

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

RENAN FERREIRA BITTENCOURT

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA PARA A RESOLUÇÃO DO MODO
DE FALHA CANO FROUXO E CANO QUEBRADO NOS REVÓLVORES**

**Porto Alegre
2018**

RENAN FERREIRA BITTENCOURT

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA PARA A RESOLUÇÃO DO MODO
DE FALHA CANO FROUXO E CANO QUEBRADO NOS REVÓLVVERES

Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Qualidade e Seis Sigma, pelo Curso de Especialização em Qualidade e Seis Sigma da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

Orientador: Prof. Jacinto Ponte Junior, Dr.

Porto Alegre

2018

RESUMO

A indústria tem convivido há anos com problemas e dificuldades como altos índices de sucata e retrabalho, além da dificuldade de implementação de novas tecnologias para a otimização de processos e ajuda nos controles dos processos. Atrelado a isso a metodologia Seis Sigma é de extrema importância na indústria, pois gera a competitividade de mercado entre as empresas. Se busca uma constante otimização e eficiência dos processos, visando sempre a redução de custos. Este trabalho tem por objetivo apresentar um estudo aplicando a metodologia Seis Sigma em uma empresa fabricante de armas. Durante o período de análise a equipe multifuncional avaliou o processo atual de montagem de cano na armação do revólver, onde se possui índices de retrabalho em torno de 40%, além do fator principal de avaliação, que são os problemas da má qualidade no cliente final, denominado os modos de falha cano frouxo, e da quebra do cano, problemas que são de extrema criticidade, pois estão ligados a segurança do produto e do cliente. O principal problema encontrado é o não atendimento as especificações de projeto, que tem tolerâncias de conjunto montado extremamente apertadas. Este trabalho também avaliará essas especificações de engenharia, para verificar se os limites pré-estabelecidos estão de acordo com a função primária do produto. A avaliação do processo inicialmente ocorreu na célula de montagem, com peças oriundas do processo da manufatura e com os meios de controle existentes, posteriormente a partir da aplicação da metodologia DMAIC. O modelo DMAIC consiste em uma metodologia para solução de problemas do Seis Sigma, este método é utilizado para resolução de problemas e prevenção das ocorrências dos problemas. A abordagem do DMAIC é funcional, baseada em métodos testados e comprovados. A equipe multifuncional identificou inúmeras oportunidades de melhorias, como o aumento de produtividade na operação de pré-posicionar o cano na armação, diminuindo 20 segundos do tempo de ciclo desta operação, além de poder controlar o torque dessa pré-posição, o que durante o estudo mostrou ser uma variável muito importante, também pode-se eliminar o retrabalho por manuseio nas armas, onde gerava em torno de 30% de retrabalho dentro do setor, ganho esse obtido fazendo a alteração do fluxo de processo do tratamento superficial, essa melhoria ainda aumentou a capacidade produtiva do banho químico reduzindo um turno de trabalho, além dessas melhorias citadas, pode-se definir os limites de torque mínimo e máximo para esse processo,

em conjunto com a implementação de novos dispositivos de montagem e controle, além da definição e implementação do controle n. Por fim, com um novo processo implementado, e com os devidos controles, pode-se chegar à solução do problema estudado.

Palavras-chave: Seis Sigma. DMAIC. Torque.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação entre nível Sigma e percentual de peças dentro do especificado, para uma distribuição normal	22
Figura 2 - Detalhamento região das raias do cano.....	36
Figura 3 – Cano do revólver	36
Figura 4 – Armação do revólver	37
Figura 5 – Carta de Projeto	41
Figura 6 – Pré-posição das componentes montadas	42
Figura 7 – Escalar angular	42
Figura 8 – Aplicação de torque no conjunto cano e armação	43
Figura 9 – Alinhamento do conjunto cano e armação	43
Figura 10 – Modo de Falha Cano Quebrado	44
Figura 11 – Modo de Falha Cano Frouxo.....	45
Figura 12 – Modelo de Revólver RT410.....	47
Figura 13 - Diagrama de Causa e Efeito, modo de falha 'Fora de Posição'	48
Figura 14 – Calibre de controle de posição de rosca da Armação	49
Figura 15 - Calibre de controle de posição de rosca do Cano	49
Figura 16 - Diagrama de Causa e Efeito, modo de falha 'Cano Frouxo e Cano Quebrado'	50
Figura 17 – Dispositivo de montagem atual	50
Figura 18 – Capabilidade do processo de usinagem de rosca na armação.....	52
Figura 19 - Capabilidade do processo de usinagem de rosca no Cano	53
Figura 20 – Meio de controle da rosca da armação	54
Figura 21 – Diagrama de Causa e Efeito do sistema de medição da Armação	54
Figura 22 – Pareto geral de percentual de exatidão por avaliador calibre Armação	58
Figura 23 – Percentual de exatidão do avaliador individualmente calibre Armação.....	59
Figura 24 – Percentual de cada avaliador conforme classificação de peças calibre Armação	59
Figura 25 - Meio de controle da rosca do Cano	60
Figura 26 - Diagrama de Causa e Efeito do sistema de medição do Cano.....	60
Figura 27 - Pareto geral de percentual de exatidão por avaliador calibre Cano.....	64
Figura 28 - Percentual de exatidão do avaliador individualmente calibre Cano	65

