

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS
ENGENHARIA MECÂNICA
FÁBIO DONISETTE BATISTA

**METODOLOGIA SEIS SIGMA PARA REDUÇÃO DE CUSTO E MELHORIA NA
PRODUTIVIDADE DO PROCESSO DE DEPOSIÇÃO DE CROMO EM VÁLVULAS
DE ADMISSÃO E ESCAPAMENTO DE MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA.**

Varginha
2014

FÁBIO DONISETTE BATISTA

**METODOLOGIA SEIS SIGMA PARA REDUÇÃO DE CUSTO E MELHORIA NA
PRODUTIVIDADE DO PROCESSO DE DEPOSIÇÃO DE CROMO EM VÁLVULAS
DE ADMISSÃO E ESCAPAMENTO DE MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação da Profa. Dra. Déborah Reis Alvarenga.

**Varginha
2014**

FÁBIO DONISETTE BATISTA

**METODOLOGIA SEIS SIGMA PARA REDUÇÃO DE CUSTO E MELHORIA NA
PRODUTIVIDADE NO PROCESSO DE DEPOSIÇÃO DE CROMO EM VÁLVULAS
DE ADMISSÃO E ESCAPAMENTO DE MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Profa. Dra. Déborah Reis Alvarenga

Prof. Esp. Rullyan Marques Vieira

Engº Mec. Lucas Vicente

OBS:

Dedico este trabalho primeiramente á Deus pelo dom da vida, á minha amada esposa Simônica pela compreensão e apoio incondicional e á minha filha Ana Laura, meu maior presente.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pelo exemplo de simplicidade e humildade que carregarei por toda minha vida e passarei a meus filhos. Aos meus colegas de graduação e professores por proporcionarem trocas interessantes de informação que se transformaram em conhecimento. Aos meus amigos de trabalho pelas experiências de campo. A minha orientadora, que com profissionalismo e conhecimento me indicou e esclareceu os melhores caminhos para chegar à conclusão desta etapa da minha carreira.

Nunca é tarde para alcançar seu projeto de vida, nunca é tarde para vencer na vida, nunca é tarde... O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.

José de Alencar

RESUMO

O uso da metodologia Seis Sigma para melhoria de qualidade tanto em serviços como em diversos processos produtivos é atual e amplamente utilizada pelas modernas organizações na busca de maior eficiência e eficácia de seus resultados. É uma estratégia muito disciplinada para a busca da satisfação dos clientes e que exige dados confiáveis, bem focados no incômodo do trabalho proposto e em quantidade suficiente, que servem como referência para comprovar que mudanças realizadas foram convertidas em melhorias. As avaliações devem ser precisas e fundamentadas, com tomada de decisões para alterar variáveis, parâmetros e sistemas que afetam diretamente o processo. A metodologia Seis Sigma é proposta para o sucesso deste trabalho fundamentado nas melhorias do processo de deposição de cromo em válvulas de admissão e escapamento de motores a combustão interna. O projeto requer a aplicação da estatística, para a eliminação dos incômodos que são os defeitos e desperdícios gerados neste processo, buscando facilitar a interpretação de relações de causa e efeito que afetam esta operação tendo como foco principal a redução da variabilidade, aumento da capacidade, e conseqüentemente o lucro.

Palavra chave: Seis Sigma. Deposição de cromo. Melhoria.

ABSTRACT

The use of Six Sigma methodology for quality improvement both in services and in many production processes is current and widely used by modern organizations in the search for greater efficiency and effectiveness of its results. It is a very disciplined approach to the pursuit of customer satisfaction and that requires reliable and focused on the nuisance of the proposed work and in sufficient quantity data to serve as a reference to verify that changes that were made, they have been converted into improvements. The evaluations must be accurate and substantiated, with decisions to change variables, parameters and systems that directly affect the process. The Six Sigma methodology is proposed for the success of this study based on improvements in the deposition of chromium process for intake and exhaust valves of internal combustion engines. The project requires the application of statistics to eliminate nuisance that are defects and waste are generated in this process, trying to make easier the interpretation of cause and effect relations that affect this operation mainly focusing on reducing the variability, increased the capacity, and consequently profit.

Keywords: *Six Sigma. Deposition of chromium. Improvement.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Válvulas de motor	14
Figura 02 – Gradiente de temperatura das válvulas no motor.....	15
Figura 03 – Posicionamento mais comum dentro do motor.....	16
Figura 04 – Nomes das principais partes de uma válvula	16
Figura 05 – Diversidade das válvulas com relação à aplicação	17
Figura 06 – Rota de fabricação de um modelo de válvula	18
Figura 07 – Simbologia técnica para erros de forma e posição.....	20
Figura 08 – Esquema de uma retífica de haste de válvulas.....	21
Figura 09 – Haste de uma válvula com riscos profundos	22
Figura 10 – Trecho cromado de uma haste de válvula	22
Figura 11 – Válvula posicionada dentro do tanque de cromo	24
Figura 12 – Acessórios para o banho de cromo.....	24
Figura 13 – Protetores do processo de deposição de cromo.....	25
Figura 14 – Fluxo das válvulas dentro do setor de deposição de cromo	26
Figura 15 – Posicionamento da válvula entre os rebolos na retífica	27
Figura 16 – Índice de capacidade do processo	38
Figura 17 – Pontos de medição no diâmetro da haste.....	38
Figura 18 – Estudo de capacidade do diâmetro da haste	39
Figura 19 – Desempenho ao longo do tempo da retífica de haste semifinal.....	40
Figura 20 – Diagrama de causa e efeito	41
Figura 21 – Avaliação após a intervenção	42
Figura 22 – Índice de retrabalho mensal do setor.....	44
Figura 23 – Defeitos principais encontrados	45
Figura 24 – Camada de cromo, microscópio 1000x	46
Figura 25 – Variação da camada de cromo	47
Figura 26 – Gráfico Box plot da variação da camada de cromo	48
Figura 27 – Diâmetro da haste após a deposição de cromo	48
Figura 28 – Capacidade da camada de cromo.....	49
Figura 29 – Desempenho ao longo do tempo retífica de haste final.....	50
Figura 30 – Capacidade da retífica de haste final	50
Figura 31 – Desempenho com novo conceito	53
Figura 32 – Redução de peças retrabalhadas no setor de deposição de cromo	54

Figura 33 – Redução dos índices de retrabalho	54
Figura 34 – Desempenho do polimento da haste	55
Figura 35 – Nova camada.....	55
Figura 36 – Proposta de novo fluxo de processo	57
Figura 37 – Funcionamento da máquina de polir haste	58
Figura 38 – Esquema da máquina de polir	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Tradução do nível de qualidade para a linguagem financeira	29
Quadro 02 – Exemplos de equipe Seis Sigma	30
Quadro 03 – Visão geral do modelo DMAIC	31
Quadro 04 – SIPOC do processo	32
Quadro 05 – Fronteiras do projeto	33
Quadro 06 – Questionário CTQ	34
Quadro 07 – Objetivos do projeto	35
Quadro 08 – Parâmetros do processo de deposição de cromo	43
Quadro 09 – Objetivos atingidos	56

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 VÁLVULAS DE MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA.....	14
3 FLUXO DO PROCESSO PRODUTIVO.....	18
4 PROCESSOS PRODUTIVOS ENVOLVIDOS.....	19
4.1 Retificação da haste antes da deposição de cromo (haste semifinal).....	19
4.2 Processo de eletrodeposição de cromo duro.....	21
4.2.1 Eletrodeposição de cromo duro em válvulas de motor.....	22
4.2.2 Fluxos dentro do setor de cromação.....	25
4.3 Retificação da haste após a deposição de cromo (haste final).....	27
5 METODOLOGIA SEIS SIGMA.....	28
5.1 Ferramentas.....	30
6 PLANO DE MELHORIA.....	32
6.1 Estudo de caso.....	32
6.1.1 Definir.....	32
6.2 Avaliação da operação de retificar haste semifinal.....	36
6.2.1 Medições dos processos.....	36
6.2.1.1 Estudo da capacidade.....	37
6.2.1.2 Capacidade técnica da retífica de haste semifinal.....	38
6.2.1.3 Análise de causa raiz dos problemas da retífica de haste semifinal.....	41
6.2.1.4 Resultados após a intervenção.....	42
6.3 Avaliação da deposição de cromo.....	43
6.3.1 Motivação.....	44
6.3.2 Avaliação dimensional.....	45
6.3.3 Estudo da capacidade técnica da operação de deposição de cromo.....	47
6.4 Avaliação da operação de retificar haste final.....	49
7 RESULTADOS, ANÁLISES E DISCUSSÕES.....	52
7.1 Melhorias.....	52
7.2 Melhorias no fluxo.....	56
7.3 Controle para a manutenção das mudanças.....	58
8 CONCLUSÃO.....	60
REFERÊNCIAS.....	62

1 INTRODUÇÃO

Desde sempre o homem busca por melhorias, por isso a evolução acontece de várias formas, seja materialmente ou intelectualmente, tanto para produtos como para serviços, são buscas infundáveis para o aprimoramento das ideias, pois assim é a humanidade. Atualmente, com a globalização não há fronteiras para a concorrência fazendo com que a constante revisão de estratégias de sobrevivência dentro das empresas seja fundamental para sustentar suas vendas e lucros, garantindo a satisfação dos clientes e a perpetuação dos negócios.

Depois de muito tempo e com a grande ascensão da indústria japonesa em termos de qualidade é que o restante do mundo industrial percebeu o quanto seria importante satisfazer seus clientes. Nos anos 70 e 80 iniciou-se uma grande corrida para a melhoria dos processos, surgiram várias metodologias e ferramentas de qualidade e gestão e uma das mais famosas é a metodologia Seis Sigma.

O objetivo do trabalho é melhorar o desempenho em um processo produtivo de deposição de cromo em válvulas de motores a combustão interna, eliminando defeitos, falhas e variabilidade do processo com a aplicação da metodologia Seis Sigma. Esta metodologia irá auxiliar a estruturar estudos baseados em dados, avaliar esta variabilidade para melhorar a produtividade e desempenho de todo o fluxo do produto. Previamente será estimado o lucro do projeto onde o principal ganho está na eliminação de desperdícios, garantia da qualidade do produto, redução do impacto ambiental, redução de custo e a satisfação dos clientes.

Atualmente o processo de deposição de cromo em válvulas para motores a combustão interna é muito oneroso e a camada depositada é muito irregular o que gera variabilidade, alto índice de retrabalho causando perda de produtividade na ocupação de equipamentos dos processos posteriores para realizar a sua correção, causa o aumento da taxa de geração de resíduos de cromo e o seu posterior tratamento, que possui alto custo, é crítico ambientalmente e de difícil manuseio, sua armazenagem e controle exige muito cuidado e responsabilidade.

Avaliando estes pontos negativos e buscando ótimo desempenho neste processo, será aplicada a metodologia Seis Sigma para minimizar estas fragilidades e torná-lo robusto. O ponto chave para implantar a metodologia Seis Sigma é utilizar uma ferramenta de qualidade para definir o problema, incômodo, com precisão, colher dados, medir, analisar as causas de cada problema e propor, avaliar e programar as soluções para cada um, e por fim, garantir o sucesso das ações implantadas com controle apurado.

O trabalho é de natureza aplicada, com avaliações, medições e estudos em campo, pois busca gerar conhecimento e solucionar problemas práticos e específicos de um processo ineficiente de deposição de cromo. Será apoiado no *software* com foco de análise estatística, conhecido como Minitab na coleta e análise dos dados e suportado por ferramentas da qualidade como gráficos de Pareto, diagramas de causa e efeito, que ajudam na rápida avaliação e interpretação dos fatos. Esses dados obedecerão conforme a metodologia Seis Sigma a abordagem preferencialmente sequencial para definir o problema, medir a situação atual, analisar o problema, melhorar a situação e controlar, onde cada um destes itens tem uma sequência dentro do projeto e cada um significa uma ação.

Serão feitas medições do processo atual para avaliar as condições e posteriormente uma comparação dos valores medidos para conclusão da efetividade dos trabalhos, executando e analisando criticamente sobre a efetividade da nova proposta e determinando soluções para eventuais problemas. Serão investigadas algumas variáveis e suas correlações, tais como tempos do processo, dimensões do produto, parâmetros do processo (tempo, temperatura), materiais aplicados ao produto, disponibilidade física de cada equipamento, instabilidade do processo, consumo de ferramentais entre outras.

2 VÁLVULAS DE MOTORES À COMBUSTÃO INTERNA

As válvulas são componentes de alta precisão para motores à combustão interna, sua função é controlar o processo de troca de gases e estão sujeitas a altas tensões térmicas e mecânicas. A fabricação das válvulas passa por diferentes e complexos processos e são utilizados desde materiais de baixo teor de carbono até superligas para o revestimento de alguns de seus elementos, pois alguns tipos de válvulas destinam-se a aplicações severas e outros tipos são utilizados em motores de alto desempenho, por isso às vezes, também são confeccionadas com materiais usados na indústria aeroespacial.

Suas formas geométricas podem ter diversas configurações em relação a sua utilização, podem ter diversas aplicações, então tem vários tamanhos e estão posicionadas, na maioria das vezes, no cabeçote dos motores de quatro tempos e em alguns casos são instaladas no bloco do motor.

São classificadas como válvulas de admissão e válvulas de escapamento. As de admissão controlam a entrada da mistura de ar e combustível para dentro da câmara de combustão no caso de motores ciclo Otto (gasolina e/ou álcool e gás natural) ou ar no caso de motores ciclo Diesel. As válvulas de escapamento permitem a saída dos gases provenientes da combustão interna do motor (HEYWOOD, 1988).

Figura 01: Válvulas de motor



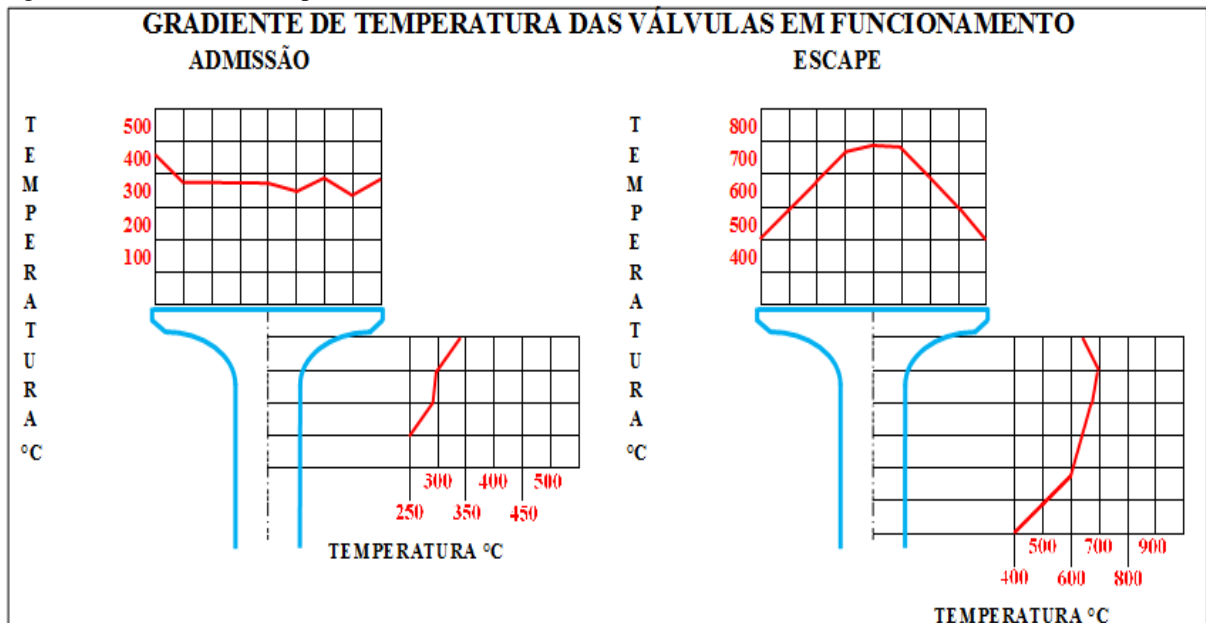
Fonte: O autor

Os dois tipos de válvula são fabricadas a partir de materiais diferentes, adequados à sua função, necessitando de cuidados especiais na construção destes importantes componentes do motor, principalmente com os tratamentos térmicos do material da válvula durante o seu processo de fabricação, pois estas são expostas continuamente a pressões alternadas dentro do motor (TAYLOR, 1985).

Ambas são muito exigidas durante o trabalho do motor e, devido a estas exigências, as válvulas utilizam aços de alta liga especialmente trabalhados para atender os requisitos técnicos e às altas temperaturas desenvolvidas no ambiente agressivo em que serão submetidas.

As válvulas de admissão são pouco afetadas termicamente, pois são resfriadas pelos gases que fluem em sua volta. Ao contrário, as válvulas de escape são sujeitas a elevadas tensões térmicas e a corrosão química durante o ciclo de escape.

Figura 02: Gradiente de temperatura das válvulas no motor.



Fonte: Adaptado de Heywood, 1988.

Devido ao seu emprego com temperaturas que se aproximam dos 800 °C, níveis de esforços impostos e ambientes corrosivos, os aços e os revestimentos utilizados são cuidadosamente estudados e aplicados, seguindo as exigências dos clientes e as respectivas normas técnicas (TAYLOR, 1985).

Cada válvula tem o seu próprio desenho que obedece a detalhes de construção de cada motor em função de sua cilindrada, do tipo de acionamento e do projeto do cabeçote. Ficam posicionadas geralmente no cabeçote e há vários mecanismos para o acionamento, como os

balancins já não muito usados e tuchos com cames em seu eixo comando, originando modernas formas de trabalho sincronizado (HEYWOOD, 1988).

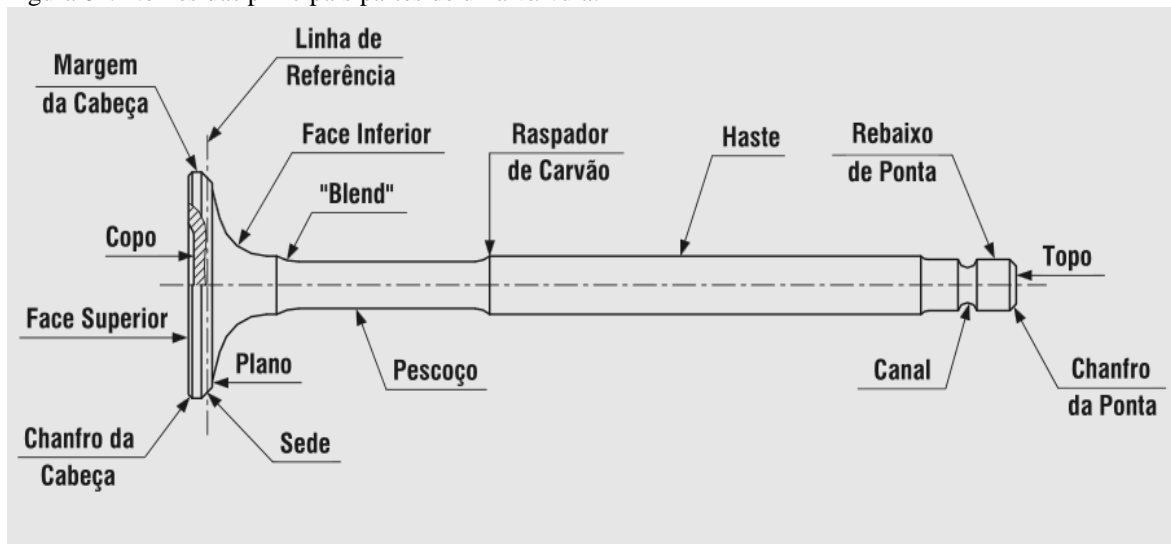
Figura 03: Posicionamento mais comum dentro do motor.



