponibilidade de bancada de teste para execução de experimentos.➤ Estabelecimento de um plano de ação para eliminação da causa raiz e validação das ações tomadas.➤ Lead time para o acompanhamento do índice de rejeição.		
Fornecedores/Clientes a serem Incluídos	<p>Grupo Técnico Cabeçote Hidráulico Grupo Técnico Montagem Engenharia de Aplicações Manutenção Metrologia Ferramentaria Finanças Vendas Manufatura</p>		
Itens com Implementação Mandatória	<ul style="list-style-type: none">➤ Definição dos principais fatores de influência nos defeitos NDAR, EDAR e NAR.➤ Redução da ocorrência de rejeições por defeitos tipo NDAR em 50%.		
Itens Certamente Fora do Escopo	<ul style="list-style-type: none">➤ Redução do índice de rejeição referente a outros tipos de defeitos.		
Como o Projeto será Medido	<ul style="list-style-type: none">➤ Através do gráfico de PPM da área de Teste de Bombas DPA.		
Data de Início	20/ / junho / 2004	Data de Conclusão	25/Outubro/2004

Assinaturas
para Iniciar
o Projeto

Champion

Deployment
Champion

Sponsor

Master Black Belt

Green Belt

Finanças

Assinaturas p/ Concluir
o Projeto

Champion

Deployment Champion

Sponsor

Master Black Belt

Green Belt

Finanças

ANEXO II – RESULTADOS INICIAIS DE R&R PARA OS SISTEMAS DE MEDIÇÃO MAIS CRÍTICOS DA ÁREA DO CABEÇOTE HIDRÁULICO

Seguem as saídas do estudo de R&R fornecidas pelo *software* Minitab (método ANOVA):

Perpendicularidade da face da luva

Source	StdDev (SD)	Study Var (5,15*SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	3,26E-03	1,68E-02	65,90
Repeatability	3,07E-03	1,58E-02	62,08
Reproducibility	1,09E-03	5,63E-03	22,11
Part-to-Part	3,72E-03	1,92E-02	75,21
Total Variation	4,95E-03	2,55E-02	100,00
Number of distinct categories = 5			

Altura da luva em relação ao barril

Source	StdDev (SD)	Study Var (5,15*SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0,002973	0,015313	2,36
Repeatability	0,002658	0,013689	2,11
Reproducibility	0,001333	0,006864	1,06
Part-to-Part	0,125786	0,647799	99,97
Total Variation	0,125821	0,647980	100,00
Number of distinct categories = 6			

Diâmetro externo da luva

Source	StdDev (SD)	Study Var (5,15*SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	1,09E-03	5,63E-03	20,47
Repeatability	1,04E-03	5,38E-03	26,50
Reproducibility	3,25E-04	1,68E-03	8,26
Operador_3	3,25E-04	1,68E-03	8,26
Part-To-Part	3,78E-03	1,95E-02	96,07
Total Variation	3,94E-03	2,03E-02	100,00
Number of Distinct Categories = 5			

Diâmetro interno do barril

Source	StdDev (SD)	Study Var (5,15*SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	1,72E-03	8,87E-03	30,12
Repeatability	1,54E-03	7,91E-03	26,87
Reproducibility	7,78E-04	4,01E-03	13,62
Part-to-Part	5,45E-03	2,81E-02	95,36
Total Variation	5,72E-03	2,94E-02	100,00
Number of distinct categories = 6			

Conicidade do diâmetro interno do barril

Source	StdDev (SD)	Study Var (5,15*SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	1,42595	7,3436	50,19
Repeatability	0,87560	4,5093	30,82
Reproducibility	1,12546	5,7961	39,62
operador_2	0,36004	1,8542	12,67
operador_2*peça_2	1,06632	5,4915	37,54
Part-To-Part	2,45704	12,6537	86,49
Total Variation	2,84084	14,6303	100,00
Number of Distinct Categories = 7			

Circularidade do Diâmetro interno do barril

Source	StdDev (SD)	Study Var (5,15*SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	1,70638	8,7879	56,69
Repeatability	1,19722	6,1657	39,78
Reproducibility	1,21589	6,2618	40,40
operador_2	0,76788	4,0480	31,54
operador_2*peça_2	1,08445	6,2618	40,40
Part-To-Part	2,47955	12,7697	82,38
Total Variation	3,00996	15,5013	100,00
Number of Distinct Categories = 4			

Concentricidade do diâmetro interno do Barril

Source	StdDev (SD)	Study Var (5,15*SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	1,26491	6,5143	41,22
Repeatability	1,17615	6,0572	38,33
Reproducibility	0,46547	2,3972	15,17
operador_2	0,21373	1,1007	6,97
operador_2*peça_2	0,41351	2,1296	13,48
Part-To-Part	2,79550	14,3968	91,11
Total Variation	3,06836	15,8020	100,00
Number of Distinct Categories = 8			

Perpendicularidade da face do barril

Source	StdDev (SD)	Study Var (5,15*SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	1,87083	9,6348	65,85
Repeatability	1,23828	6,3771	43,59
Reproducibility	1,40238	7,2223	49,36
operador_2	0,59732	3,0762	21,03
operador_2*peça_2	1,26881	6,5344	44,66
Part-To-Part	2,13784	11,0099	75,25
Total Variation	2,84084	14,6303	100,00
Number of Distinct Categories = 10			

**ANEXO III – DESENHO DE ENGENHARIA DO NOVO DISPOSITIVO DE
MEDIÇÃO DO LINK**