Figura 29 - Percentual de cada avaliador conforme classificação de peças calibre Cano.....	65
Figura 30 – Projeto do dispositivo de pré-torque.....	69
Figura 31 – Elementos reguláveis do dispositivo de pré-torque.....	69
Figura 32 – Sistema de limitador de torque do dispositivo de pré-torque.....	70
Figura 33 – Projeto do dispositivo de montagem do cano na armação.....	71
Figura 34 – Guias lineares para ajuste de comprimento.....	71
Figura 35 – Fixação do cano no dispositivo.....	72
Figura 36 – Fixação da armação no dispositivo.....	73
Figura 37 – Elementos eletrônicos do dispositivo.....	74
Figura 38 - Sensor de posição do dispositivo.....	75
Figura 39 – Leitor digital do torque aplicado.....	75
Figura 40 – Fluxograma processo de fabricação do Cano.....	76
Figura 41 - Fluxograma processo de fabricação do Armação.....	76
Figura 42 – Dispositivo de pré-torque na célula de montagem.....	78
Figura 43 – Especificações de produto.....	79
Figura 44 – Análise de correlação para os dados do material aço carbono.....	84
Figura 45 - Análise de correlação para os dados do material aço inoxidável.....	84
Figura 46 – Dispositivo novo sendo abastecido.....	85
Figura 47 – Dispositivo novo operando.....	85
Figura 48 – Torquímetro de calibração do dispositivo de pré-torque.....	86
Figura 49 – Alarme de torque mínimo e máximo.....	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade de sobre metal à ser removido no diâmetro (mm)	16
Tabela 2 - Parâmetros de corte em alargamento com ferramentas de metal duro ...	17
Tabela 3 - Parâmetros de corte em alargamento com ferramentas de Aço Rápido..	18
Tabela 4 - Propriedade mecânicas do AÇO SAE 4140.....	19
Tabela 5 - Composição química de aço inoxidável martensítico (% em massa).....	20
Tabela 6 - Montagem dos canos aço carbono com pré-posição de 20°.....	80
Tabela 7 - Montagem dos canos aço carbono com pré-posição de 30°.....	80
Tabela 8 - Montagem dos canos aço carbono com pré-posição de 40°.....	80
Tabela 9 - Montagem dos canos aço inoxidável com pré-posição de 20°.....	81
Tabela 10 - Montagem dos canos aço inoxidável com pré-posição de 30°.....	81
Tabela 11 - Montagem dos canos aço inoxidável com pré-posição de 40°.....	81

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Gráfico de dispersão para dados do material aço carbono.....	82
Gráfico 2 - Gráfico de dispersão para dados do material aço inoxidável	82
Gráfico 3 – Gráfico de regressão para dados do material aço carbono	83
Gráfico 4 – Gráfico de regressão para dados do material aço inoxidável	83

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Entradas, saídas, técnicas e ferramentas do DMAIC.....	35
Quadro 2 – Mapeamento através do SIPOCR	46
Quadro 3 – Ferramentas utilizadas no MSA do dispositivo de controle da rosca da Armação	55
Quadro 4 - Ferramentas utilizadas no MSA do dispositivo de controle da rosca do Cano.....	61

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i>
CP	Capacidade do Processo
DMAIC	<i>Define, Measure, Analyze Improve e Control</i>
DOE	<i>Design Of Experiments</i>
HSS	<i>High Speed Steel – Aço Rápido</i>
MSA	<i>Measurement System Analyser</i>
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
SIPOCR	<i>Supplier, Input, Process, Output, Customer, Requirements</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 DEFINIÇÃO DO TEMA.....	12
1.2 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	13
1.3 OBJETIVOS.....	14
1.3.1 Objetivo Geral	14
1.3.2 Objetivos Específicos	14
1.4 JUSTIFICATIVA.....	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 PROCESSO DE USINAGEM.....	14
2.1.1 Ferramentas	15
2.1.2 Usinabilidade do aço carbono	16
2.1.3 Aço carbono SAE 4140	18
2.1.4 Usinabilidade do aço inoxidável	19
2.1.5 Aço inox AISI 410	20
2.2 A METODOLOGIA SEIS SGIMA.....	21
2.2.1 Vantagens do uso da metodologia	22
2.3 A METODOLOGIA DO DMAIC.....	24
2.3.1 Fase Definir	24
2.3.2 Fase Medir	25
2.3.3 Fase Analisar	27
2.3.4 Fase Melhorar	28
2.3.5 Fase Controlar	30
2.4 FERRAMENTAS DA QUALIDADE.....	31
2.5 CANO DO REVÓLVER.....	35
2.6 ARMAÇÃO DO REVÓLVER.....	37
3 METODOLOGIA	38
3.1 MÉTODO DE PESQUISA.....	38
3.2 METODO DE TRABALHO.....	39
4 ESTUDO DE CASO	40
4.1 FASE DEFINIÇÃO (D).....	40