Fonte: Heywood, 1988

No Brasil e no mundo, em geral, a nomenclatura das partes da válvula muda um pouco de fabricante para fabricante, mas usualmente suas características geométricas são tecnicamente denominadas em função de sua aparência e de sua posição em contato com partes do cabeçote no motor.

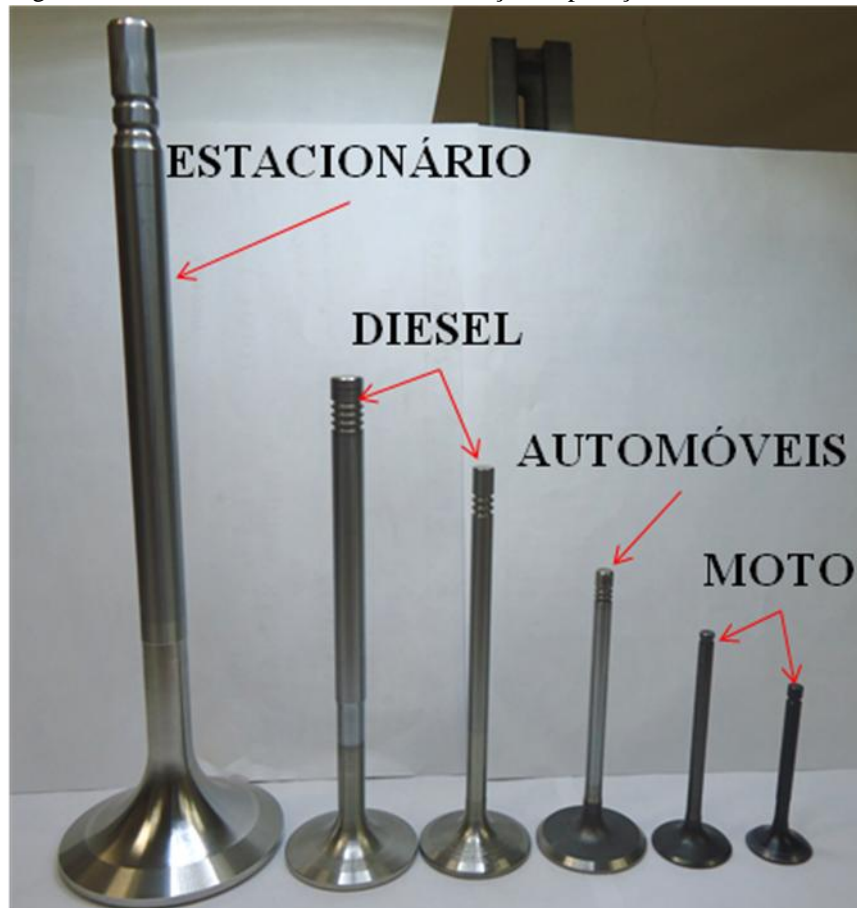
Figura 04: Nomes das principais partes de uma válvula.



Fonte: Adaptado de Heywood, 1988.

As válvulas para motores de combustão interna são utilizadas em automóveis, caminhões leves e pesados, motocicletas, locomotivas, motores industriais, marítimos e estacionários, entre outras aplicações.

Figura 05: Diversidade das válvulas com relação à aplicação.



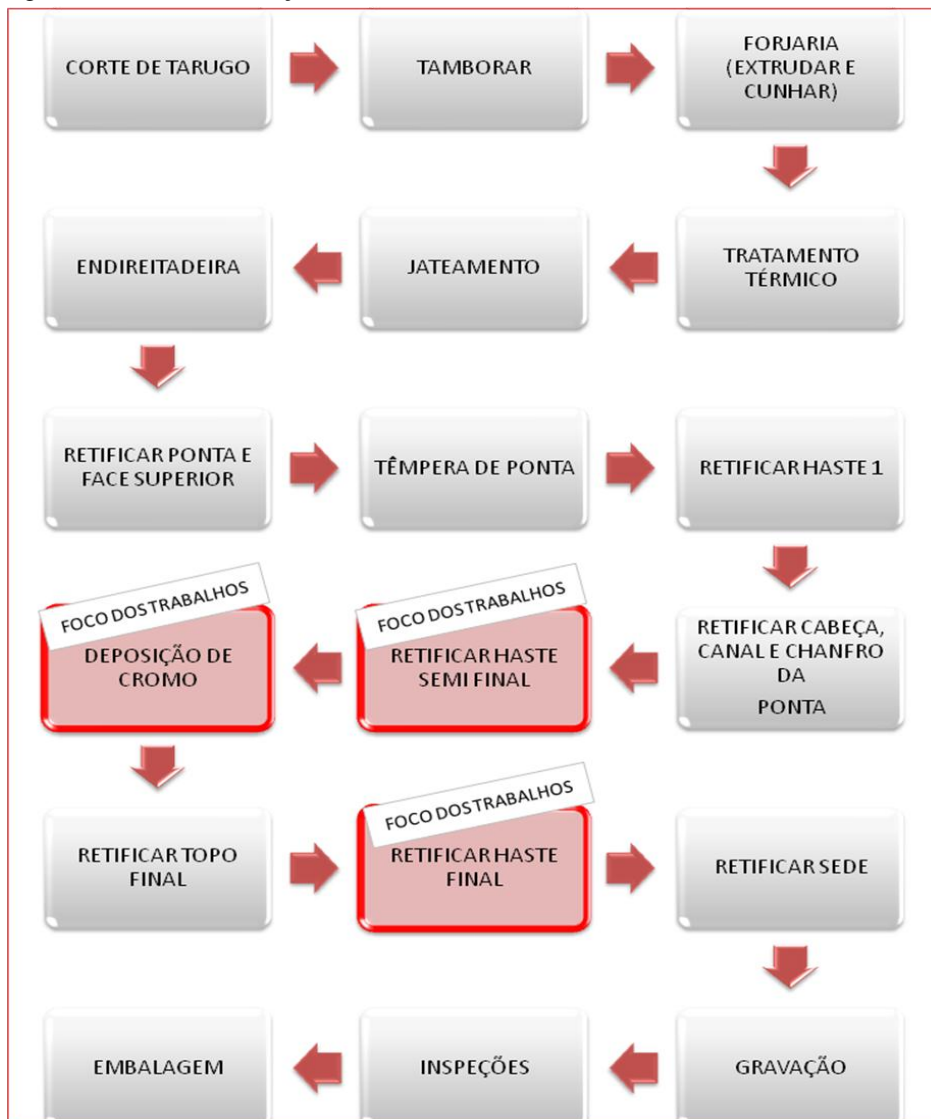
Fonte: O autor

3 FLUXO DO PROCESSO PRODUTIVO

Para a o nascimento de uma válvula de motor a combustão interna são necessárias algumas etapas de fabricação, dentre estas etapas, uma válvula passa por processos de forjaria, tratamentos térmicos, processos especiais, processos de torneamento e retificação, tratamentos de superfície, inspeções, embalagem e expedição.

O fluxo real de produção de uma válvula é muito extenso e complexo, tem inúmeras etapas de fabricação. Esta rota de fabricação é desenvolvida de acordo com cada cliente através de desenhos próprios, dos quais tem diversos modelos de válvula onde cada uma tem seu fluxo definido e é rigorosamente seguida pelos setores produtivos através de desenhos específicos para cada operação.

Figura 06: Rota de fabricação de um modelo de válvula.



Fonte: O autor

4 PROCESSOS PRODUTIVOS ENVOLVIDOS

O foco do trabalho será a melhoria do fluxo produtivo com geração de lucro. Os estudos e coletas de dados dos processos são relacionados a um modelo de válvula de um determinado cliente e serão estendidos aos demais tipos, pois as máquinas de produção são as mesmas e entende-se que não há uma grande diferença de retirada de material entre as válvulas.

Inicialmente, o trabalho será proposto para o processo de deposição de cromo duro, obviamente avaliando as interferências do processo anterior e posterior a este.









Os processos estudados e diretamente afetados, serão nesta sequência, as retíficas de haste semifinal que prepara a haste das válvulas para a deposição de cromo, a deposição de cromo em si e as retíficas de haste final que darão o acabamento final na haste cromada.

4.1 Retificação da haste antes da deposição de cromo (haste semifinal)

Antes de receber o banho de cromo, as válvulas passam por um processo de retificação de sua haste, que tem forma cilíndrica com vários tamanhos de diâmetro e de comprimento a ser retificado. A haste passa de um acabamento mais grosseiro e irregular para um mais polido, limpo e preciso, com melhor acabamento e aspecto visual. Este processo é denominado como retífica de haste semifinal.

Nesta etapa, preparando o material para uma perfeita deposição de cromo, são controladas as dimensões de diâmetro de sua haste, alguns erros de forma e posição do diâmetro como: paralelismo deste diâmetro em toda a sua extensão, circularidade de seu diâmetro, rugosidade superficial, enfim, todas as características que afetam o funcionamento e montagem do produto final no cliente e que estão especificadas em desenho operacional deste processo.

Figura 07: Simbologia técnica para erros de forma e posição.

<u>ERROS DE FORMA E POSIÇÃO</u>	
	Batimento ou Excentricidade
	Esquadro ou Perpendicularidade
	Circularidade ou Ovalização
	Paralelismo
	Cilindricidade
	Concentricidade
	Empeno ou Retilidade
	Batimento em toda superfície

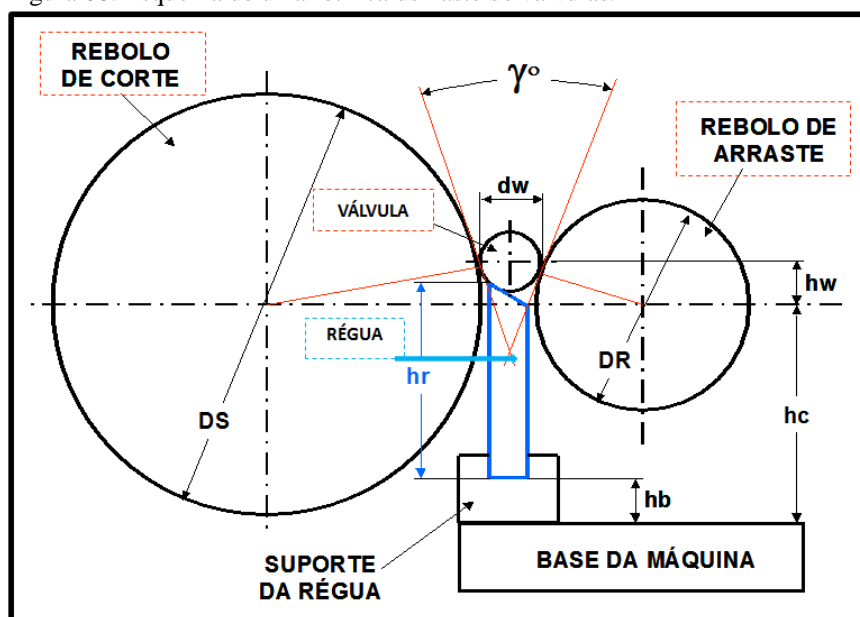
Fonte: O autor

Se esta operação não for feita corretamente, seguindo todas as especificações técnicas, certamente comprometerá todos os processos subsequentes inclusive o processo de deposição de cromo, podendo até afetar o cliente final.

O processo de retificar haste semifinal consiste em posicionar automaticamente uma válvula por vez sobre um apoio (régua de apoio ou lâmina de apoio) que fica entre rebolos, sendo que um desses rebolos tem a função de apoiar e girar a peça (rebolo de arraste) e o outro é uma ferramenta de corte abrasivo (rebolo de corte) para remover material da haste da válvula.

O rebolo de arraste, que gira á aproximadamente 30 rotações por minuto (RPM), avançará e apoiará a haste da válvula auxiliando-a em seu giro, enquanto que um rebolo de corte abrasivo girando em torno de 2000 RPM, automaticamente avançará sobre a válvula, que também estará girando a uma velocidade menor, para assim remover uma quantidade de material previamente determinada pelos parâmetros operacionais da máquina.

Figura 08: Esquema de uma retífica de haste de válvulas.



Fonte: O autor.

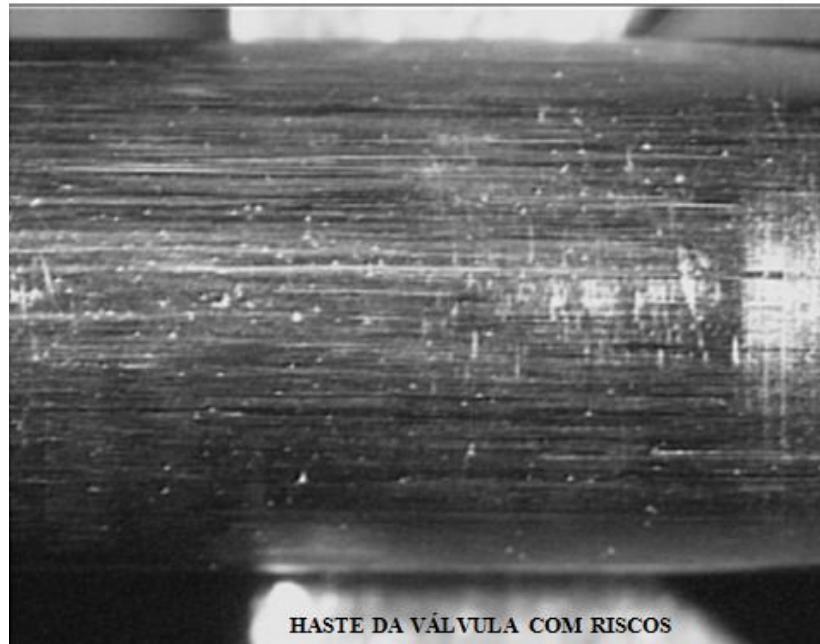
4.2 Processo de eletrodeposição de cromo duro

Atualmente, a eletrodeposição é o principal método de aplicação de cromo e este tratamento é obtido através de banhos eletroquímicos contendo ácido crômico e catalisadores, com frequente utilização de ácido sulfúrico e também podendo ser utilizado o ácido fluorsilícico. O banho geralmente contém 220 g/L a 250 g/L de ácido crômico e 2,5 g/L a 4,0 g/L de ácido sulfúrico, sendo um parâmetro de suma importância para o adequado desempenho do banho, que deve ser mantido em torno de 100:1. O cromo apresenta uma excelente resistência à corrosão, pois ele forma uma fina camada protetora de óxido de cromo na sua superfície além de ser um metal que apresenta alta resistência ao desgaste e baixo coeficiente de fricção. Tem sido largamente utilizado para revestir metais como, por exemplo, o aço com o objetivo de conferir à superfície dos mesmos as suas propriedades (PANOSSIAN, 1997).

Uma das principais propriedades do cromo duro é a alta dureza, com valores entre 850 e 1200 Vickers que são equivalentes a 70 Rockwell C ou 800 Brinell que estão bem ligados à resistência ao desgaste, à corrosão e ao atrito, sendo todas elas muito importantes para o trabalho exercido pela haste das válvulas de admissão e escapamento dentro do motor (OLIVEIRA 2010).

Os revestimentos de cromo duro resistentes ao desgaste possuem aproximadamente uma camada de 0,5 mm de espessura (RAMANATHAN, [1988?]).

Figura 9: Haste de uma válvula com riscos profundos.

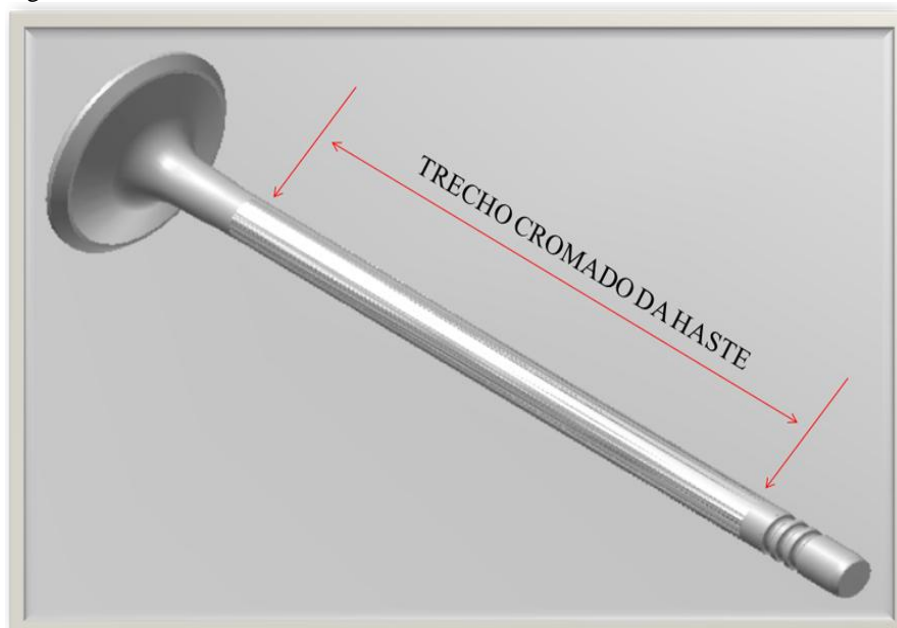


Fonte: O autor

4.2.1 Eletrodeposição de cromo duro em válvulas de motor

Alguns clientes exigem em seus desenhos que seus produtos tenham determinados tratamentos de superfície e a deposição de cromo é um desses tratamentos. A aplicação de cromo em válvulas automotivas serve para aumentar a durabilidade e a resistência ao desgaste de sua haste dentro das guias do motor.

Figura 10: Trecho cromado de uma haste de válvula.



Fonte: O autor

O processo de deposição de cromo é aplicado na haste das válvulas com uma camada estipulada de acordo com cada desenho operacional específico e esta haste é previamente preparada para esta etapa.

O setor onde este processo é realizado tem subprocessos que fazem parte do preparo das peças para receberem a camada de cromo propriamente dita. O setor é totalmente dependente da ação do homem tanto para comando dos parâmetros de trabalho como para a alimentação do processo para a execução das tarefas exigidas.

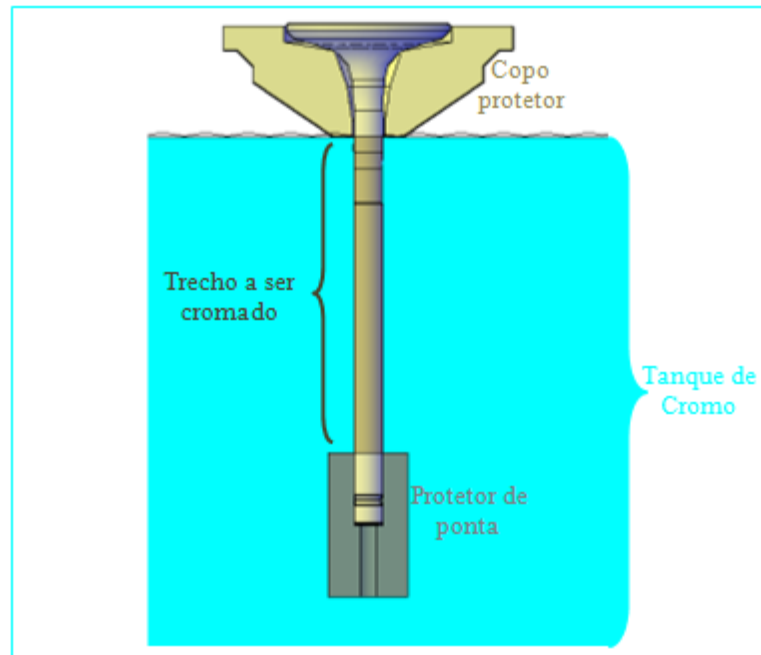
No setor, as válvulas são transportadas em bandejas com 98 peças por vez nas talhas e pontes rolantes, comandadas pelos operadores através de controles remotos, já o abastecimento e o descarregamento das peças nas bandejas são feitos manualmente, uma por uma, também pelos profissionais do setor.