4.1.1 Identificação do projeto	40
4.1.1.1 Patrocinador	40
4.1.1.2 Dono do processo.....	40
4.1.1.3 Equipe de projeto.....	41
4.1.1.4 Carta do projeto	41
4.1.2 Estudo de caso	42
4.1.2 Mapeamento do processo	45
4.1.3 Definição do Escopo do projeto	46
4.1.4 Definição da Meta	47
4.2 FASE MEDIÇÃO (M)	47
4.2.1 Desdobramento do processo das componentes	47
4.2.2 Desdobramento do processo de Montagem de Cano na Armação	49
4.2.3 Tratativas dos modos de falha	51
4.2.4 Capabilidade processo de usinagem da rosca da armação	52
4.2.5 Capabilidade processo de usinagem da rosca do cano	52
4.2.6 MSA Calibre de medição de rosca da armação	53
4.2.7 MSA Calibre de medição de rosca do Cano	60
4.3 FASE ANALISAR (A).....	66
4.3.1 Análise do Cp do processo de usinagem da rosca da armação	66
4.3.2 Análise do Cp do processo de usinagem da rosca do cano	66
4.3.3 Análise do Sistema de Medição de rosca da armação	67
4.3.4 Análise do Sistema de Medição de rosca do cano	67
4.4 FASE MELHORIA (M)	68
4.4.1 Realização de um dispositivo de pré-torque	68
4.4.2 Realização de um dispositivo de montagem	70
4.5 FASE IMPLEMENTAR (I).....	77
4.5.1 Implementação do sistema de pré-torque	77
4.5.2 Implementação do sistema de montagem	78
4.5.2.1 Definição do torque máximo de montagem	78
4.5.2.2 Definição do torque mínimo de montagem	79
4.6 FASE CONTROLAR (C).....	86
5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	88
5.1 CONCLUSÕES	88
5.2 TRABALHOS FUTUROS	90

1 INTRODUÇÃO

Devido aos problemas internos de não qualidade, convividos há longos anos, a busca pela otimização dos processos industriais e a busca por novos métodos para reduções dos custos e melhoria do produto final, torna-se cada vez mais necessária, a fim de garantir a sobrevivência da empresa. O processo de montagem do cano na armação é complexo, por ser um processo oriundo de componentes independentes, que são montados por rosqueamento com a aplicação de um torque. O rosqueamento é uma operação da área da manufatura que é mais delicada, se comparada com outras operações. Isto ocorre devido à dificuldade de se manter um bom perfil de rosca em ambas componentes, e por possuir uma tolerância extremamente justa, sendo essa operação sujeita a grandes variabilidades.

Com base neste processo de rosqueamento, a montagem do cano na armação é realizada com aplicação de um torque dentro de uma faixa de especificação, porém não existe um controle de montagem deste torque, o que ocasiona os modos de falha de soltar o cano por falta de torque, e quebrar o mesmo por torque excessivo.

Portanto, o presente trabalho tem por objetivo analisar as causas pelo qual ocorre tais modos de falha. Será utilizando a metodologia DMAIC, avaliando o processo existente, propondo e implementando melhorias de controle que visam sanar os problemas.

1.1 DEFINIÇÃO DO TEMA

As operações de rosqueamento de cano, que é realizado por usinagem em um torno CNC, e o rosqueamento da armação que é realizado por fresamento em um centro de usinagem vertical, tem como um dos principais problemas a dificuldade de garantir a posição especificada de parada de rosca. Quando as duas componentes (Cano e Armação) são montadas, deve-se obter uma defasagem de 20 à 30 graus faltantes para alinhamento das partes, o que se obterá através da aplicação de torque, que irá alinhar o conjunto e fixa-lo. Esta dificuldade de se obter o ângulo correto de defasagem no conjunto montado, parte da dificuldade de obtenção de atender a especificação nos componentes cano e armação separadamente, isto pode estar relacionado a diversos variáveis como falta de rigidez na máquina, fixação do porta

ferramenta, parâmetros de corte selecionados, material da peça, fluido de corte, etc., onde um ou o conjunto destes fatores podem influenciar durante a usinagem, prejudicando a integridade da superfície e dimensões da peça. Por existir uma especificação de torque de montagem, sendo ele o mínimo para que não solte o cano, e o máximo para que não quebre o mesmo, sendo que o conjunto cano e armação devam estar alinhados, optou-se por avaliar um método adequado de montagem que controle esses parâmetros e não permitam que a tomada de decisão fique na mão do operador. Além da análise desses fatores descritos, também se analisará a faixa de especificação atual, onde se especifica uma montagem de mínimo 4kgf e máximo 6kgf, tolerância essa muito justa pois depende do ângulo de defasagem, e diversos fatores atrelados as roscas das componentes, podendo variar este valor e tornar-se extremamente difícil atender a especificação.

1.2 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

O modelo de revólver testado, foi o modelo RT 410 que já apresentou falha. Os materiais aplicados nas amostras iniciais do experimento foram o aço carbono SAE 4140 e aço inoxidável AISI 410. Foram utilizados dispositivos de montagens manuais conforme processo atual, e posteriormente, após desenvolvimento, dispositivo com novo conceito automatizado onde se tem o valor de torque controlado. Os testes foram realizados na linha de manufatura de cano e armação para obtenção das amostras, e posteriormente na linha de montagem para validação dos testes. Teve-se também a validação do torque máximo anterior a quebra, que foi definido a partir dos ensaios de elementos finitos obtidos do laboratório de experimentos LAMEF, onde realizou-se o experimento através das nossas amostras de corpo de prova.

A realização da análise dos resultados foi feita através das medições de torque dadas no dispositivo, e o alinhamento visual de cano com a armação, sendo esse, o mesmo critério de liberação atual de processo.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral, avaliar os modos de falha de Cano Frouxo e Cano quebrado, definindo quais os limites de torque de montagem do cano na armação e implementando os controles necessários.

1.3.2 Objetivos Específicos

O objetivo específico do trabalho é obter e analisar os dados de torque

1.4 JUSTIFICATIVA

Correlacionando os dados obtidos nos experimentos, somado a definição de torque máximo atribuído pelo fornecedor externo, torna-se possível realizar o controle dos limites de torque com um processo robusto de modo que não irá liberar peças defeituosas e nem trancar peças boas. Sendo alocado um alarme ao dispositivo de montagem, de maneira que ele identifique a anomalia e já desmonte o conjunto, impossibilitando de que o operador libere produtos defeituosos. Este tipo de controle pode sanar problemas internos de não qualidade, e agregar assim fortemente em reduções de custos de processos fabris.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção encontra-se o referencial teórico sobre o tema abordado, estando diretamente ligado aos objetivos do trabalho.

2.1 PROCESSO DE USINAGEM

Com o objetivo de fundamentar basicamente alguns conceitos que envolvem o processo de usinagem, são descritos sucintamente as variáveis que envolvem este processo.

Conforme Santos (2007), fabricar consiste em transformar a matéria-prima em produto, seja ele acabado ou semiacabado. Sendo assim, essas alterações atreladas a matéria-prima, durante o seu processo de transformação, caracterizam os processos de fabricação.

O processo de usinagem é caracterizado pela transformação de matéria-prima em produto por meio da remoção de material na forma de cavacos. A retirada deste material se faz possível devido aos movimentos entre a ferramenta e a peça. (SANTOS, 2007).

Os autores ainda subdividem a usinagem em duas categorias distintas:

- a) Usinagem tradicional (convencional);
- b) Usinagem não-tradicional (não-convencional).

Na primeira, o material é retirado por cisalhamento devido à ação de uma ferramenta de corte. Já na segunda categoria, empregam-se outras modalidades de energia para remover o material, como laser, plasma, reações químicas, entre outros.

2.1.1 Ferramentas

Santos (2007) cita que uma ferramenta de corte ideal requer: elevada dureza, tenacidade, resistência ao desgaste, à compressão e ao cisalhamento, boa condutividade térmica, baixo coeficiente de expansão volumétrica e elevada inércia química.

Dureza a quente, resistência ao desgaste e à compressão são características fundamentais para o bom desempenho de uma ferramenta de corte, já que as condições às quais serão submetidas envolvem elevadas tensões e temperaturas. A tenacidade é a propriedade que torna a ferramenta resistente ao choque, o que é importante no corte interrompido. A boa condutividade térmica garante maior uniformidade na distribuição de temperaturas, tornando o efeito menos danoso. O baixo coeficiente de expansão volumétrica é essencial para a manutenção das dimensões da ferramenta. A inércia química garante que não ocorram reações químicas entre os materiais da ferramenta e da peça (SANTOS et al., 2007, p. 101).

Para que haja uma seleção criteriosa do material da ferramenta a ser utilizada se faz necessária a análise do material a ser usinado, o processo de usinagem, as condições da máquina operatriz, as formas e as dimensões da ferramenta, o custo do

material da ferramenta, as condições de usinagem e as condições da operação. (DINIZ, 2010)

O cuidado em relação a essas variáveis, segundo Diniz (2010), assegura a escolha da ferramenta ideal a ser utilizada no processo de usinagem.

2.1.2 Usinabilidade do aço carbono

Uma porcentagem muito elevada das operações de usinagem em aço é realizada usando aço rápido ou ferramentas de metal duro. A orientação para seleção da melhor velocidade de corte e avanço para uma operação em particular envolve muitos fatores. Fabricantes e livros de usinagem muitas vezes propõem velocidades de corte e avanços nominais para diferentes aços. Deve se ter em mente que, segundo Trent (2010) o fator mais comumente relacionado é a velocidade de corte nominal com a dureza do aço.

Segundo Ebah (2016), a Tabela 1 fornece valores teóricos da quantidade de sobre material à ser removido, para processo de alargamento com ferramenta de metal duro. Muitas das recomendações têm a finalidade de dar um ponto de partida para o início da usinagem. Ainda, a Tabela 2, orienta para parâmetros de corte utilizados na usinagem de aço carbono e aço carbono de baixa liga de diferentes resistências e dureza.

Tabela 1 - Quantidade de sobre metal à ser removido no diâmetro (mm)

Material a ser usinado	Diâmetro do Furo				
	Até 2 mm	2 - 5 mm	5 - 10 mm	10 - 20 mm	Acima de 20 mm
Aços até 700 N/mm ²	Até 0,1	0,1 – 0,2	0,2	0,2 – 0,3	0,3 – 0,4
Aços acima de 700 N/mm ²	Até 0,1	0,1 – 0,2	0,2	0,2	0,3
Aço inoxidável	Até 0,1	0,1 – 0,2	0,2	0,2	0,3
Material sintético mole	Até 0,1	0,1 – 0,2	0,2	0,2	0,3
Latão, Bronze	Até 0,1	0,1 – 0,2	0,2	0,2 – 0,3	0,3
Ferro fundido	Até 0,1	0,1 – 0,2	0,2	0,2 – 0,3	0,3 – 0,5
Alumínio e Cobre eletrolítico	Até 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,3	0,3 – 0,4	0,4 – 0,5
Material sintético rígido	Até 0,1	0,1 – 0,2	0,2	0,4	0,5

Fonte: adaptado de Ebah (2016).