Então, as válvulas a serem cromadas chegam ao setor em tabuleiros e os operadores são responsáveis em receber e carregar as bandejas. Basicamente este processo é composto pelas seguintes etapas: pré-lavagem para retirada das impurezas dos processos anteriores, carregamento das peças, retirar o excesso de óleo através de banhos especiais, primeira lavagem com água, ativação do cromo (pré-cromo ou reverso), deposição de cromo, segunda limpeza com água para retirar o excesso de cromo e descarregamento das peças cromadas nos respectivos tabuleiros e por fim as peças são oleadas para a proteção contra oxidação.

A função do banho de limpeza além de proteção das válvulas é remover particulados, resíduos contaminantes, óleo e graxas que se acumulam nas peças durante os processos de usinagem, preparando-as para o processo de deposição de cromo, para que haja a perfeita aderência do produto (PANOSSIAN, 1997).

A etapa inicial do processo de deposição conhecida como pré-cromo ou cromo reverso, é muito importante, pois realiza uma função extremamente necessária a qualidade da deposição do material que é aumentar a rugosidade para garantir a aderência do produto, através da eliminação de películas de contaminantes que ficam na superfície do material a ser cromado, além de preparar o produto deixando-o com aspecto mais áspero e poroso (PANOSSIAN, 1997).

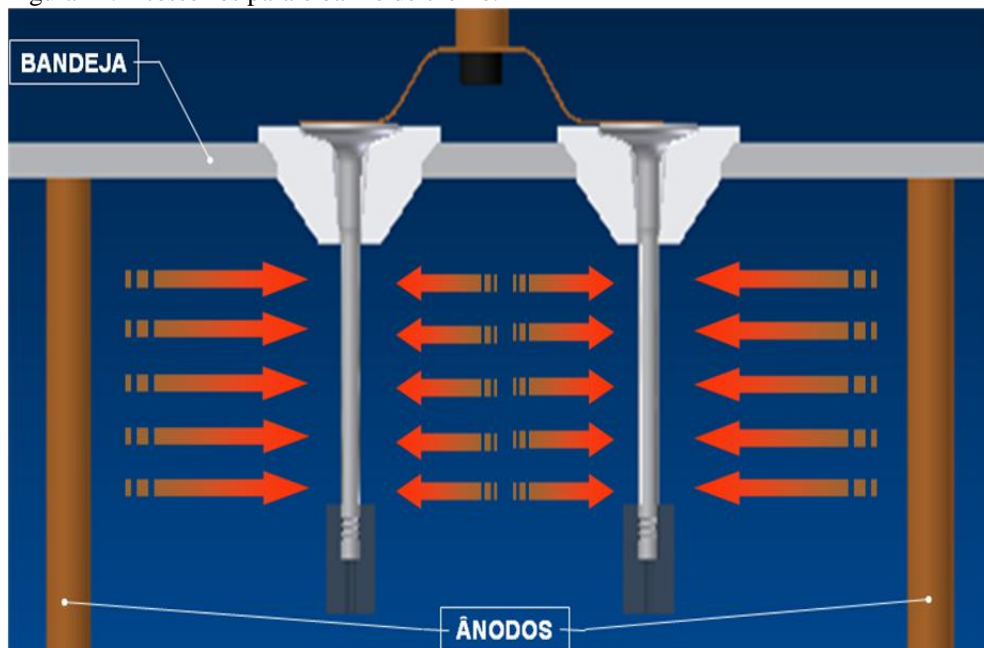
Figura 11: Válvula posicionada dentro do tanque de cromo.



Fonte: O autor

Na etapa de deposição do cromo em si, as bandejas são carregadas com 98 válvulas e são transportadas para o tanque de cromo, sendo fixadas na estrutura da parte superior que é o polo negativo do cátodo, onde somente as hastes das mesmas são mergulhadas nas soluções de cromo em que os parâmetros já estão pré-definidos de acordo com o tipo de válvula.

Figura 12: Acessórios para o banho de cromo.

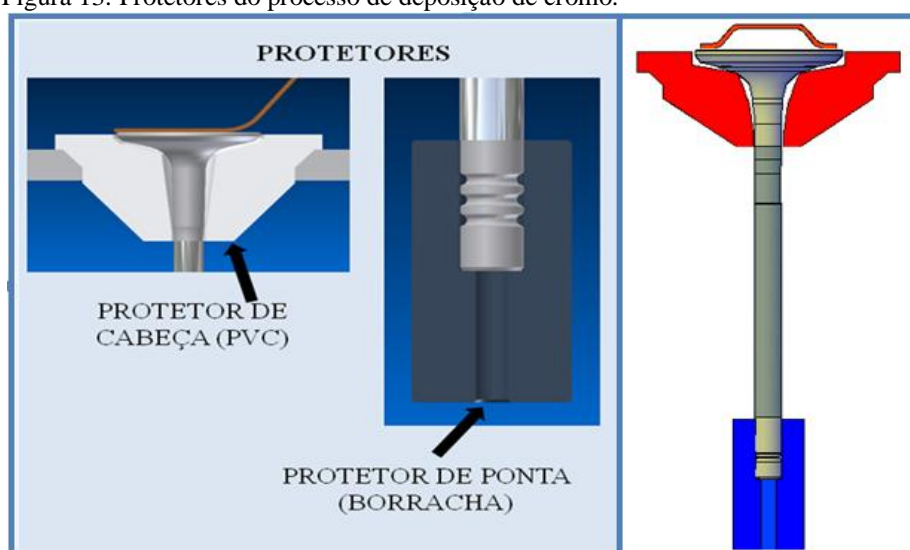


Fonte: O autor

No polo positivo são fixados os ânodos que devem acompanhar a geometria da superfície a ser cromada de modo que a distância até a peça seja sempre constante para garantir a uniformidade da deposição que se inicia quando, mediante a passagem de corrente contínua, é promovida a eletrólise da solução (PANOSSIAN, 1997).

As partes das válvulas que não deverão ser cromadas são protegidas seguindo as especificações dos desenhos que geralmente apontam o tamanho da camada de cromo aplicada, o diâmetro cromado, o trecho cromado e outras características relevantes. Estas proteções são copos de *nylon* para a cabeça e protetores de borracha para a ponta da haste.

Figura 13: Protetores do processo de deposição de cromo.



Fonte: O autor

A segunda limpeza com água, já na saída do processo, tem o objetivo remover o excesso de cromo que as válvulas carregam quando saem dos banhos. Após a limpeza, as peças cromadas são retiradas manualmente das bandejas, colocadas em tabuleiros e posteriormente são oleadas para evitar a oxidação.

4.2.2 Fluxos dentro do setor de cromação

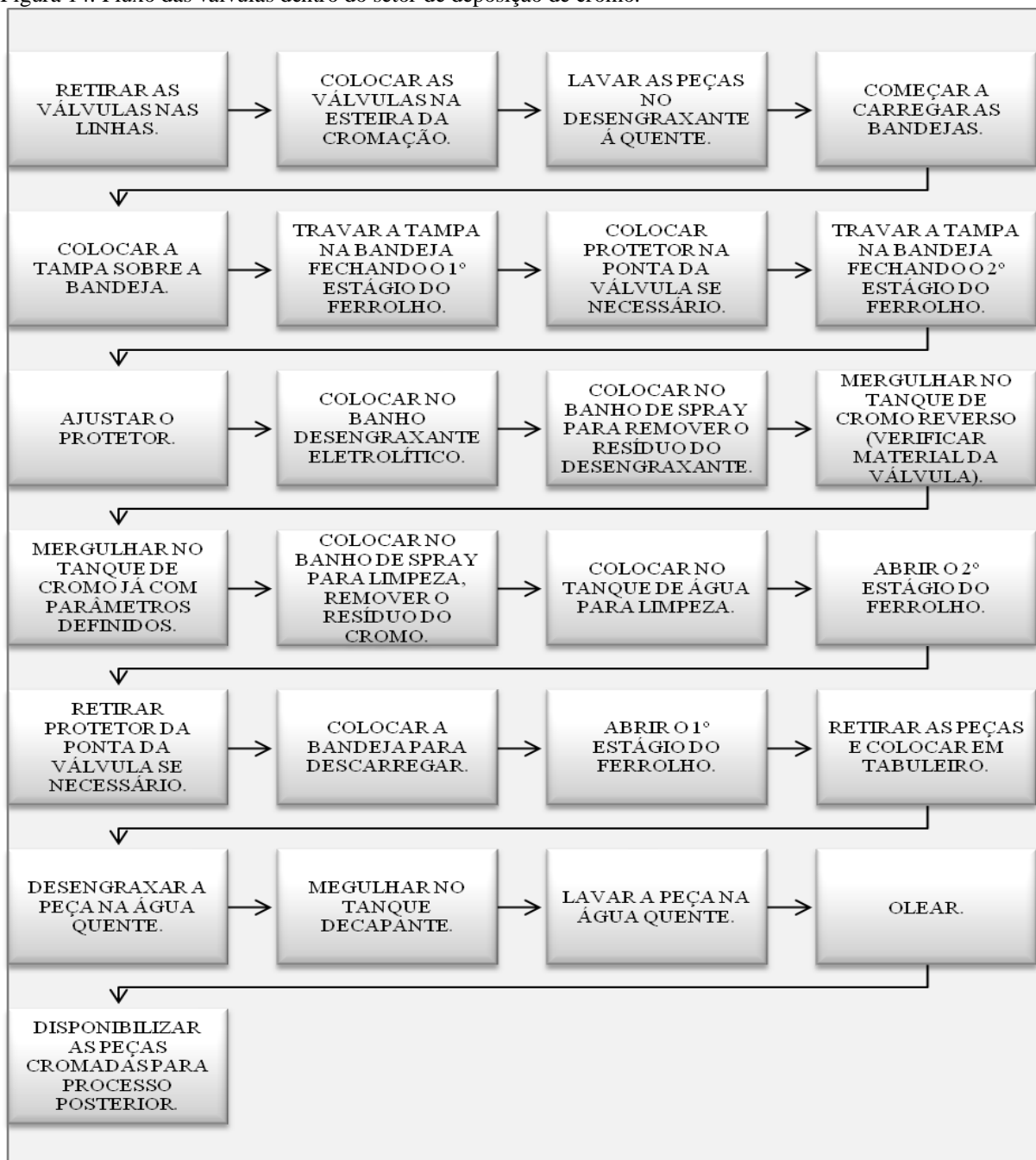
Existem diversos fluxos de trabalhos para um setor de deposição de cromo, estes são configurados de acordo com o produto a ser cromado, levando em consideração seu tamanho, forma geométrica, espaço físico, necessidade de mercado, produção em massa, produção exclusiva, etc.

A rota de deposição de cromo pode variar de acordo com o fabricante de válvula, mas o princípio básico é o mesmo, ou seja, limpeza, pré-cromo, deposição de cromo, limpeza e

peças prontas para operações posteriores. Os equipamentos também são diferenciais competitivos, geralmente a maior modernidade está voltada para o volume maior, para contrabalancear os investimentos relacionados à produção.

Dentro do setor de deposição de cromo, as válvulas seguem uma sequência, um fluxo de trabalho. Este fluxo está descrito passo a passo na figura 14, que em particular forma uma produção em linha, com vários tipos de válvulas entrando sequencialmente durante os dias de trabalho.

Figura 14: Fluxo das válvulas dentro do setor de deposição de cromo.



Fonte: O autor

4.3 Retificação da haste após a deposição de cromo (haste final)

Posteriormente, as válvulas cromadas seguem o fluxo produtivo, indo para mais uma etapa de retificação da haste, designada como retífica de haste final. Esta operação é semelhante à retífica de haste semifinal, com o mesmo princípio de funcionamento, inclusive podendo até ser feita na mesma máquina se não houvesse um fluxo á ser seguido, porém a ferramenta de corte ou rebolo de corte tem maior precisão, é menos agressivo e a remoção de material é menor, na ordem de milésimos de milímetros.

O excesso de cromo e as imperfeições geradas na deposição são totalmente removidos, deixando ainda uma pequena camada de cromo que está prevista em desenho operacional do produto, dando um aspecto visual mais brilhante, liso e polido a válvula, mantendo-a dentro dos padrões de rugosidade estipulados em desenho.

Figura 15: Posicionamento da válvula entre os rebolos na retífica.



Fonte: O autor

5 METODOLOGIA SEIS SIGMA

O tema Seis Sigma é bastante abrangente e muito famoso no mundo dos negócios. A partir da década de oitenta ficou muito conhecido pelo seu sucesso com grandes empresas. É um processo estruturado, disciplinado baseado em dados para a melhoria do desempenho dos negócios, aplicando-se a todas as suas funções e não apenas à manufatura. Sua aplicação irá criar uma vantagem competitiva e uma mentalidade de melhoria contínua, aumentando o nível de satisfação do cliente e de desenvolvimento da empresa e do funcionário.

O Seis Sigma é uma abordagem quantitativa que injeta uma eficácia maior na empresa. Este método foi criado em 1980 pela Motorola. Depois então, ao longo da década de 1990, empresas como a Allied Signal e a General Eletric contribuíram para tornar o Seis Sigma o método de melhoria de qualidade mais popular da história. (ECKES, 2001, p. 13).

O programa Seis Sigma foi batizado com o nome da letra grega sigma (σ), que representa o desvio padrão em notação estatística, já evidenciando a grande ênfase na utilização destas ferramentas. O uso sistemático de tais ferramentas nos projetos tem como objetivo reduzir a variabilidade, até a obtenção da difícil meta de 3,4 defeitos por milhão de peças produzidas (CARVALHO et al, 2005).

O princípio fundamental do programa Seis Sigma é reduzir continuamente a variação nos processos, e desta maneira eliminar os defeitos ou falhas nos produtos e serviços (LINDERMAN et al., 2003).

Segundo Einset e Marzano (2002), estima-se que, em média, as indústrias operam em um nível de qualidade Três Sigma, e que isto custa aproximadamente 20% do faturamento em desperdícios como inspeções, retrabalhos, testes, rejeitos, perdas, desgaste da imagem e por fim, até mesmo perda de clientes. Com a metodologia Seis Sigma essas despesas são minimizadas, já que a estimativa de analistas de mercado é de que, em pouco tempo, as organizações que não estiverem com um nível de qualidade Seis Sigma estarão fora do mercado competitivo e ter nível Seis Sigma em suas operações significa estar entre a classe mundial. O foco dos projetos Seis Sigma nunca são os resultados financeiros, porém aplicando-se a metodologia sempre se tem retorno.

Quadro 01: Tradução do nível da qualidade para a linguagem financeira.

NÍVEL DE QUALIDADE	DEFEITOS POR MILHÃO (PPM)	CUSTO DA NÃO QUALIDADE (% do faturamento da empresa)
Dois Sigma	308.537	Não se aplica
Três Sigma	66.807	25 a 40%
Quatro Sigma	6.210	15 a 25%
Cinco Sigma	233	5 a 15%
Seis Sigma	3,4	< 1 %

Fonte: Werkema (2002).

A implantação do Seis Sigma gera uma mudança profunda na organização, pois é uma estratégia de negócio e segundo Rotondaro et al (2002, p. 18), “Seis Sigma é uma filosofia de trabalho para alcançar, maximizar e manter o sucesso comercial, por meio da compreensão das necessidades do cliente (internas e externas). É um conceito que se concentra no cliente e no produto”.

O Seis Sigma parece não envolver nada de novo: são usadas ferramentas estatísticas conhecidas há anos na busca da eliminação de defeitos em todos os processos da empresa. No entanto, apesar de as ferramentas do Seis Sigma não serem novidade, sua abordagem e a forma de implementação são únicas e muito poderosas, o que explica o sucesso do programa. (WERKEMA, 2002, p. 21).

“No Brasil, o Seis Sigma foi disseminado a partir de 1997, quando o Grupo Brasmotor introduziu o programa em suas atividades e apurou em 1999 ganhos de R\$ 20 milhões.” (ANDRIETTA; MIGUEL, 2007, p. 203 apud WERKEMA, 2002, p. 19).

Para Linderman et al (2003), um processo deve ter como meta o nível Seis Sigma, somente se for importante para o cliente e o investimento não seja tão alto a ponto de economicamente ser inviável para a organização. É fato que melhorar do nível 2 ou 3 para 4 é mais fácil do que melhorar do nível 4 para 5 ou 6.

Os textos, artigos, trabalhos e livros sobre Seis Sigmas são enfáticos em dizer que é muito importante ter pessoas bem preparadas e treinadas para a sua rigorosa implantação, sendo altamente recomendado que se comece pela alta administração das empresas, pois todo investimento e toda a iniciativa da implantação deve ser vista como exemplo pelos demais profissionais, então a liderança de um negócio tem um compromisso de atrair confiança principalmente em seus liderados e segundo Eckes (2001, p. 28) “as organizações que são consideradas bem sucedidas em seus esforços para a qualidade possuem líderes vibrantes, participantes, bem informados e, sobretudo, pessoalmente envolvidos no processo”.

5.1 Ferramentas

Conforme Pande, Neuman e Cavanagh (2001), para que uma empresa trabalhe com alto desempenho é necessário que se forme uma equipe de trabalho muito comprometida e competente, devendo conter membros muito bem treinados, com responsabilidades e papéis muito bem definidos.

As principais vantagens do Seis Sigma são algumas características únicas e muito poderosas de sua abordagem e forma de implementação com o elevado comprometimento da alta administração e a infraestrutura criada na empresa, com papéis bem definidos para os patrocinadores e especialistas do Seis Sigma como os *Sponsors, Champions, Master Black Belts, Black Belts, Green Belts, Yellow Belts e White Belts* (WERKEMA, 2002).

Quadro 02: Exemplos de equipes Seis Sigma.

Papel genérico	Belts ou outros títulos.
Conselho de liderança	Conselho da qualidade, comitê de gestão Seis Sigma, comitê gerencial da empresa.
Patrocinador	<i>Champion</i> , proprietário do processo.
Líder de implementação	Diretor Seis Sigma, líder da qualidade, <i>master black belt</i> .
<i>Coach</i> (Treinador)	<i>Master black belt, black belt</i> .
Líder de equipe	<i>Black belt, green belt</i> .
Membro de equipe	<i>Green belt, membro de equipe</i> .
Proprietário de processo	<i>Champion, green belt</i> .

Fonte: Pande, Neuman e Cavanagh (2001).

O programa visa ao aperfeiçoamento do processo por meio da seleção correta dos processos que possam ser melhorados e das pessoas a serem treinadas para obter os resultados. Para a implantação do Seis Sigma, aplica-se um método bastante conhecido, que utiliza as iniciais das seguintes palavras em inglês: *Define, Measure, Analyze, Improve, Control*, (DMAIC), que prevê uma sequência lógica de fases definidas.

A utilização deste processo é fundamental e caminha junto ao Seis Sigma, pois a fase Definir (*Define*) busca identificar necessidade e requisitos dos clientes e associá-los aos objetivos estratégicos da empresa, para então se definir processos críticos que deverão definir projetos a serem realizados, como oportunidade de atender melhor o cliente ou economia que pode beneficiar a empresa.

A fase Medir (*Measure*) é a aplicação de ferramentas estatísticas para traçar estado atual dos processos e se estabelecer metas de aprimoramento. A etapa de Analisar (*Analyze*) faz uso de ferramentas estatísticas e não estatísticas para identificação da causa raiz do problema definido.