Tabela 2 - Parâmetros de corte em alargamento com ferramentas de metal duro

Material a ser usinado	Velocidade de corte (m/min)	Avanço (mm/rot)			Fluído de corte
		Até 10 mm	Até 20 mm	Acima de 20 mm	
Aços até 500 N/mm ²	10 – 12	0,1 – 0,2	0,3	0,4	Emulsão
Aços de 600 a 700 N/mm ²	8 – 10	0,1 – 0,2	0,3	0,4	Emulsão
Aços de 700 a 900 N/mm ²	6 – 8	0,1 – 0,2	0,3	0,4	Emulsão ou óleo de corte
Aços acima de 900 N/mm ²	4 – 6	0,1 – 0,2	0,3	0,4	Emulsão ou óleo de corte
Ferro fundido até 220 HB	8 – 10	0,2 – 0,3	0,4 – 0,5	0,5 – 0,6	Emulsão ou óleo de corte
Ferro fundido acima de 220 HB	4 – 6	0,2	0,3	0,4	Emulsão ou óleo de corte
Aço inoxidável	3 – 5	0,1 – 0,2	0,2 – 0,3	0,4	Óleo de corte
Latão	10 – 12	Até 0,3	0,4	0,5 – 0,6	A seco ou emulsão
Bronze	3 – 8	0,1 – 0,2	0,2 – 0,3	0,4	Emulsão
Cobre eletrolítico	8 – 10	0,1 – 0,2	0,2 – 0,3	0,5 – 0,6	Emulsão
Alumínio	15 – 20	Até 0,3	0,4	0,5 – 0,6	A seco ou emulsão
Material sintético rígido	3 – 5	Até 0,3	Até 0,5	0,5	A seco
Material sintético mole	5 – 8	Até 0,4	Até 0,5	0,6	A seco

Fonte: adaptado de Ebah (2016).

Seguindo, a Tabela 3 fornece valores teóricos de parâmetros de corte a serem utilizados na usinagem de aço carbono, considerando alargadores de aço rápido (HSS).

Tabela 3 - Parâmetros de corte em alargamento com ferramentas de Aço Rápido

Material a ser usinado	Dureza (HB)	Velocidade de corte (m/min)	Avanço (mm/rot)			
			Até 3 mm	Até 6 mm	Até 12 mm	Até 25 mm
Aços AISI 1020, 1045, 4140, 7140 e 8620	85 até 125	20	0,1	0,18	0,25	0,4
	125 até 175	17	0,075	0,12	0,25	0,4
	175 até 225	14	0,075	0,1	0,2	0,3
	225 até 275	12	0,06	0,1	0,2	0,3
	275 até 325	9	0,06	0,1	0,2	0,3
	325 até 375	7,5	0,05	0,07	0,12	0,2
	375 até 425	6	0,05	0,07	0,1	0,18

Fonte: adaptado de Boletim Técnico INDAÇO (2015, p. 3).

2.1.3 Aço carbono SAE 4140

Comumente, aços são de grandes aplicações na indústria, com aplicações em diversas áreas, tendo extrema variedade de utilização e aplicados de encontro as suas propriedades. Os aços de baixa liga, da família SAE 41xx são ligados ao Cromo ($\approx 1\%$) e ao Molibdênio ($\approx 0,2\%$), que podem alcançar altas resistências por meio dos tratamentos térmicos de têmpera e revenimento, isso depende da aplicação que deseja.

Por meio dos tratamentos térmicos convencionais, se pode obter material de acordo com a aplicação desejada, respeitando os limites de dureza e tensões. Aços podem até atingir tensão limite de escoamento entre 410 MPa e 965 MPa, e ainda alcançar um limite de resistência à tração de até 1650 MPa. Como principais aços da família 41xx tem-se o AISI/SAE 4130, 4140 e 4145, sendo o 4140 e o 4145 os mais empregados na indústria metal-mecânica. (ASM HANDBOOK, 1990).

O aço da série 4140 é classificado como aço médio carbono ligado para beneficiamento. Este aço possui teores de carbono entre 0,3% e 0,5% em sua estrutura, logo, explica-se a classificação de um aço de médio carbono. Podem chegar a temperaturas de até 480°C, no entanto, valores que ultrapassem dada temperatura, reduzem a resistência do material rapidamente (ROCHA, 2004).

A Tabela 4 apresenta as propriedades mecânicas médias para esse tipo de aço.

Tabela 4 - Propriedade mecânicas do AÇO SAE 4140

Propriedades		Condições	
		T (°C)	Tratamento
Densidade (10kg/m³)	7,7-8,03	25	-
Coefficiente de Poisson	0,27-0,3	25	-
Módulo de Young (GPa)	190-210	25	-
Resistência à Tensão (MPa)	655	25	Normalizado à 870 °C
Tensão de Escoamento (MPa)	417,1	25	Normalizado à 870 °C
Alongamento (%)	25,7	25	Normalizado à 870 °C
Redução de área (%)	56,9	25	Normalizado à 870 °C
Dureza (HB)	197	25	Temperado à 815 °C
Resistência à Impacto (J)	54,5	25	Temperado à 815 °C

Fonte: adaptado de Tourinho (2015, p. 20).

Este tipo de aço possui como principais características, má soldabilidade, usinabilidade razoável e uma alta temperabilidade, podendo chegar sua dureza na condição temperada de 54 a 59 HR_C.

O material SAE 4140 é aplicado na fabricação de automóveis, aviões, bielas, parafusos, etc. Tal material possui elevada dureza e resistência à tenacidade, logo, se é exigido à utilização do mesmo na fabricação dos itens mencionados. (ROCHA, 2004).

2.1.4 Usinabilidade do aço inoxidável

Em determinados produtos e funcionalidades é requerido outro tipo de aço com determinadas características e propriedades específicas. Em comparação a aços comuns, o aço inoxidável apresenta maiores dificuldades de usinabilidade. Porém, vale ressaltar conforme Infomet (2016) que os aços inoxidáveis ferríticos e martensíticos não são especialmente difíceis de usinar, em contrapartida os aços austeníticos são de extrema dificuldade de usinagem, onde a usinabilidade piora com o aumento o teor de elementos de liga. Entende-se que essa dificuldade seja causada principalmente pela alta taxa de encruamento e baixa condutibilidade térmica, dificultando a formação de cavaco durante a operação de usinagem.

Utiliza-se a adição de elementos de ligas em alguns casos, para atingir determinadas características específicas. Para melhorar a usinabilidade dos aços inoxidáveis, geralmente o enxofre é o elemento mais aplicado, no entanto, o mesmo

provoca a queda da deformação plástica a quente do aço, e também causa queda da resistência à corrosão. O fósforo, e o selênio também melhoram a usinabilidade do aço inoxidável, porém, provocam a queda de outras propriedades e podem produzir efeitos indesejados em sua aplicação.

2.1.5 Aço inox AISI 410

Nos diversos setores industriários são comumente utilizados aços inoxidáveis martensíticos. Pode-se considerar como principal diferença entre as demais classes, a possibilidade de sofrer tratamento térmico de têmpera e revenimento, com a finalidade de obter níveis elevados de resistência mecânica, e ainda assim manter sua boa resistência à corrosão.

Existem diversos tipos de aços inoxidáveis martensíticos, que são classificados e divididos pela “*American Iron and Steel Institute - AISI*”, que irão divergir por sua vez pela composição química, tendo influência diretamente ao tratamento térmico e aos níveis de resistência à corrosão. Os aços mais utilizados nessa família são o AISI 410, AISI 420 e AISI 440. Estes aços poder trabalhar em um alto campo de resistência mecânica, por exemplo, entre 800 e 2.200 MPa, ou 23 a 60 HR_c.

As aplicações variam de acordo com o projeto e o que se deseja. Para o tipo AISI 410, suas principais aplicações, são encontradas na indústria química e petroquímica como, por exemplo: partes de sistemas estruturais, em válvulas, turbinas e bombas, tubos e flanges, conexões, parafusadeiras em geral, etc.

Os aços inoxidáveis martensíticos possuem uma composição química extremamente balanceada, a fim de combinar uma boa resistência à corrosão em diferentes ramos, e também possuir assim, a possibilidade de endurecimento no tratamento térmico de têmpera e revenimento. A Tabela 5 apresenta composições químicas típicas para estes aços.

Tabela 5 - Composição química de aço inoxidável martensítico (% em massa)

AISI	C	Cr	Ni	V
410	0,10	12,1	0,28	-
420	0,40	13,5	0,21	0,27

Fonte: Heat Tech (2009, p. 1).

Esses tipos de aços possuem boa resistência à corrosão em meios considerados de média agressividade como: CO₂, água, óleo, gasolina, álcool,

mercúrio e solventes orgânicos. Possuem boa resistência à oxidação em trabalhos contínuos até 650 °C, e em trabalhos intermitentes até 750°C.

Os aços inoxidáveis martensíticos, podem sofrer tratamento de têmpera e revenimento. Normalmente são temperados a partir da temperatura de austenitização, entre 930°C à 1030°C. O processo de tratamento térmico sob vácuo, garante melhor homogeneidade estrutural e propriedades mecânicas, ao longo da estrutura e núcleo, deixando um ótimo acabamento da superfície e melhor estabilidade das dimensões. O processo do tratamento de revenimento deve ser realizado imediatamente após a têmpera, com a finalidade de melhorar os níveis de dureza e tenacidade, buscando atender as condições em projeto.

2.2 A METODOLOGIA SEIS SIGMA

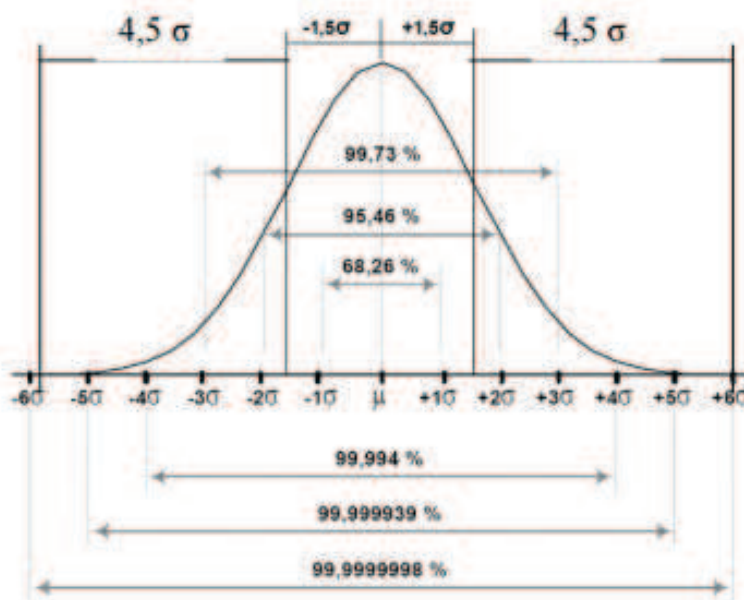
Seis Sigma é uma metodologia de trabalho que visa melhorar o sucesso comercial das empresas através do entendimento das necessidades do cliente, concentrando-se nele e no produto. (ROTONDARO, 2002). Conforme Werkema (2011), a metodologia tem por objetivo aumentar significativamente a lucratividade da empresa através da melhoria de processos, melhorando a qualidade dos produtos e serviços, isto resulta no aumento da satisfação do cliente.