A etapa Melhorar (*Improve*) faz a utilização de ferramentas estatística para melhoria do processo. Ações para correção do problema alvo e a fase Controlar (*Control*) é a aplicação de ferramentas com o intuito de manter as melhorias alcançadas e torná-las padrão (ANÁLISE... 2006, p.04).

Diversas ferramentas são utilizadas de forma integrada às fases do DMAIC, originando um método sistemático, disciplinado, baseado em dados e no uso de ferramentas estatísticas para se atingir os resultados esperados pela organização (CARVALHO et al, 2005).

Segundo Pande (2002), a metodologia DMAIC se baseia no ciclo *Plan, do, check, action* (PDCA). É muito usada para melhorias em processos e projetos, conforme quadro 3.

Quadro 03: Visão geral do modelo DMAIC.

Processos de Melhoria Seis Sigma		
	Melhoria de Processo	Projeto/Reprojeto de Processo
1. Definir	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Identifique o problema ➤ Defina requisitos ➤ Estabeleça meta 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Identifique problemas específicos ou amplos ➤ Defina objetivo / Mude a visão ➤ Esclareça o escopo e as exigências do cliente
2. Medir	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Valide problema / processo ➤ Redefina problema / Objetivo ➤ Meça passos-chave / entradas 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Meça desempenho em relação às exigências ➤ Colete dados sobre eficiência do processo
3. Analisar	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Desenvolva hipóteses causais ➤ Identifique causas-raiz “poucas e vitais” ➤ Valide hipóteses 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Identifique “melhores práticas” ➤ Avalie projeto do processo <ul style="list-style-type: none"> - com / sem valor agregado - Gargalo de processo - Caminhos alternativos ➤ Redefina exigências
4. Melhorar	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Desenvolva ideias para remover causas-raiz ➤ Teste soluções ➤ Padronize solução / meça resultados 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Projete novo processo <ul style="list-style-type: none"> - Desafie suposições - Aplique Criatividade - Princípios de fluxo de trabalho ➤ Programe novos processos
5. Controlar	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Estabeleça medidas-padrão para manter desempenho ➤ Corrija problema quando necessário 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Estabeleça medidas e revisões para manter desempenho ➤ Corrija problema quando necessário.

6 PLANO DE MELHORIA

As melhorias não caem do céu e se nada for feito, nada vai melhorar. As palavras chave para se obter uma melhoria são mudança e conhecimento. Então o objetivo é como obter conhecimento e fazer mudanças que resultem em melhorias. Há infinitos caminhos possíveis para isso. É importante para as pessoas numa organização terem um mesmo roteiro para as melhorias e o plano de melhorias exerce essa função baseando-se no modelo DMAIC.

Este modelo funciona como um guia para o uso de ferramentas e métodos de aplicação específica. A existência desta estrutura trará conforto na realização de mudanças numa organização, e ajudará as pessoas a saberem o que fazer na seqüência. Como objetivos de melhoria, podemos ter as seguintes situações: reduzir ou eliminar problemas de qualidade, reduzir custos mantendo ou melhorando a qualidade e aumentar a expectativa do cliente para alavancar a demanda.

6.1 Estudo de caso

6.1.1 Definir

O trabalho será voltado para reduzir os custos, melhorar a produtividade e consequentemente diminuir o impacto ambiental de um processo produtivo de deposição de cromo de válvulas de motores a combustão interna com possibilidades de melhorias em todo o fluxo produtivo. Também será avaliada a possibilidade de substituição da operação de retificação após cromo pelo processo de polimento da haste cromada.

A equipe Seis Sigma da unidade foi oficialmente definida em reunião específica, entre os seus membros foram definidas as responsabilidades e comprometimento, foram estabelecidas as regras e as metas para cada etapa. A ferramenta chave desta fase são as iniciais das palavras em inglês para *Supplier*, *Input*, *Process*, *Output*, *Customer* (SIPOC), que é muito importante para a identificação dos passos do processo e a definição de fronteiras.

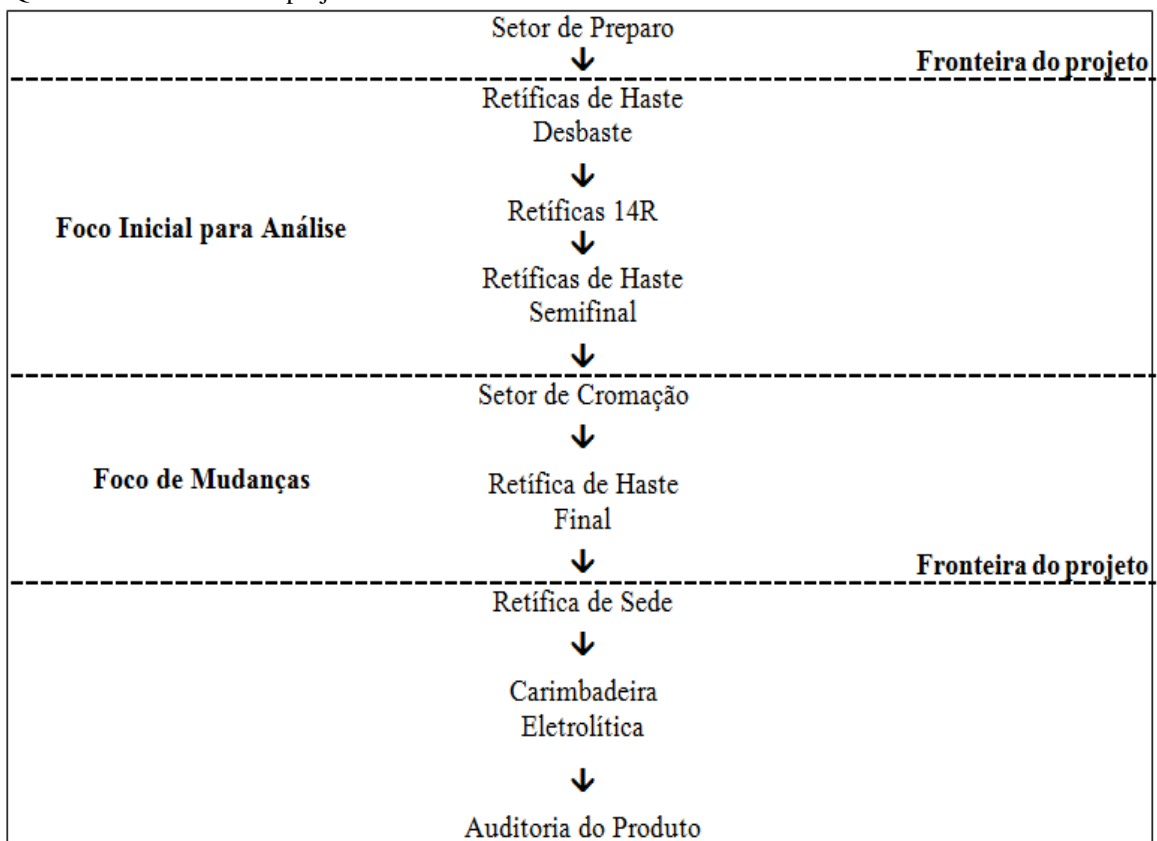
Quadro 04: SIPOC do processo.

Supplier	Input	Process	Output	Customer
Setor de Preparo	Válvulas Semi Preparadas	Retíficas de haste Desbaste	Válvulas com as Hastes Acabadas	Auditoria do Produto
		Retíficas de Haste Semifinal		
		Setor de Cromação		
		Retíficas de haste final		

Fonte: O autor

Os processos acima descritos estão associados a operações que agregam valor às hastes das válvulas e todo o processo de melhoria está previamente definido para as linhas de acabamento, pois estas são dedicadas à fabricação de válvulas do cliente usado como teste piloto, e no caso do projeto, as válvulas em estudo são deste respectivo cliente. Abaixo está apresentado um fluxograma do processo atual para melhor analisarmos as etapas que agregam valor a haste da válvula nas fronteiras do projeto.

Quadro 05: Fronteiras do projeto.



Fonte: O autor

Outra ferramenta que auxilia na fase de definição do projeto é o *Voice of customer* (VOC) ou voz do cliente. É muito importante para podermos identificar as necessidades e requisitos exigidos pelos clientes internos e externos.

Para obter melhores resultados nesta importante fase do projeto, serão utilizadas mais duas ferramentas de análise que são respectivamente a árvore *Critical to quality* (CTQ), árvore CTQ, crítico para a qualidade e as enquetes, que são utilizadas para melhor analisar e entender as necessidades dos clientes. Estas duas ferramentas tiveram sua elaboração analisada pelo grupo de trabalho Seis Sigma. No quadro 6 temos as questões que foram incluídas nas enquetes de trabalho.

Quadro 06: Questionário CTQ.

Críticos para a Qualidade (CTQ)
1) Qual é o seu fornecedor (operação anterior que tem influência na haste)?
2) Qual é a frequência dos defeitos mais graves que vêm do seu fornecedor e quais são?
3) O que o seu fornecedor não te fornece e que você acha que ele deveria te fornecer?
4) Se o seu cliente te fornecer peças dentro dos limites estabelecidos pelo desenho operacional dele, ele atende completamente às suas expectativas? Sim () Não ()
5) Quais são as principais características (dimensões) do seu produto?
6) O que você deve atender para enviar um produto com boa qualidade e como você tem acesso a estas informações?
7) Qual é o seu cliente (próxima operação relacionada a haste) ?
8) Quais são as principais reclamações de seu cliente em relação ao seu produto?
9) Qual é o seu principal problema operacional (dificuldade na produção)?

Fonte: O autor

Este questionário foi distribuído para os profissionais responsáveis dos processos que estarão envolvidos no projeto Seis Sigma e as respostas obtidas farão parte das análises iniciais para finalmente obter algumas conclusões importantes. Algumas das respostas para estes processos serão apresentadas na sequência:

- a) Todos os profissionais de máquina têm conhecimento de seus fornecedores e clientes;
- b) As principais dimensões de seus produtos são o diâmetro da haste, o comprimento retificado paralelo, ovalização, paralelismo, rugosidade da haste, trecho cromado e espessura da camada de cromo;
- c) Todos os profissionais afirmam que a maior reclamação de seu cliente é em relação ao diâmetro da haste inadequado das válvulas;
- d) Todos os profissionais afirmam que é necessária uma manutenção preventiva mais efetiva para poder aumentar a confiabilidade de suas máquinas e conseqüentemente a qualidade de seu produto;
- e) O principal problema operacional está relacionado às máquinas de produção;
- f) O principal defeito que lhes são fornecidos são válvulas com diâmetro da haste fora do especificado apresentando buracos, altas ovalizações e com paralelismo inadequado;
- g) Se todos receberem peças de acordo com o especificado em seu desenho operacional as suas expectativas serão atendidas;
- h) Todos afirmam que se atenderem às especificações de seu desenho operacional, as necessidades de seus clientes serão atendidas;
- i) Todos afirmam que se no seu setor houver definições de banhos específicos para cada cliente o seu processo teria um melhor desempenho;
- j) Os principais problemas operacionais de seu processo estão relacionados à amperagem dos banhos de cromação.

Nesta fase, algumas diretrizes serão propostas e partindo da análise destas enquetes a equipe conclui que em qualquer operação envolvida nos processos de estudo, os clientes seriam totalmente atendidos se os seus fornecedores seguissem as especificações de seus desenhos operacionais. Assim, os índices de CTQ dos clientes internos serão definidos de acordo com estes desenhos operacionais dos processos.

As informações relacionadas às máquinas dos processos e especificações de certos tipos de banhos do setor de deposição de cromo para válvulas específicas serão posteriormente analisadas de acordo com o andamento do trabalho. O processo relacionado a retificar haste final terá o seu desempenho avaliado mesmo com grande chance de ser eliminado com o término da implementação do projeto.

Para guiar os estudos, são levantados os objetivos do projeto conforme o quadro 07, e estes, serão explícitos com o intuito de estimular o desempenho da equipe envolvida.

Quadro 07: Objetivos do projeto.

Foco do projeto	Parâmetros	Atual	Meta
Operação de deposição de cromo duro na haste.	Tempo de operação por bandeja = 98 pçs	98 Válvulas/16 min	98 Válvulas/05 min
	Camada de cromo	Especificado = de 3 á 20 μm	De 4 á 7 μm
	Consumo de cromo	300 kg/mês	150 kg/mês
	Geração de resíduos	235 kg/mês	115 kg/mês
	Peças por Horas trabalhadas	350 pçs/h	1100 pçs/h
Operação de retificar haste final antes do cromo	Ciclo de usinagem por válvula produzida	11 s / Válvula	5 s / Válvula
	Consumo de ferramental	US\$ 12.000,00	US\$ 6.000,00
	Peças por Horas trabalhadas	350 pçs/h	500 pçs/h
Operação de polir haste após Cromação	Ciclo de polimento por válvula produzida	0 s / Válvula	4 s / Válvula
Retífica de haste após cromo	Retirar da linha	8 s / Válvula	0 s / Válvula
Funcionários na linha	Reduzir	5	3
Custos de todo o processo	Custo em US\$	262.000,00	100.000,00/ano

Fonte: O autor

Segundo Campos (2004, p.3), “aumentar a produtividade é produzir cada vez mais e/ou melhor, com cada vez menos. Pode-se, pois, representar a produtividade como o quociente entre o que a empresa produz (“*OUTPUT*”) e o que ela consome (“*INPUT*”).

Para aumentar o desempenho do processo, é necessário reduzir a variação e os defeitos, tornando-o transparente e gerenciável, permitindo tomada de decisões baseadas em fatos e estabelecendo o foco no cliente.

Durante muitos anos estipulou-se o conceito de que, quanto mais material aplicado a um determinado produto, melhor seria, ou seja, neste caso, quanto mais cromo depositado, menos probabilidade de problemas e menos retrabalhos. Como a deposição de cromo em excesso teoricamente garantia a qualidade das peças, a operação de retificar haste antes da deposição também não seguia os padrões pré-estabelecidos já que qualquer problema seria mascarado pela espessa camada de cromo depositada na haste das válvulas e que, posteriormente, seriam removidos por uma última retificação em sua haste, que era considerada corretiva.

Os tempos eram outros, a competitividade não era tão acirrada, os padrões de qualidade e de sobrevivência no mercado eram outros, diferentes dos atuais, enfim, a gestão dos negócios era focada para os fins sem se preocupar com os meios.

No processo de deposição de cromo eram adicionados à haste das válvulas mais cromo do que o exigido pelo cliente e este excesso de cromo era removido na operação posterior que é a retífica de haste final, deixando apenas uma pequena camada. Todos estes processos eram amparados por desenhos operacionais.

Este é um típico paradigma sobre mudança de cultura, pois se trata de uma grande controvérsia, já que agregar materiais e depois remover é totalmente contra qualquer princípio econômico dentro de qualquer negócio.

Baseados em dados envolvidos em todo o processo serão avaliadas três etapas produtivas que terão influência direta neste trabalho, e posteriormente serão apresentadas as propostas de melhorias.

Medir o quanto estes processos são capazes é um bom começo para a identificação de alguns problemas. O índice de capacidade de cada processo será um fator importantíssimo para guiar os estudos.

6.2 Avaliação da operação de retificar haste semifinal

6.2.1 Medições dos processos

Esta operação antecede a deposição de cromo, então, para uma perfeita aplicação de camada e boa uniformidade na dimensão do diâmetro da haste das válvulas evitando problemas de falta de material a ser removido na haste, estas devem ser retificadas seguindo as orientações de um desenho operacional específico, já que a má qualidade neste ponto afetaria a deposição de cromo.

6.2.1.1 Estudo da capacidade

A análise de capacidade de um processo é uma técnica estatística que compara a variabilidade do processo com as especificações correspondentes, baseia-se num grupo de índices, chamados de índices de capacidade e desempenho do processo, é uma medida da relação numérica entre os dois conceitos (SAMOHYL, 2009).

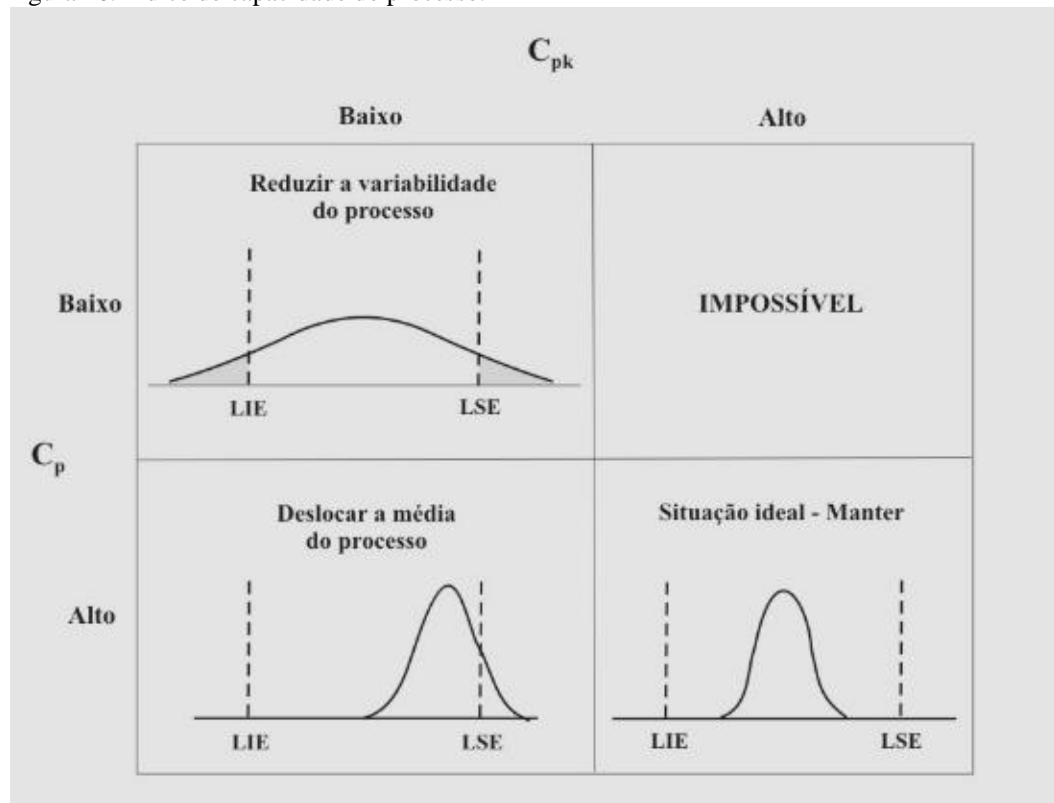
Então, antes que a variação de um parâmetro possa ser reduzida, é preciso medi-la, daí, dois indicadores, Capacidade do processo (C_p) e Capacidade do processo multiplicado por fator de correção K junto com a centralização do processo (C_{pk}), foram incorporados ao dia a dia do piso de fábrica.

Para Bhote (1992) o índice C_p , afeta diretamente as decisões de gerenciamento da manutenção junto às condições das máquinas, desconsiderando a centralização do processo (profissional centraliza o processo), leva em consideração as tolerância do processo LIC e LSC (limite inferior e limite superior de controle), conhecidos também como LIE e LSE (limite inferior e limite superior de engenharia), e quanto maior o C_p , menos provável que o processo esteja fora das especificações.

O índice C_{pk} : afeta diretamente as decisões de gerenciamento da produção junto ao desempenho operacional, considera a centralização do processo onde o profissional de máquina é o elemento chave considerando as tolerâncias do processo LSC e LIC e quanto maior o C_{pk} , menos provável que o processo produza peças fora do especificado.