A metodologia do Seis Sigma teve origem em 1987, na Motorola. Nos dias atuais as empresas utilizam o Seis Sigma para aumentar seu desempenho e performance. Sua origem na Motorola, teve como principal função manter a permanência dos negócios da empresa (PANDE et al, 2010). Neste período a companhia enfrentava alta concorrência de outras empresas, que produziam produtos melhores com custos inferiores. Apesar de obter sucesso, ele só ficou conhecido a partir de 1988, quando a empresa recebeu o Prêmio Nacional da Qualidade Malcom Baldrige. A partir disso, outras empresas passaram a utilizar a metodologia, como Asea Brown Boveri, Kodak e Sony.

A termo Sigma foi utilizado primeiramente na Motorola sendo “as exigências do cliente”, enquanto “Seis Sigma” era a meta ambiciosa de qualidade quase perfeita (PANDE *et al*, 2010). Nos processos atuais o termo Sigma é visto como a capacidade do processo de ser livre de defeitos (ROTONDARO, 2002). Considerando-se uma amostra normalmente distribuída, é possível determinar a distribuição percentual total da produção que estará dentro dos limites de especificação a partir da média e do

desvio padrão (SHINGO, 1991b). A relação entre a medida Sigma e o percentual de peças dentro da especificação é mostrada abaixo na Figura 1:

Figura 1 - Relação entre nível Sigma e percentual de peças dentro do especificado, para uma distribuição normal



Fonte: Tennant (2002)

Muitas empresas utilizam o padrão de performance de 3 Sigma (STAMATIS, 2004). A longo prazo, isto levará a uma taxa de produtos dentro da especificação de 99,73%. Em contrapartida, quando a filosofia Seis Sigma é definida como meta, isso corresponde a uma taxa de performance de 99,999998% de produtos dentro do especificado, ou 1,2 falhas por bilhão. A diferença entre 3 Sigma e 6 Sigma representa um verdadeiro avanço na performance organizacional, podendo elevar o nível de competitividade com relação ao mercado.

2.2.1 Vantagens do uso da metodologia

Os principais objetivos da utilização da metodologia Seis Sigma são (STAMATIS, 2004):

- Reduzir a variação;
- Aumentar a satisfação do cliente;
- Aumentar a produção;

- Reduzir defeitos;
- Assegurar a melhoria contínua;
- Aumentar o valor para o acionista

Segundo Pande (2010), com o atingimento desses resultados, diversos benefícios são concebidos à empresa:

- Gera o sucesso sustentado: o Seis Sigma cria as habilidades e cultura para uma renovação constante. Reformula continuamente a organização é a única maneira de reter o controle sobre mercados e clientes em continua alteração.
- Determina uma meta de desempenho para todos: em empresas de todos os tamanhos, é de extrema dificuldade fazer com que todas as áreas trabalhem em torno de uma meta em comum. Cada setor e unidade de negócios possui projetos e metas individuais. No entanto, a busca comum entre todas as áreas é a excelência na produção de seus produtos para o cliente. A metodologia Seis Sigma unifica esta meta para todos, criando a conexão entre o processo e o cliente, e que seja a mais próxima possível da perfeição.
- Intensifica o valor para os clientes: o foco no cliente que o Seis Sigma prega é entender o que significa valores para clientes atuais e potenciais, traçando metas de entregáveis, de maneira lucrativa. Fornecer produtos bons não é apenas a garantia de sucesso e rentabilidade, mesmo que nos dias atuais está qualidade seja superior à dos concorrentes. Com a grande competitividade entre as organizações, a qualidade deve ser absolutamente imprescindível, de forma que o produto da empresa seja a única escolha do cliente.
- Executa mudanças estratégicas: ao compreender melhor seus processos e procedimentos, as empresas terão mais capacidade de avaliar os ajustes em sua política estratégica, sejam eles pequenos ou grandes ajustes.

2.3 A METODOLOGIA DO DMAIC

O modelo DMAIC consiste na metodologia oficial para solução de problemas do Seis Sigma (STAMATIS, 2004, PYZDEK, 2011, WERKEMA, 2011). Existe uma maneira de abordar esse sistema, de forma que se enderece os problemas já existente, e outra maneira, que seria prevenir as ocorrências destes problemas. A abordagem do DMAIC é funcional, baseada em métodos testados e comprovados.

2.3.1 Fase Definir

Trata-se da etapa inicial, é de extrema importância para o início do projeto. Nesta etapa define-se o time de projeto com os papéis e responsabilidades. Entende-se que seja de maior agregação, a equipe ter um participante de cada área envolvida, que tenha experiência e voz ativa, perante os demais departamentos da empresa. A partir dos requisitos do cliente são listados projetos potenciais, com o uso do diagrama de causa-efeito e priorização dos projetos possíveis. Um bom método para iniciar as análises dos diagramas de causa efeito e priorizações é uma revisão das etapas do processo. As etapas da fase definir são:

- Definir o problema: a definição do problema deve ser baseada em dados históricos disponíveis. Toda avaliação deve ser realizada com base em fatos e nenhuma suposição deve ocorrer.
- Identificar o cliente: nesta etapa deve ser identificado quem é diretamente impactado pelo problema e a que custo, identificando todos os afetados pela não qualidade.
- Identificar as características críticas para a qualidade: o time do projeto deve identificar o que é importante para cada cliente.
- Mapear o processo: nesta etapa se é detalhado extensivamente e visualmente cada etapa do processo, identifica-se os pontos críticos para o cliente. Uma das vantagens de mapear o processo, é o desdobramento de um processo complexo em

etapas mais simples. Esta segmentação permite analisar e tratar cada etapa, identificando as entradas, saídas e gargalos do processo, bem como atividades que não agregam valor. Por fim, mapear ao processo permite ao time entender realmente como o processo está ocorrendo.