Quando o C_{pk} estiver bom, o C_p também vai estar. Quando o C_p estiver bom o C_{pk} pode ser bom ou não, depende do profissional de máquina para centralizar o processo. Segundo Navidi (2012), as avaliações dos processos atualmente consideram que este é capaz quando C_p e C_{pk} são maiores que 1,33 e é incapaz quando são menores que 1,33.

Figura 16: Índice de capacidade do processo.

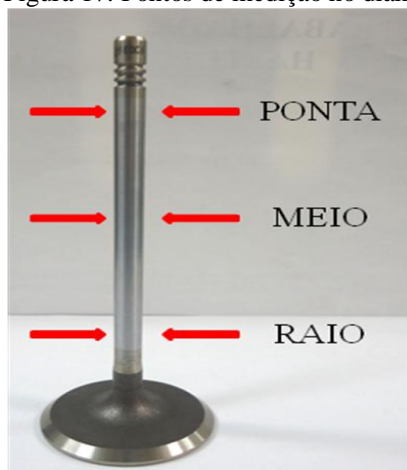


Fonte: (NAVIDI, 2012)

6.2.1.2 Capacidade técnica da retífica de haste semifinal

Para verificar a capacidade deste processo, foram dimensionadas amostras de 150 peças cada, durante alguns meses de trabalho, onde o diâmetro da haste foi avaliado em três pontos de seu comprimento sendo: próximo ao raio, meio e na ponta das válvulas, conforme figura 17.

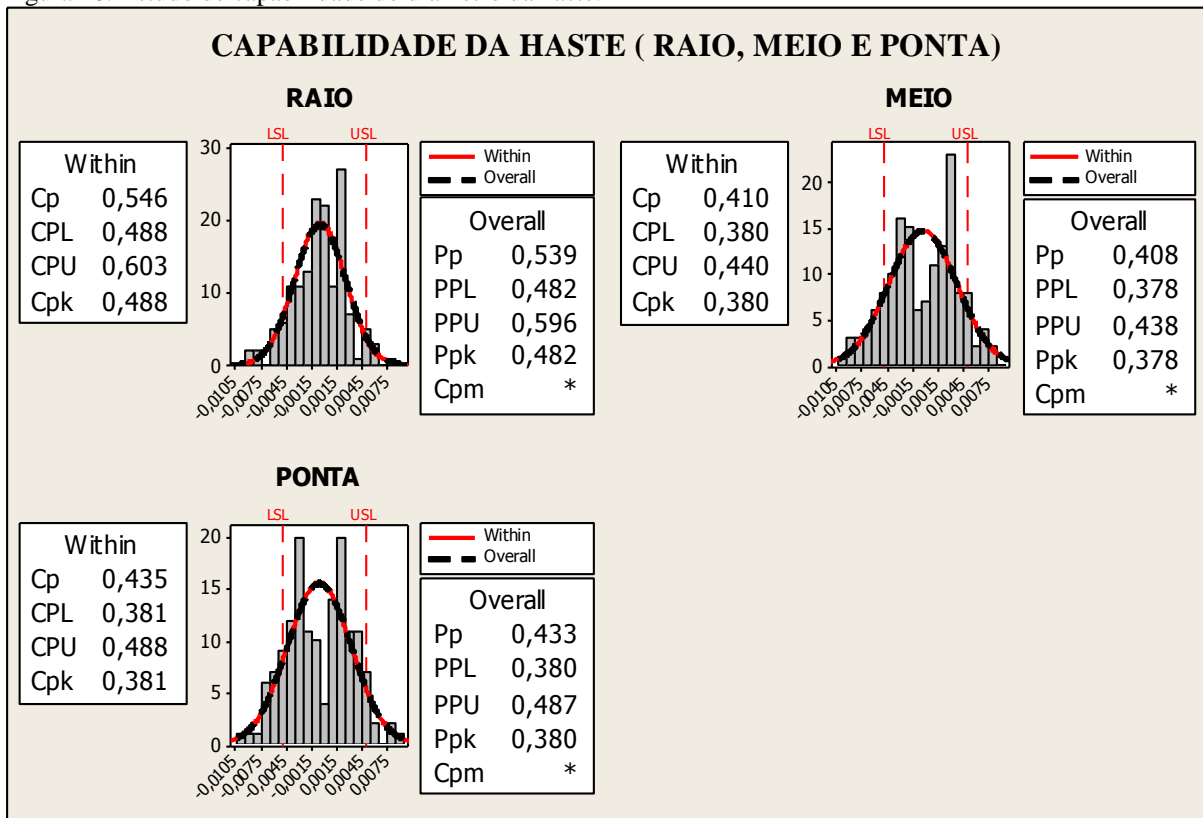
Figura 17: Pontos de medição no diâmetro da haste



Fonte: O autor

Os resultados obtidos foram lançados no programa estatístico Minitab para estudos dos dados desta operação. As dimensões do diâmetro da haste da peça tem tolerância de $\pm 0,005$ mm, ou seja, limite superior controle com “+ 0,005 mm” e para o limite inferior de controle “- 0,005 mm”.

Figura 18: Estudo de capacidade do diâmetro da haste.



Fonte: O autor

De acordo com os resultados dos vários testes gerados pelo programa, constatou-se que o processo não é capaz de produzir peças com estas especificações de tolerâncias, já que em nenhum dos três pontos de medição (raio, meio e ponta) atingiu-se o Cp e Cpk mínimo de 1,33, conforme figura 18 acima.

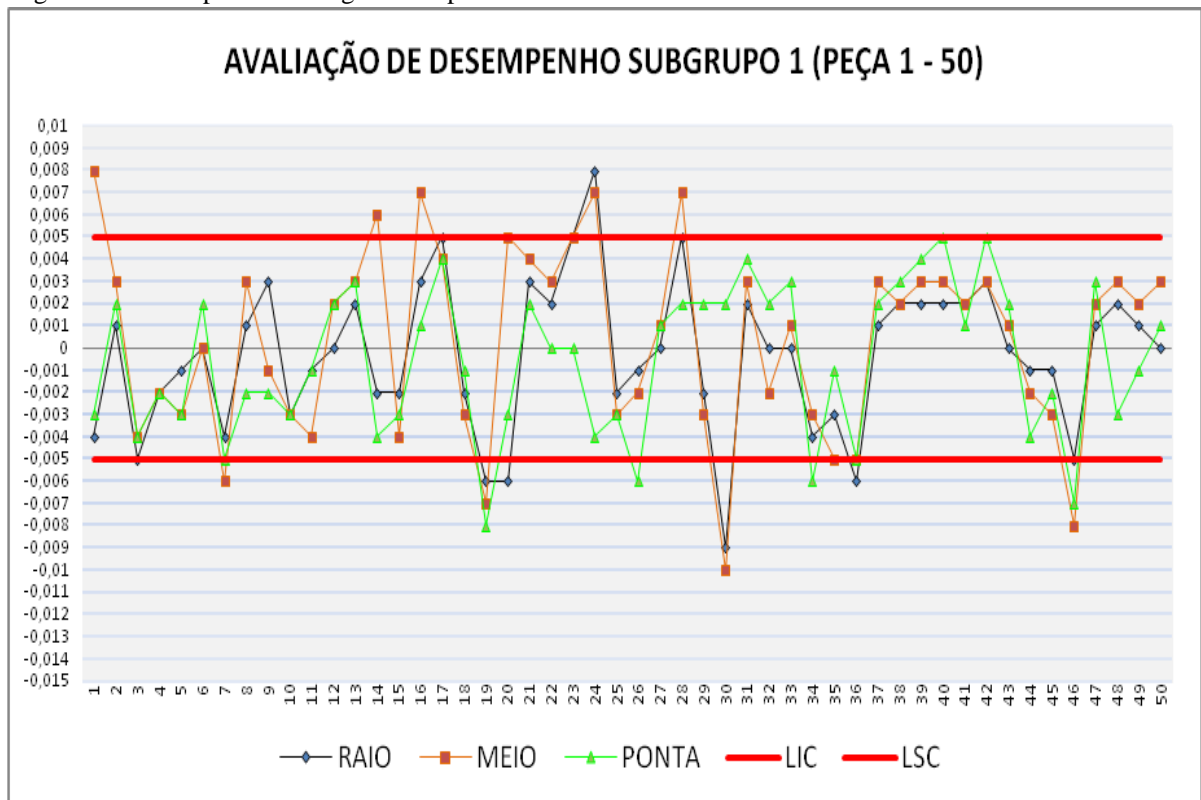
Avaliando o comportamento da máquina e a qualidade das peças produzidas para a operação de deposição de cromo, definiu-se o impacto da não qualidade deste processo para o setor de deposição, resumindo, este processo não é capaz de fornecer peças dentro do especificado para a operação de deposição de cromo.

Para obter-se maior confiabilidade nos resultados e maior acerto nas tomadas de decisões, também foi avaliado individualmente o diâmetro da haste em subgrupos de 50 peças a cada hora de trabalho durante o período de 24 horas, por alguns dias intercalados. Deste

modo, foi possível representar quase que fielmente a situação de trabalho diária de produção, com situações, pessoas e temperaturas ambientes diferentes.

Para confirmar o mau desempenho apresentado no índice de capacidade, como exemplo, a figura 19 mostra os resultados de um subgrupo de dimensional de 50 peças produzidas sequencialmente dentro de um intervalo de uma hora de trabalho, já que esta operação produz em média 400 peças por hora.

Figura 19: Desempenho ao longo do tempo da retífica de haste semifinal.



Fonte: O autor

Previamente é possível notar que há várias dimensões fora dos limites especificados, e como as amostras são representativas do todo e segundo Santo (1992), quanto maior o tamanho da amostra, maior a sua representatividade então, será bem provável encontrar mais peças com dimensões acima e abaixo dos limites, ou seja, é correto afirmar que quando a amostra é adequada, mais ela se aproxima das características da população. Comprovadamente observou-se que este processo deveria sofrer uma intervenção para manutenção do equipamento e para a avaliação dos requisitos de qualidade. Será necessária a análise das causas da não qualidade deste processo.

6.2.1.3 Análise de causa raiz dos problemas da retífica de haste semifinal

De acordo com observações dos dados estudados desta operação, visualmente é possível, num primeiro momento, perceber que o processo gerou muitos pontos onde há oportunidades de melhorias.

Para a análise de causa raiz, será utilizada a ferramenta chamada Método de análise e solução de problemas (MASP) para tratar as causas determinantes de um problema, garantindo que essas foram eliminadas e o efeito indesejado não reincidirá (SILVA, 2004).

Através de uma reunião entre a equipe envolvida, pessoal de produção e manutenção, foram discutidos os problemas gerados na operação e através de várias ideias, conhecidas como *brainstorming*, foram levantadas o maior número de possíveis causas, que inicialmente são tratadas como causas potenciais pelos participantes, onde destas, se destacaram algumas pertinentes que chamaram a atenção dos envolvidos, conforme figura 20 abaixo.

Figura 20: Diagrama de causa e efeito.



Fonte: O autor

Este diagrama é conhecido como diagrama de causa e efeito e segundo Rotondaro et al. (2002, p. 140), “é uma ferramenta utilizada para apresentar a relação existente entre

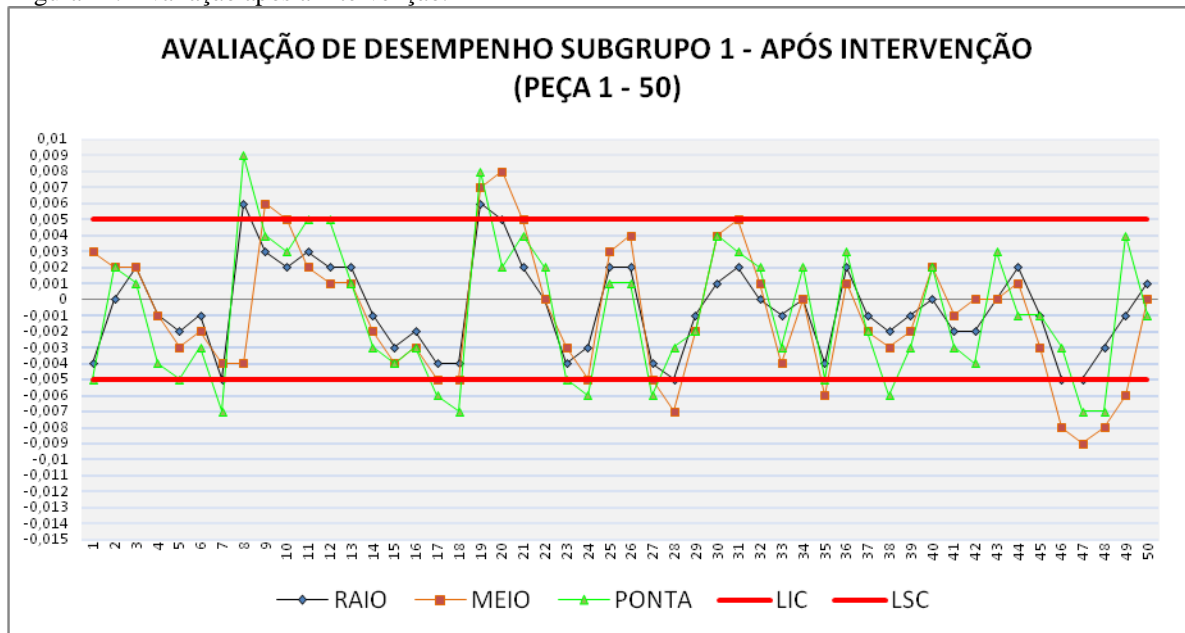
determinado resultado de um processo (que é um “efeito”) e os diversos fatores (causas) que podem influenciar nesse resultado”.

Após a identificação da causa raiz, as ações para solução dos problemas apresentados foram executadas na máquina, intervenção, já que a detecção direcionou os trabalhos para problemas de manutenção, atualização de equipamentos e acessórios, e defeitos sistêmicos do processo produtivo como um todo, onde estas ações foram padronizadas e extendidas para a mesma família de máquinas da empresa.

6.2.1.4 Resultados após intervenção

Após a intervenção, muitos testes e exaustivas medições e ajustes na máquina o processo ainda não está sob controle e as dimensões não estão dentro dos limites especificados, necessitando de muito acompanhamento ao longo do tempo, como na maioria das vezes a máquina trabalhará sozinha, esta condição não é aceitável para manter o nível de qualidade.

Figura 21: Avaliação após a intervenção.



Fonte: O autor

Conforme os resultados acima, e devido a quantidade de testes, não houve a necessidade de executar o teste de capacidade do processo, pois o desempenho não mostrou melhoria.

Nem todas as máquinas que fazem esta operação conseguiram obter o mesmo resultado durante um período de trabalho, ou seja, algumas das máquinas também não mostraram a confiabilidade e estabilidade necessária.

Este fato se deu por vários motivos, como: incompatibilidade de ferramental entre as mesmas máquinas e operações, ferramentais ultrapassados, falta de atualização de *software* do equipamento, diferenças entre marcas e fabricantes que dificultaram a padronização dos trabalhos, etc.

Como toda a família de máquina é imprescindível para este processo, a conclusão foi de que será necessário um equipamento mais preciso e estável para este tipo de operação, já que todas as peças produzidas não deverão ter variações dimensionais antes de receber a deposição de cromo.

6.3 Avaliação da deposição de cromo

Este setor deve receber as válvulas com todos os parâmetros dentro do especificado em desenho operacional, ou seja, é fundamental em qualquer processo produtivo o conceito de cliente interno. Segundo Juran (2002 p. 52), “O termo “clientes internos” é usado no sentido daqueles que fazem parte de nossa empresa e também são impactados pelas nossas atividades”. Tal conceito ajudará na avaliação precisa sem possibilidades de contaminação da amostra por outras fontes ou outros processos.

Os parâmetros deste processo estão definidos em procedimentos de trabalho onde cada tipo de válvula tem seu próprio tempo, temperatura, amperagem, camada, etc. Para o estudo das válvulas deste cliente os parâmetros de trabalho são conforme quadro 8, válvula A.

Quadro 08: Parâmetros do processo de deposição de cromo

VÁLVULA	PEÇAS/BANDEJA	TEMPO	TEMPERATURA
A	98	16 minutos	60° - 65°
B	98	20 minutos	60° - 65°
C	98	18 minutos	60° - 65°

Fonte: O autor.

Embora os resultados finais de produção parecessem positivos, um grande número de retrabalho também era gerado em função desta crença e um levantamento mostrou que a realidade era outra, já que os dados apontavam para perdas de produtividade, ineficiência e baixa lucratividade nos processos estudados.

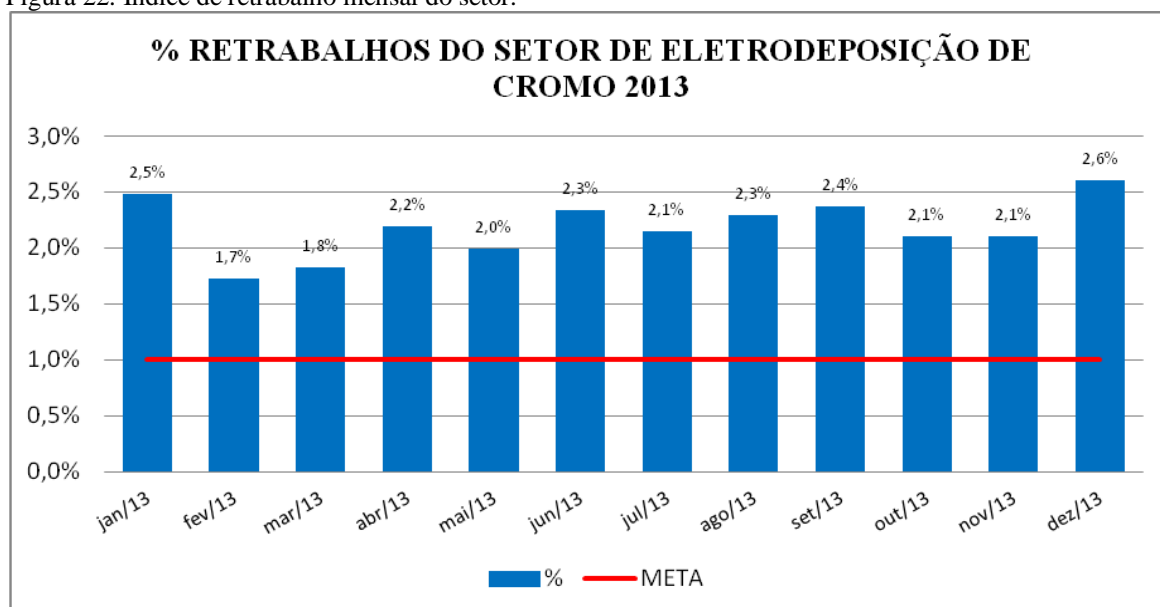
6.3.1 Motivação

Em um ano de produção, o setor de deposição de cromo gerou em média 2,2% de retrabalho em relação ao total produzido, ocasionado uma perda financeira na ordem de 4% do valor do faturamento mensal, mostrando um processo fora de controle já que está muito além da meta.

O setor se tornou a restrição no processo produtivo, pois além de gerar muitos retrabalhos, logicamente aliados ao mau desempenho de outros processos, também tinha um processo produtivo lento, com números bem abaixo da necessidade atual exigida pelo mercado, fazendo com que toda a produção fosse condicionada a aquela situação operacional.

A cromação se tornou o gargalo da produção da fábrica, pois necessitam de mais tempo para produzir seus produtos e o foco é nunca deixar parar a produção de um setor ou uma máquina considerada a restrição da produção, as vezes toda a eficiência de uma fábrica é baseada neste ponto de restrição, todos os cálculos de desempenho do processo são feitos a partir dali (GOLDRATT; COX, 2007).

Figura 22: Índice de retrabalho mensal do setor.

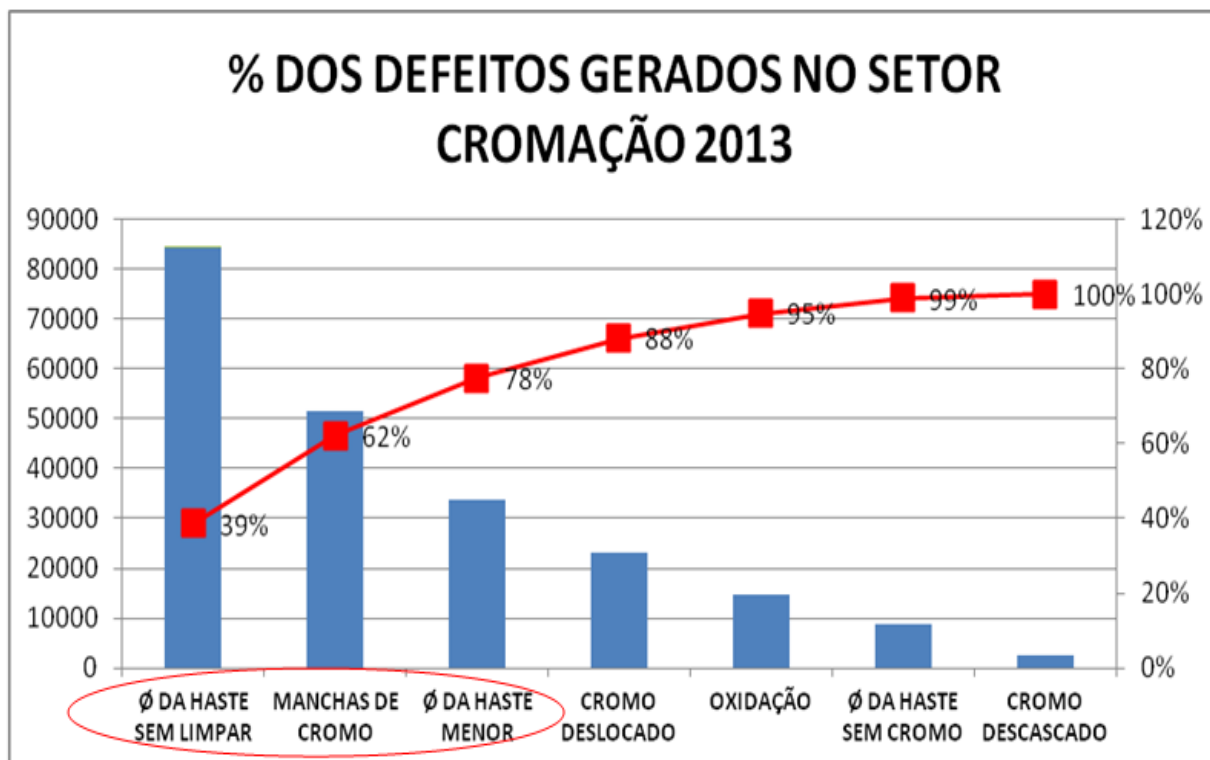


Fonte: O autor.

Em relação ao total de defeitos gerados, observou-se através de Pareto que a grande quantidade dos problemas estava concentrada em três situações que mereceram uma análise mais aprofundada.

Como o setor de eletrodeposição de cromo é cliente e também fornecedor dentro do fluxo, será necessário a análise de causa raiz destes defeitos, avaliar de onde são provenientes dentro da cadeia produtiva e quais os impactos causados no setor de cromação, já que estudos prévios apresentaram muitos problemas, os quais geram vários incômodos para o setor e para a empresa.

Figura 23: Defeitos principais encontrados.



Fonte: O autor.

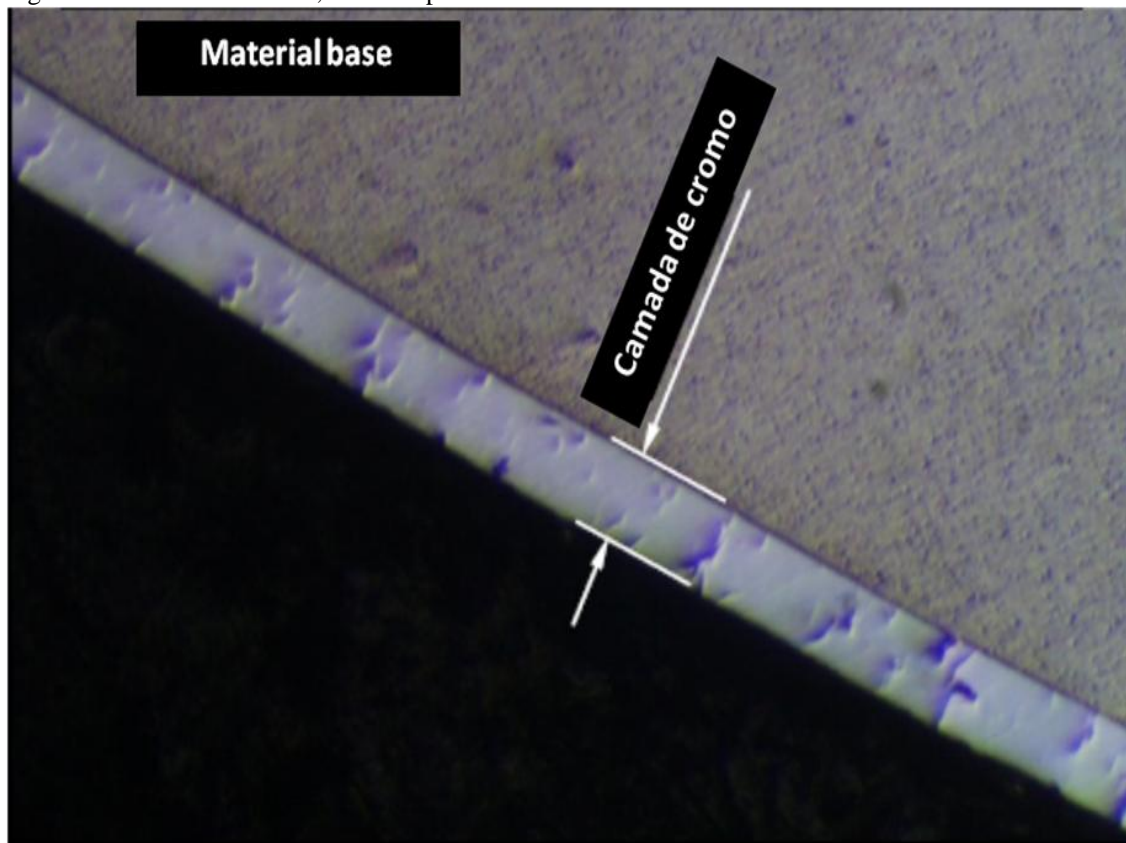
6.3.2 Avaliação dimensional

Inicialmente, foi eliminada a possibilidade de influência de maus resultados da operação de retificar a haste semifinal, pois os testes foram realizados somente com peças com todas as especificações de haste rigorosamente dentro dos limites permitidos nos desenhos operacionais da retífica de haste semifinal, os dados para estudo das melhorias e análises das causas dos problemas serão exclusivamente voltados para o processo de eletrodeposição de cromo e os problemas apresentados terão um foco individual com maior precisão.

Sendo esta operação objeto de estudo para este trabalho, será avaliado o diâmetro da haste em três pontos distintos de sua extensão após a deposição, como no processo anterior, e

nestes trechos da haste das válvulas também será avaliada a espessura da camada de cromo em laboratório metalúrgico.

Figura 24: Camada de cromo, microscópio 1000x.

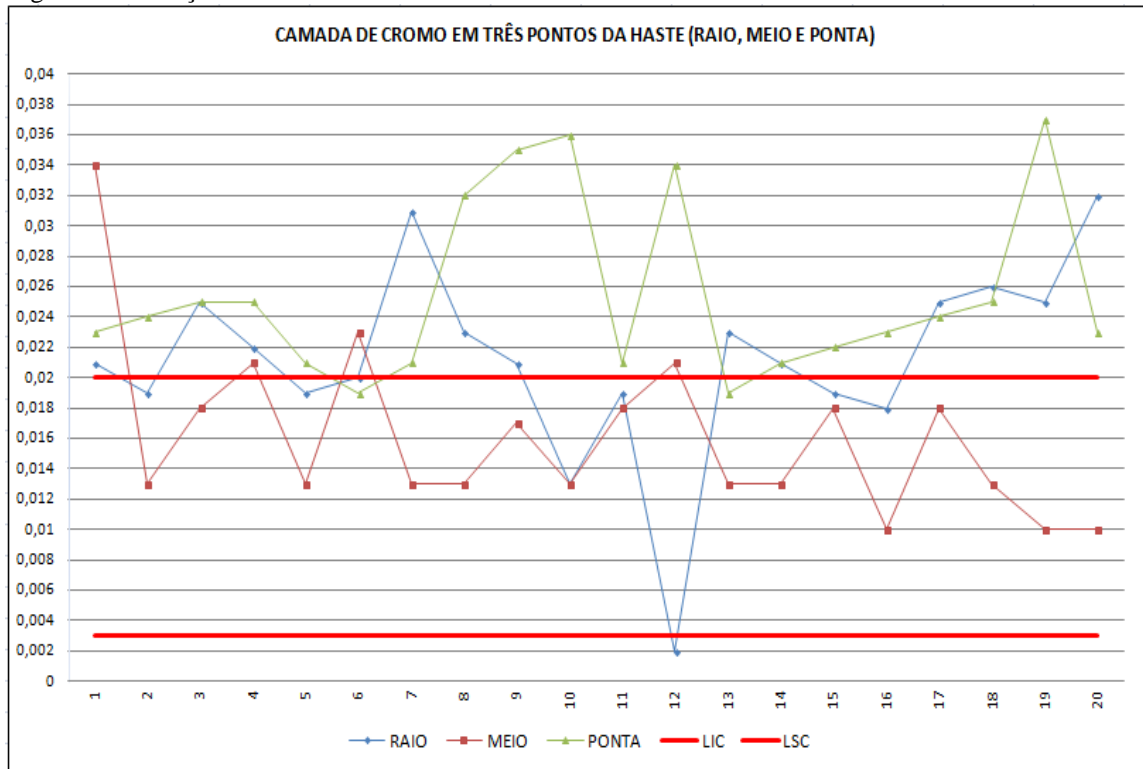


Fonte: O autor.

A camada de cromo foi estudada por amostragem, sendo retirada 4 peças de diferentes pontos da bandeja, para esta avaliação, as amostras foram retiradas durante o período de uma semana.

De acordo com o gráfico da figura 25, que apresenta uma parte do total dos dados, é possível visualizar que é depositado mais cromo que o especificado em desenho, bem acima da tolerância máxima permitida, e após esta operação, haverá a retificação deste excesso que, com muitas dificuldades, corrigirá possivelmente eventuais problemas apresentados por algumas irregularidades anteriores.

Figura 25: Variação da camada de cromo.

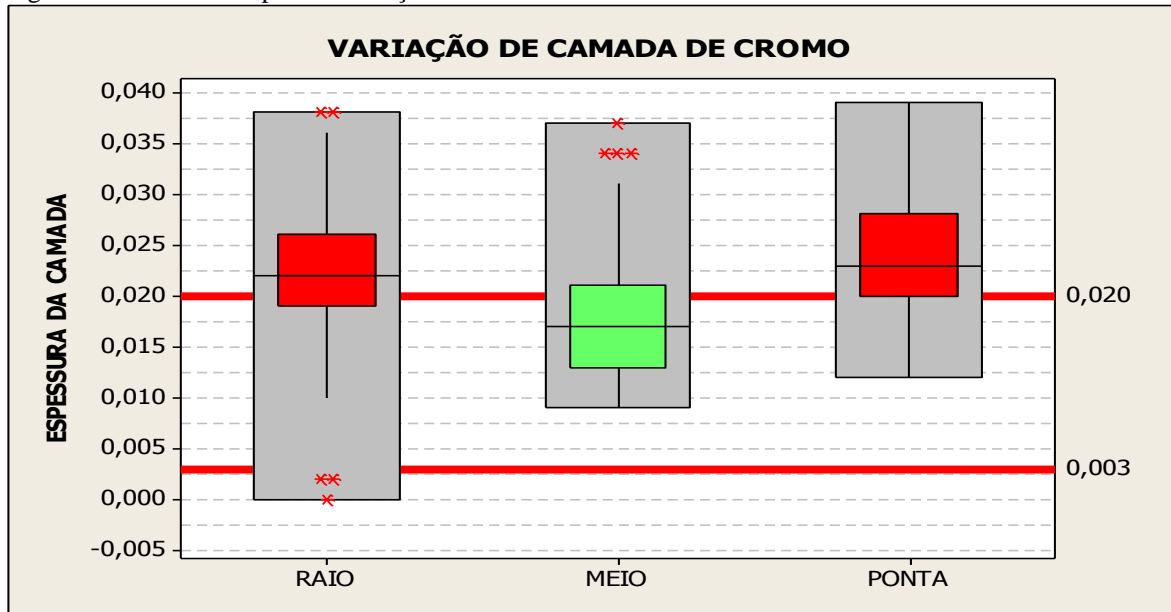


Fonte: O autor.

6.3.3 Estudo da capacidade técnica da operação de deposição de cromo

Com a garantia de uma boa preparação da haste antes da deposição de cromo, qualquer variação faz com que os resultados negativos em toda a extensão do diâmetro fiquem dimensionalmente aparentes. Conforme gráfico 26 logo abaixo é possível visualizar a variação no paralelo em todo o diâmetro da haste das válvulas, onde as linhas vermelhas representam a camada mínima e a camada máxima permitida em desenho que deverá ser aplicada em toda a extensão de seu cilíndrico diâmetro. As linhas horizontais dentro dos quadrados representam a concentração das médias do diâmetro da haste em três pontos, como visto, estando acima do limite permitido em desenho operacional.

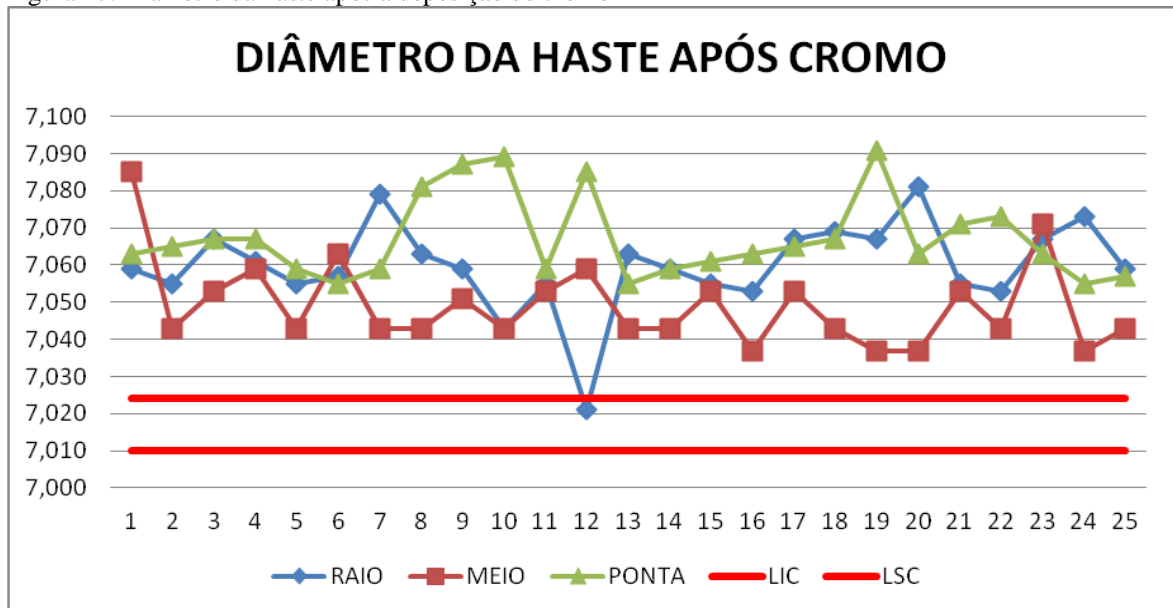
Figura 26: Gráfico Box plot da variação da camada de cromo.



Fonte: O autor

Na figura abaixo, está parte do gráfico obtido no setor onde o diâmetro da haste cromado está muito maior que o especificado em desenho operacional, com o processo nestas condições, os resultados são inviáveis para o fluxo operacional. Nota-se uma grande quantidade de cromo a ser removida na operação posterior, fazendo os tempos de processamento ser bem maiores do que o normal.

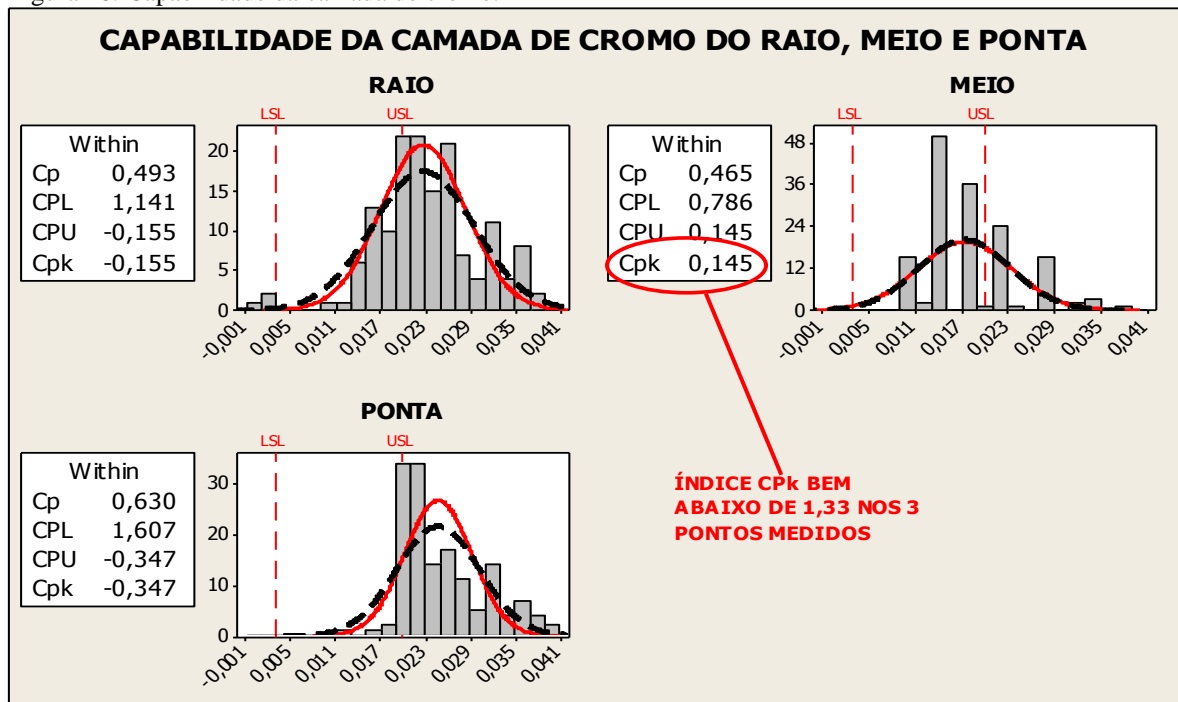
Figura 27: Diâmetro da haste após a deposição de cromo



Fonte: O autor

Medindo a capacidade deste processo relacionado à camada depositada, confirmou-se que esta era realmente bem maior que o especificado. O motivo era que anteriormente o diâmetro da haste era muito irregular e o excesso de cromo depositado ajudaria na correção destas eventuais irregularidades de paralelo, ressaltos, depressões, enfim, a camada de cromo era a salvação, já que a haste cromada ainda seria retificada para dar um polimento e supostamente acertar os defeitos.

Figura 28: Capabilidade da camada de cromo.



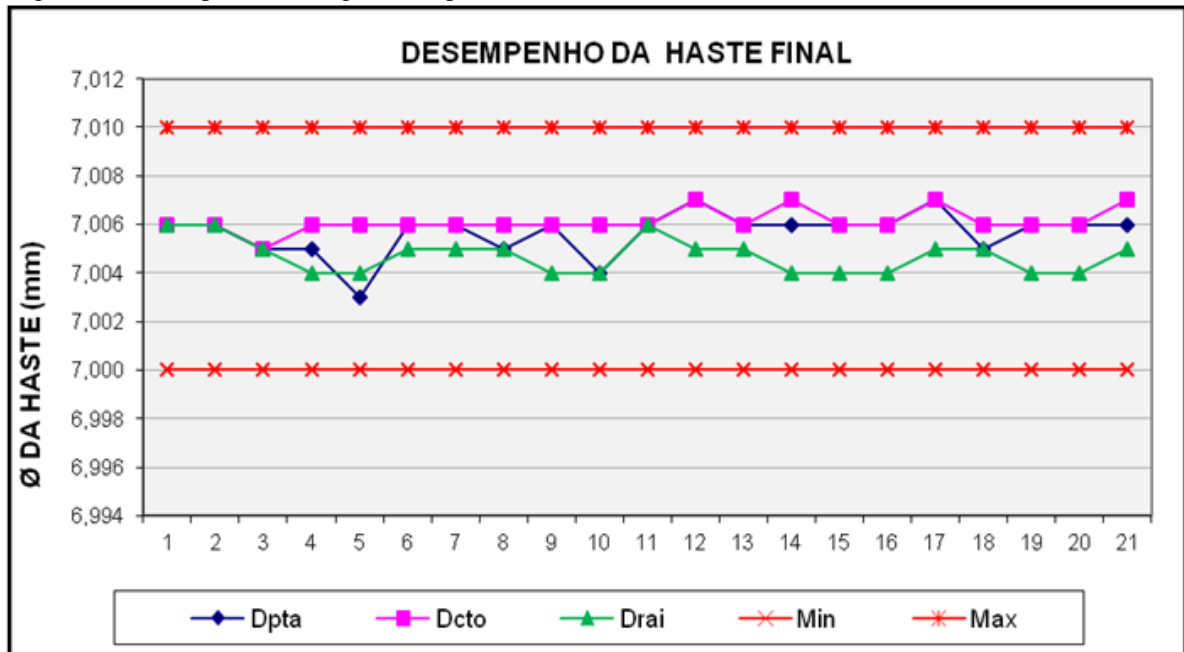
Fonte: O autor

6.4 Avaliação da operação de retificar haste final

A retífica de haste final dará o acabamento polido à haste já cromada, melhorando seu aspecto visual e superficial gerando uma rugosidade muito baixa e precisa, chegando á décimos de milésimos de milímetros.

Nesta etapa será avaliado o diâmetro da haste final também em três pontos igualmente a retífica de haste semifinal, inicialmente com amostras menores para verificar a capacidade deste processo e seu impacto na qualidade e no processo de fabricação desta máquina.

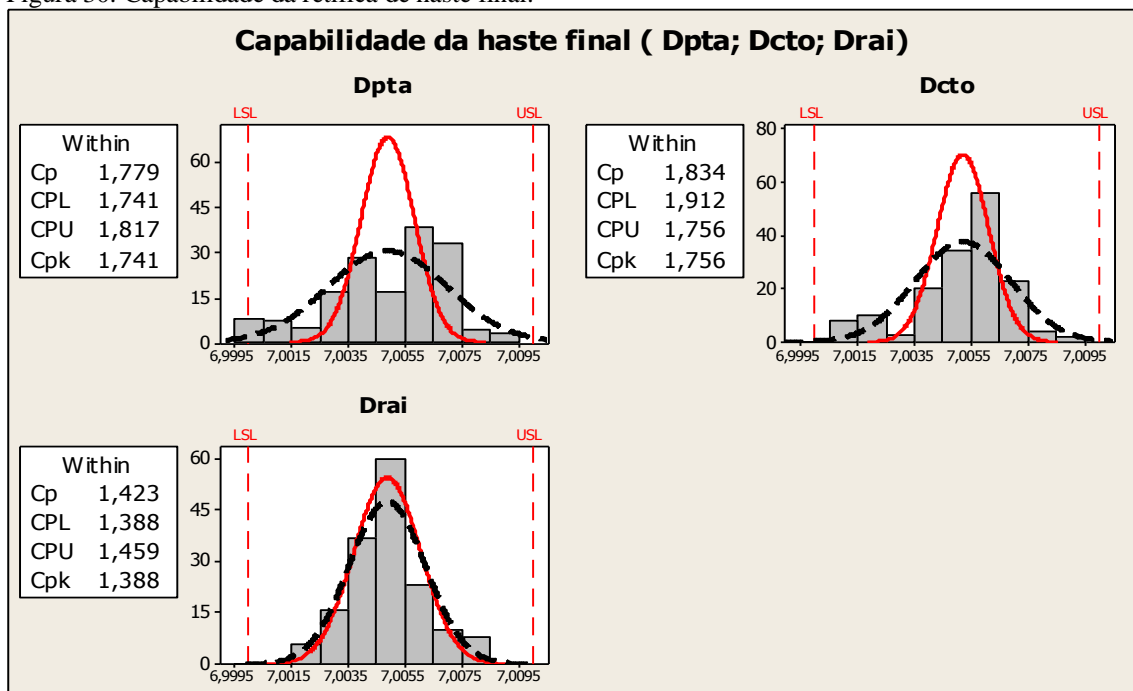
Figura 29: Desempenho ao longo do tempo retífica de haste final.



Fonte: O autor

O processo apresenta-se com uma boa estabilidade e não mostra tendência, as dimensões de seu diâmetro estão bem próximas da medida nominal do desenho. O próximo passo será avaliar a capacidade técnica do equipamento durante certo período para confirmar o bom desempenho.

Figura 30: Capacibilidade da retífica de haste final.



Fonte: O autor

Avaliando os gráficos da figura 30, pode-se observar que a retífica de haste final não necessitará de interferência alguma pois o processo se apresenta capaz e sobcontrole. Devido ao bom comportamento das dimensões e consistência dos dados ao longo do tempo, a máquina revelou o porquê é utilizada para realizar esta precisa operação.

Com base nestes estudos pode-se afirmar que esta operação deverá ser realizada antes da deposição de cromo, pois demonstrou alta confiabilidade, já que uma das propostas será a diminuição da camada de cromo então não haverá a necessidade de uma retificação de cromo após a deposição o qual, completando o ciclo de melhorias, será somente polido.

7 RESULTADOS, ANÁLISES E DISCUSSÕES

7.1 Melhorias

Analisando os três processos em sequência, em primeiro lugar está a retífica de haste semifinal, que foi o ponto crucial para a melhoria em todo o processo produtivo, pois foi identificado a não capacidade deste ponto do processo, em segundo, está a deposição de cromo que, como cliente, também tinha uma parcela na má qualidade neste fluxo produtivo e por último, está a retífica de haste final, que sofria as consequências da não qualidade destes dois processos anteriores, mas que comprovou através dos dados que, dentre todos, este é o único capaz de produzir com qualidade e dentro de todas as especificações.

As máquinas que trabalham com retificação de haste antes da deposição de cromo (retífica de haste semifinal), pelo baixo desempenho, variação, instabilidade e pela má qualidade dos produtos produzidos serão dedicadas á outros processos de retificação de haste de válvulas, principalmente processos de fase inicial de fabricação como os de desbaste de material e operações brutas.

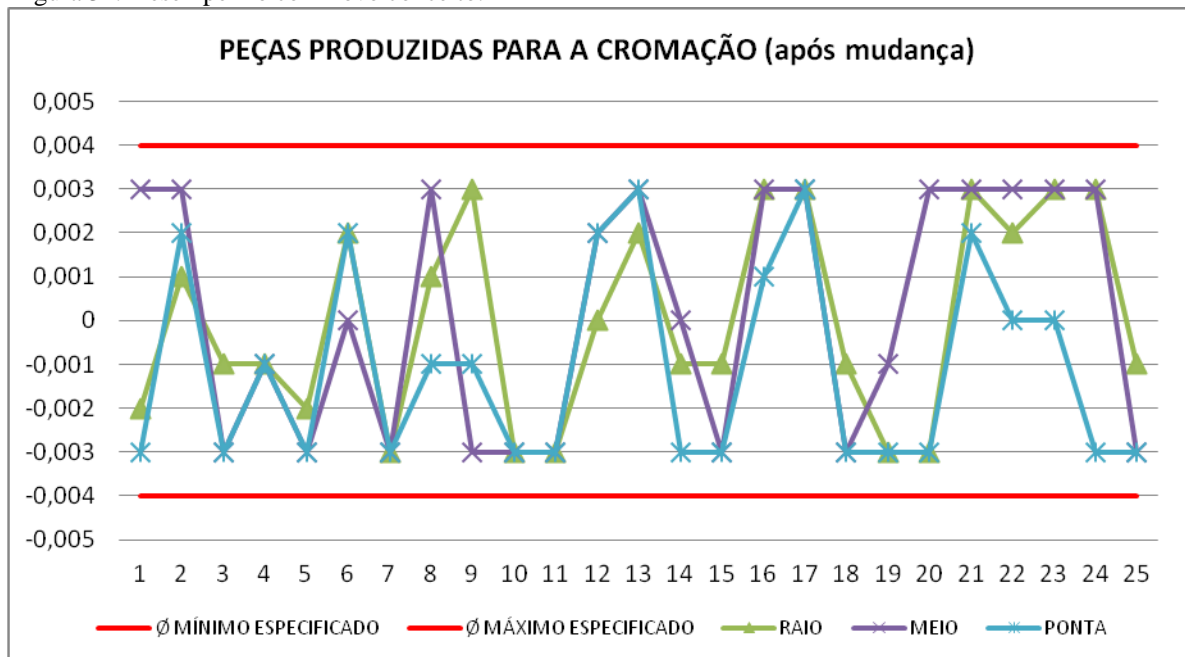
Esta etapa de retificação semifinal será extinta da rota de fabricação e em seu lugar será introduzido a retífica de haste final que anteriormente era a última etapa do processo, desta forma, como dito anteriormente, não haverá retificação de haste após a deposição de cromo.

Com base nos dados será proposta a mudança de rota de fabricação para maior eficácia do projeto, obviamente serão recalculadas as dimensões do produto onde um dos pontos principais será a diminuição da tolerância do diâmetro da haste final, que agora será antes da deposição de cromo para contemplar esta proposta e garantir peças dentro do especificado.

Com estas máquinas que retificavam a haste após o cromo (retíficas de haste final) fazendo a retificação da haste antes da deposição de cromo, houve uma excelente melhoria na qualidade do diâmetro da haste e em todas as demais especificações das peças recebidas pelo setor de deposição de cromo, ou seja, o setor de cromação receberá somente peças dentro do especificado.

No gráfico abaixo, está representado parte dos dados com apenas 25 peças para demonstração, pois em campo, o processo foi acompanhado durante algumas semanas, gerando um banco de dados com valores suficientes para apoiar as conclusões do projeto.

Figura 31: Desempenho com novo conceito.



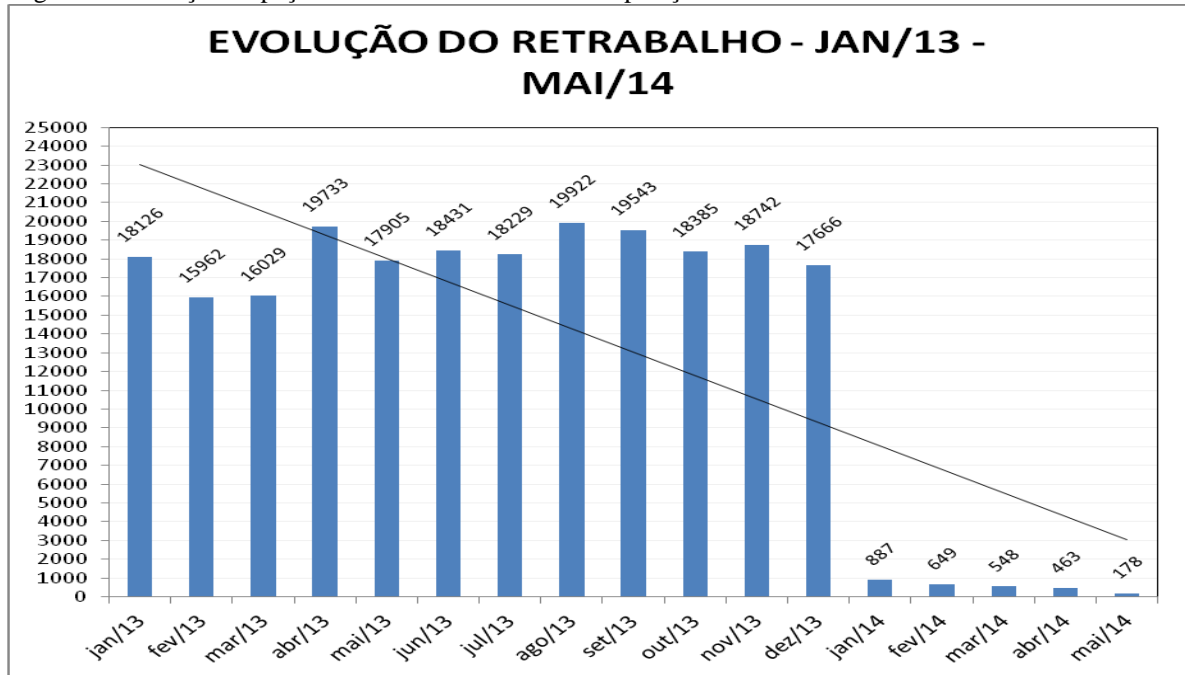
Fonte: O autor

Ainda com ajuda de todos os dados, observou-se que a camada de cromo, independentemente de sua espessura, não perde a sua característica de proteção ao metal base, então para concluir os trabalhos definiu-se que a camada de cromo seria diminuída de 0,012 mm em média para 0,006 mm em média.

Uma melhoria que, do processo antigo para o processo novo gerou, comparando os desenhos, uma redução de camada de aproximadamente 50%, por válvula produzida, lembrando que anteriormente a camada era aplicada em excesso, chegando a absurdos 0,030 mm de camada além do permitido, pois a haste seria retificada e finalmente acabaria ficando praticamente com a mesma camada de atualmente.

Isto se deu primeiramente porque houve um conjunto de melhorias no processo em geral. A melhoria nas peças produzidas pela retífica de haste antes da deposição de cromo, agora chamada de retífica de haste final, também foi essencial, pois a diminuição da camada de cromo a ser depositada mantém com maior precisão as dimensões garantidas por esta retífica. O tempo no banho de cromo também é menor, assim o paralelismo em toda a extensão da haste é mantido dentro das especificações. Com estas melhorias, o retrabalho no setor diminuiu consideravelmente.

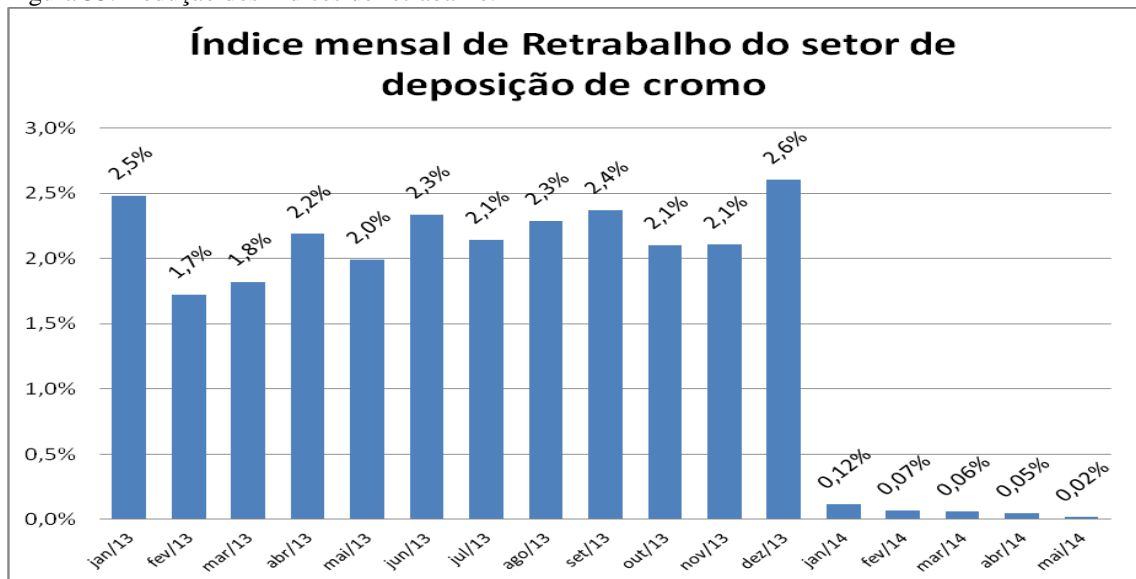
Figura 32: Redução de peças retrabalhadas no setor de deposição de cromo.



Fonte: O autor

Com a melhor qualidade das válvulas recebidas pelo setor de deposição de cromo, este passou a enviar também melhor qualidade, já que houve uma redução nos índices de retrabalho do setor, mostrando uma melhoria de em média 94%, isto quer dizer que, além de mais peças saindo do setor, houve maior aproveitamento da mão de obra e houve uma grande diminuição do retrabalho, sem perdas para a produção, em outras palavras, melhorou a produtividade.

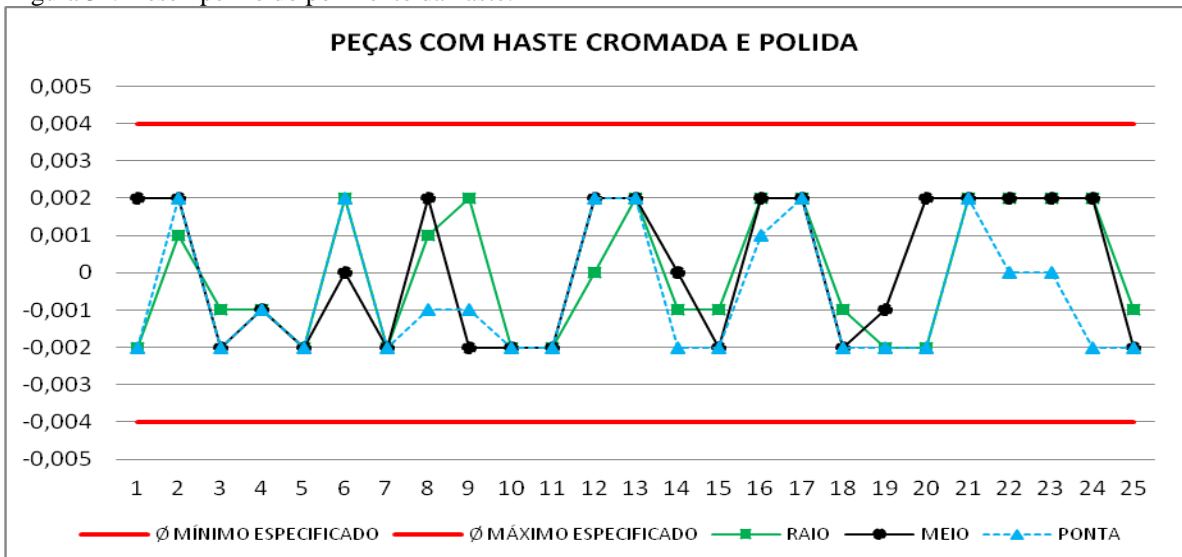
Figura 33: Redução dos índices de retrabalho.



Fonte: O autor

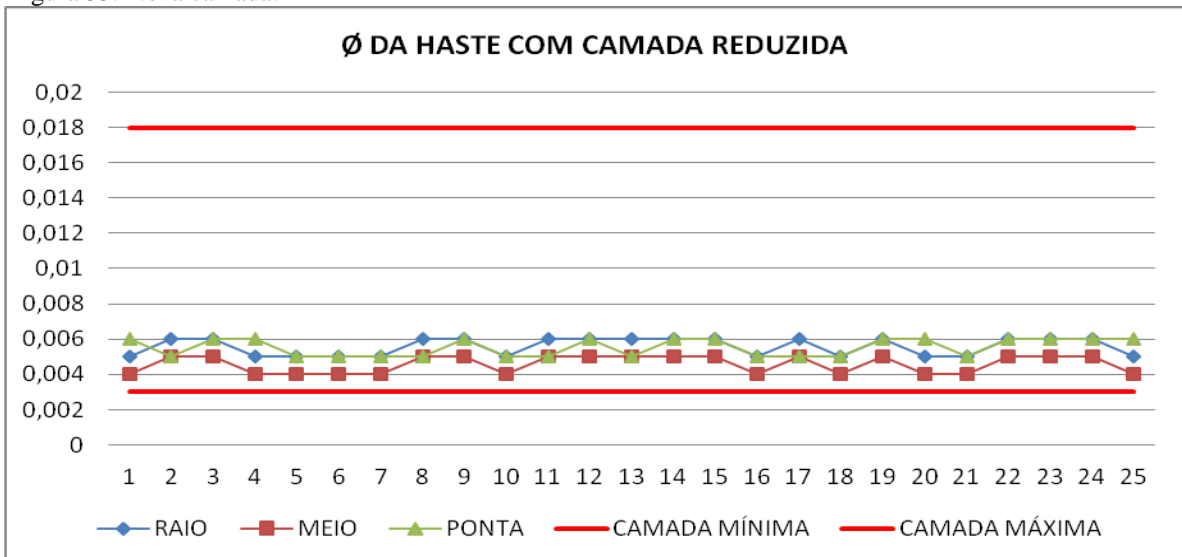
Os gráficos das figuras 34 e 35 mostram a qualidade da dimensão do diâmetro da haste e a excelente estabilidade da espessura da camada depositada, os resultados alcançados trarão enormes benefícios para o fluxo produtivo aumentando a dinâmica do processo tanto anterior quanto posterior á deposição de cromo.

Figura 34: Desempenho do polimento da haste.



Fonte: O autor

Figura 35: Nova camada.



Fonte: O autor

Houve também muita disciplina em seus controles, padronização de parâmetros, muito treinamento para todos os funcionários envolvidos, pois com a camada menor a ser depositada os trabalhos no setor se tornaram mais dinâmicos, exigindo uma resposta mais rápida com relação a correções eventuais das dimensões que ocorrem dia a dia no processo.

No geral, foram contabilizadas melhorias diretas e indiretas conforme os trabalhos se desenvolviam e o quadro 9 demonstra a seguir.

Quadro 09: Objetivos atingidos.

Foco do projeto	Parâmetros	Atual	Meta	Obtido
Operação de deposição de cromo duro na haste.	Tempo de operação por bandeja = 98 pçs	98 Válvulas/16 min	98 Válvulas/05 min	98 Válvulas/05 min
	Camada de cromo	De 3 á 20 µm	De 4 á 7 µm	De 4 á 7 µm
	Consumo de cromo	300 kg/mês	150 kg/mês	140 kg/mês
	Geração de resíduos	235 kg/mês	115 kg/mês	100 kg/mês
	Peças por Horas trabalhadas	350 pçs/h	1100 pçs/h	1100 pçs/h
Operação de retificar haste final antes do cromo	Ciclo de usinagem por válvula produzida	11 s / Válvula	5 s / Válvula	5 s / Válvula
	Consumo de ferramental	US\$ 12.000,00	US\$ 6.000,00	US\$ 5.500,00
	Peças por Horas trabalhadas	350 pçs/h	500 pçs/h	600 pçs/h
Operação de polir haste após Cromação	Ciclo de polimento por válvula produzida	0 s / Válvula	4 s / Válvula	4 s / Válvula
Retífica de haste após cromo	Retirar da linha	8 s / Válvula	0 s / Válvula	0 s / Válvula
Funcionários na linha	Reduzir	5	3	3
Custos de todo o processo	Custo em US\$	262.000,00	100.000,00/ano	98.000,00/ano

Fonte: O autor

7.2 Melhoria no fluxo

Para dar o acabamento à haste das válvulas cromadas, não haverá a retífica de haste final após a deposição de cromo, esta será substituída adicionando ao processo produtivo uma máquina apenas para fazer o polimento das hastes das válvulas onde não haverá remoção significativa de material, apenas melhoria no acabamento superficial que também será controlado em desenho operacional específico.

No novo fluxo proposto conforme figura 36, terão mudanças de máquinas, a retífica de haste final já está no lugar da retífica de haste semifinal e o polimento da haste será logo após

a cromação. Haverá ajustes nas dimensões dos processos alterados, como a camada de cromo e diâmetros por exemplo.

Figura 36: Proposta de novo fluxo de processo.

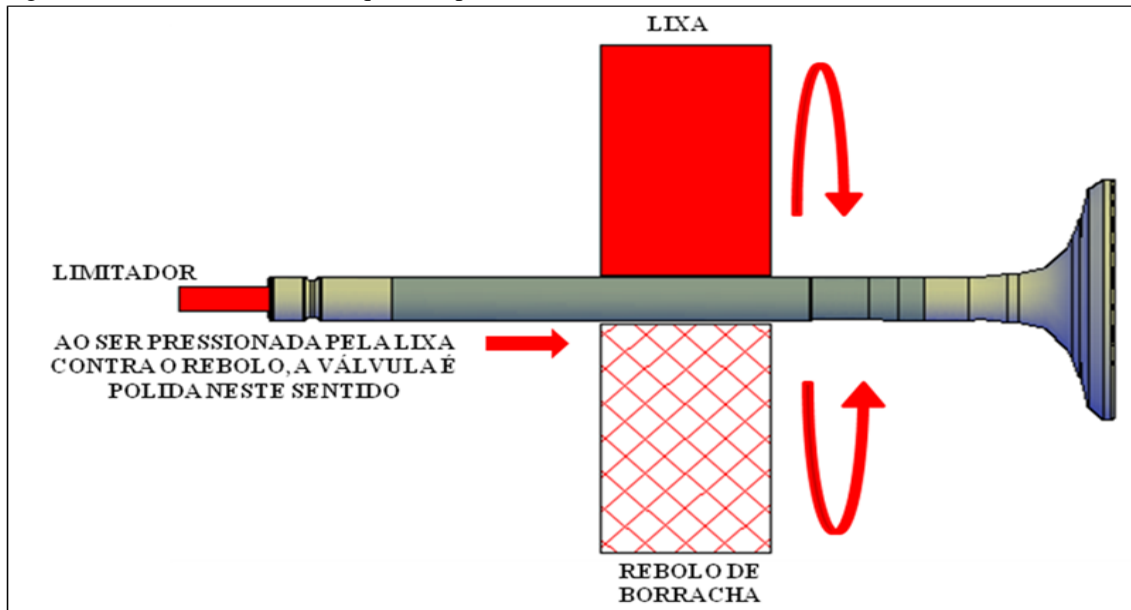


Fonte: O autor

Como dito anteriormente, será eliminado a operação de retificar haste final que será substituída pela operação de polimento. Esta operação consiste em basicamente lixar o cromo para deixar as peças com a haste mais brilhante.

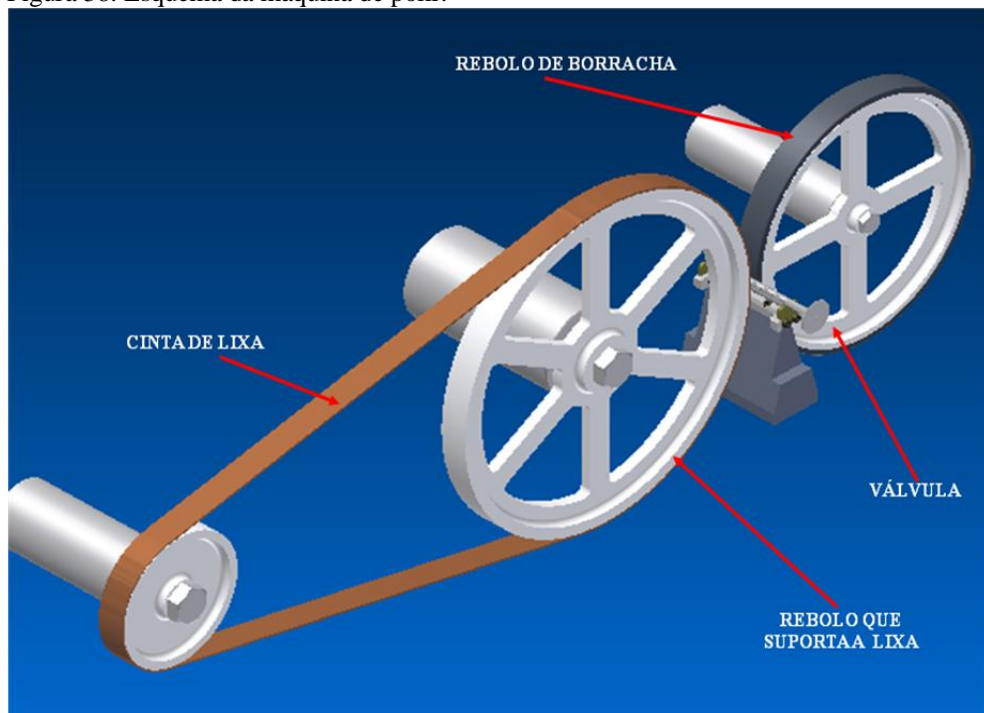
A máquina funciona automaticamente, sem operador. A válvula, através de alimentadores automatizados, é inserida entre o rebolo de borracha e o rebolo que suporta a lixa, apoiando-se sobre uma régua com rolete giratório, onde a lixa avança em direção a peça, pressionando-a e girando-a. Esta pressão sofrida pela haste da válvula faz com que esta seja impulsionada para fora dos rebolos polindo toda a extensão de sua haste cromada.

Figura 37: Funcionamento da máquina de polir haste.



Fonte: O autor

Figura 38: Esquema da máquina de polir.



Fonte: O autor

7.3 Controle para a manutenção das mudanças

Após a implementação do projeto, será necessário o controle do processo e um monitoramento da permanência e eficácia das mudanças implementadas, uma das técnicas

empregadas será a de auditorias programadas nos setores envolvidos onde estes serão monitorados separadamente quanto a estabilidade e capacidade.

Os processos também serão melhorados individualmente com aplicação de um controle de qualidade em todo o estoque de ferramentais essenciais, para todos os processos do projeto, tudo será registrado em procedimento de trabalho, fará parte das lições aprendidas, para consultas futuras.

Serão desenvolvidos procedimentos específicos para produção destas peças nos setores com a elaboração de novos desenhos operacionais, onde cada setor é auditor interno do processo que o antecede com novas sistemáticas para controle de qualidade, principalmente dos ferramentais com instrução de controle específica para novos processos.

No setor de deposição de cromo, será estabelecido um novo procedimento de produção específico, haverá a padronização de tempo, camada e amperagem, já que são parâmetros fundamentais para o bom desempenho e qualidade do produto em estudo. Também será padronizada a altura do quadro dos banhos e a utilização do ânodo de acordo com o tamanho da haste a ser cromada. Foi implantado o controle de qualidade de ferramental do processo de deposição de cromo.

Para toda a proposta de melhoria, será criado um sistema de revisão semestral dos padrões de válvulas para monitorar e calibrar seus dimensionais, inicialmente para o cliente escolhido como parte deste projeto por ser o maior volume de produção da empresa, mas com o estabelecimento de uma meta para estender para todos os clientes.

Foram criados planos de manutenção preventiva em equipamentos e máquinas. Alteração nos desenhos operacionais utilizados pela produção. Reciclagem nos conceitos de tolerâncias geométricas e tendências de instabilidade no processo produtivo para todos os profissionais do piso de fábrica.

8 CONCLUSÃO

Com este trabalho foi possível constatar que o uso disciplinado da metodologia Seis Sigma ajuda a solucionar problemas e realizar melhorias no processo, propondo e sugerindo mudanças de *layout*, mudanças de fluxo de trabalho, ganhos financeiros, mas ainda melhor que a proposta inicial que mostrava uma meta bastante agressiva, as perdas foram eliminadas, reduzindo os custos de manufatura com expansão das melhorias.

As propostas surgiram devido à precisão das análises e dos estudos dos dados, principalmente com a descoberta de processos incapazes, não confiáveis e já inviáveis para a realidade competitiva atual.

A coleta de dados e a padronização dos estudos estatísticos são fases importantes do projeto, pois através destes são direcionadas as ações de melhoria e contenção para os processos. Então, utilizando a metodologia Seis sigma, identificou-se que a causa raiz dos defeitos e as ineficiências nos processos estudados tinham várias fontes, das quais necessitariam ser analisadas individualmente, com ações e soluções específicas.

Algumas decisões importantes, arrojadas e decisivas foram as mudanças no fluxo do processo, mudanças de máquinas, parâmetros de trabalho e principalmente a mudança de cultura e hábitos dos profissionais.

A mudança de *layout* sugerida foi a eliminação da operação de retificar haste semifinal da rota atual transferindo a operação de retificar haste final para o seu lugar e, para o lugar desta haste final, foi inserido um novo processo que é mais barato, rápido e preciso, chamado de polimento de haste cromada ou politriz que é totalmente dependente da boa qualidade da retífica de haste final e da baixa camada de cromo proposta neste projeto.

A diminuição da camada de cromo depositada gerou vários ganhos para o setor de deposição de cromo: menor tempo de banho melhorando a quantidade de peças produzidas por hora trabalhada; menor consumo de cromo e insumos do setor; diminuição do número de retrabalhos; diminuição dos resíduos gerados e melhor produtividade do setor.

A metodologia gerou uma reação em cadeia de ganhos em todo o fluxo estudado estendendo indiretamente para outros setores. Deste ponto em diante pode-se levantar vários ganhos em todas estas estruturas, como: menor tempo de produção nestes processos, economia nos insumos das máquinas, menor volume de resíduos gerados também nas máquinas, diminuição no número de retrabalhos, melhor qualidade técnica dos profissionais com os treinamentos, menor custo de produção, maior qualidade do produto e maior

confiança dos clientes. Transformando estes dados em números, foi obtida uma economia nos custos de fabricação deste cliente de aproximadamente 61% ao ano ou US\$ 162.000,00/ano.

A utilização da metodologia Seis Sigma é um ótimo caminho para a aplicação da qualidade total no fluxo de valor, pois normalmente esta ferramenta utiliza as premissas do sistema de qualidade aliadas a dados estatísticos gerados na produção no dia a dia, criando uma rotina de ataque as perdas, gerando uma cultura de caça aos desperdícios naturais ao processo, onde poucos enxergavam com propriedade.

Entende-se hoje que o Seis Sigma não é avaliado apenas quanto a resultados técnicos obtidos, mas também quanto ao gerenciamento do tempo, a interatividade entre os profissionais e um sistema de qualidade, levam os trabalhos a avaliações precisas e estas ações quando em conjunto, geralmente proporcionam um grande número de acertos, pois com estes dados organizados aliados a grande disciplina que o programa exige, baixam os custos e melhoram a utilização de recursos disponíveis para execução dos projetos. O Seis Sigma não é uma visão de futuro, mas de presente. O programa é um passo extremamente importante para qualquer organização que queira prosperar e ter sucesso.

REFERÊNCIAS

ANDRIETTA, João M.; MIGUEL, Paulo A. Cauchick. Aplicação do programa Seis Sigma no Brasil: resultados de um levantamento tipo *survey* exploratório-descritivo e perspectivas para pesquisas futuras. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 14, n. 2, p. 203-219, maio - ago. 2007.

BHOTE, Keki R. **Qualidade de classe mundial:** usando o projeto de experimentos para a melhoria. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1992.

CARVALHO, Marly Monteiro et al. **Gestão da qualidade:** teoria e casos. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

CAMPOS, Vicente Falconi. **TQC:** controle da qualidade total no estilo japonês. Nova Lima: INDG Tecnologia e serviços, 2004.

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

EINSET, E.; MARZANO, J. **Six Sigma Demystified:** tooling & production, v. 13, n.2, p. 43-47, abr. 2002.

GOLDRATT, Eliyahu M.; COX, Jeff. **A meta:** um processo de Melhoria contínua. 2. ed. São Paulo: Nobel, 2007.

HEYWOOD, J.B. **Internal combustion engine fundamentals:** series in mechanical engineering. New York: McGraw-Hill Book Co., 1988.

JURAN, J.M. **A qualidade desde o projeto:** os novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços. São Paulo: Pioneira, 2002.

LINDERMAN, K. et al. **Six Sigma:** a goal-theoretic perspective. *Journal of Operations Management*, v. 3, n. 21, p. 193-203, 2003.

NAVIDI, William. **Probabilidade e estatística para ciências exatas.** São Paulo: Mc Graw Hill, 2012.

OLIVEIRA, Flávio Bonafé et al. Aplicação da metodologia seis sigma na redução de defeitos na face de válvulas de admissão e escape. **Revista ciências exatas**, Taubaté, v. 16, n. 2, p. 24-30, 2010. Disponível em: <<http://periodicos.unitau.br/ojs-2.2/index.php/exatas>>. Acesso em: 16 fevereiro 2014.

PANDE, Peter S. **Estratégia Seis Sigma:** como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho. São Paulo: Qualitymark, 2002.

PANDE, P.S.; NEUMAN, R.P.; CAVANAGH, R.R. **Estratégia Seis Sigma.** Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2001.

PANOSSIAN, Zehbour. Tratamento de superfície: revestimentos múltiplos. **Tratamento de superfície**, São Paulo, v. 8, n. 84, p 38-47, 1997.

RAMANATHAN, Lalgudi Venkataraman. **Corrosão e seu controle**. São Paulo: Hemus, [1988 ?].

ROTONDARO, Roberto G. et al. **Seis Sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços**. São Paulo: Atlas, 2002.

SAMOHYL, Robert W. **Controle estatístico da qualidade**. Rio de Janeiro: Elsevier 2009.

SANTO, Alexandre do Espírito. **Delineamentos de metodologia científica**. São Paulo: Edições Loyola, 1992.

SILVA, Ana L. R. **Monografia fácil: ferramenta e exercícios**. 2. ed. São Paulo: DVS Editora, 2004.

SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 12, de 06 á 08/Nov.2006. Bauru. **Análise da aplicabilidade do método DMAIC do modelo seis sigma**. XII SIMPEP, 2006. 9 p.

TAYLOR, Charles Fayette. **The internal combustion engine in theory and practice: combustion, fuels, materials, design**. Revised edition. Cambridge: MIT Press, 1985.

WERKEMA, M. C. C. **Criando a cultura Seis Sigma**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002. (Vol. 1, Série Seis Sigma).

_____. **Perguntas e Respostas sobre o Lean Seis Sigma**. Rio de Janeiro: Werkema, 2002. (Vol. 6, Série Seis Sigma).