- Definir o escopo do projeto: nesta fase, o grupo do projeto deve detalhar os problemas que o grupo se propõe a tratar e resolver, refinando a definição do problema. O grupo também deve avaliar as causas para a variabilidade, um exemplo bom à ser utilizado é a técnica de *brainstorming*. A ideia da definição do escopo é limitar o grau de atuação do projeto, a um nível que o time consiga atuar dentro das suas limitações na companhia.

Ao final desta fase, é esperado que o time totalmente inserido dentro do projeto, e tenha pleno conhecimento a respeito das características críticas do processo e de como o cliente as percebe. Baseado neste entendimento, é comum que a definição do problema seja reescrita, com maior nível de informação a respeito das necessidades do projeto.

2.3.2 Fase Medir

Na segunda etapa da metodologia, o time deve estabelecer uma forma de coletar os dados necessários ao projeto. Os dados coletados devem apresentar a condição atual do processo, de forma a poder se observar oportunidades de melhoria. De tal forma em que o levantamento dos dados definirá o padrão de comparação do processo antes e após melhorias, definindo a mesma base de comparação de desempenho no início e ao fim do projeto. Os dados podem ser apresentados por histogramas, medições de capacidade e gráficos de Pareto. Durante esta fase, antes de realizar medições que retratem a condição atual do processo, é necessário validar o sistema de medição. As etapas da fase medir são apresentadas a seguir:

- Identificar medições e fontes de variação: o grupo deverá identificar os requisitos de medição e variabilidade, identificando as possíveis causas da variação e seus impactos no processo. Existem dois tipos possíveis de variação (STAMATIS, 2004):

- Causas comuns: causas comuns geram variação no processo a partir das fontes comuns de variação do 6M (máquina, mão-de-obra, método, matéria-prima, medição e meio-ambiente). Essas variações estão presentes e ocorrem em todos os momentos do processo, sendo previsíveis. Geralmente são difíceis de ser modificados (como por exemplo a temperatura de trabalho em uma fábrica de ambiente aberto). Entretanto, esses fatores podem ser monitorados, de forma a criar condições de contorno. Em geral, causas comuns oferecem oportunidade de melhoria;

- Causas especiais: esse tipo de causa é gerado por variações inesperadas, geralmente relacionadas a uma das fontes de variação do 6M. Esse tipo de causa nem sempre está presente e não afeta todas as peças produzidas.

- Determinar o tipo de dado: a partir das informações da etapa de definir, o time do projeto define de quais características e processos devem ser buscados dados históricos. Esses dados podem ser:

- Dados atributivos: dados coletados por contagem de eventos, como peças dentro e fora do especificado (Ok e não ok), por exemplo. Esse tipo de dado não pode ser subdividido, sendo consideradas variáveis discretas;

- Dados variáveis: dados coletados com um resultado, como o valor de uma altura, por exemplo. Esse tipo de dado pode ser classificado e dividido em infinitas classes, com maior precisão. Estas são consideradas variáveis contínuas;

- Definir método para coleta de dados: definir um plano e uma metodologia para coleta dos dados é importante para ter um retrato real do processo. Devem ser levados em conta as fontes potenciais de variação do processo, quem irá realizar as medições, os ciclos existentes no processo e como os dados coletados serão abordados e apresentados.

- Realizar a análise do sistema de medição: o time do projeto deve realizar uma análise dos métodos e meios de medição a serem utilizados antes de iniciar as medições do projeto. O resultado da análise de MSA (*Measure System Analysis*) indica se a variação dos dados vem das variações do processo ou do sistema de

medição, o que é de suma importância saber. A análise deve iniciar com a coleta de amostras e prosseguir com a avaliação do sistema, que contém diversas ferramentas para analisá-lo e aprovar o sistema ou não. Se o resultado do MSA for inaceitável (com a variação vindo do meio de medição), não se deve iniciar a coleta dos dados para o projeto via este meio. Primeiramente deve-se corrigir o sistema (seja o equipamento, o método ou o treinamento do operador), para posteriormente seguir com as tomadas de medições.

- Coletar os dados: após as etapas de preparação e aprovação do sistema de medição, deve-se iniciar a coleta dos dados. É necessário planejamento e verificação de que a coleta está sendo apropriada e precisa, fornecendo informação suficiente para identificar as causas do problema, indica-se seguir um método lógico para esta tomada de dados, que deve ser flexível conforme o processo existente. É necessário certificar-se que a coleta está sendo consistente. Algumas regras gerais sugeridas incluem evitar delegar a tarefa de coleta, definir um padrão de formulário e treinar adequadamente os operadores que farão a coletas, esta padronização se torna imprescindível para ter um resultado mais assertivo e confiável.

Ao final desta fase, é esperado ter um sistema de medição analisado e validado. Em seguida, obter um plano para coleta de dados que especifique o método de medição, com especificação do meio de medição e instrução padronizada. Os tamanhos e frequências de amostra devem ser definidos, com resultados preliminares do processo atual conhecidos e apresentados, ou seja, vão de acordo com a capacidade do processo.

2.3.3 Fase Analisar

A terceira etapa da metodologia do DMAIC é a de análise dos dados. Nesta fase deve-se concentrar as avaliações e revertê-las em oportunidades de melhoria. Existe a possibilidade de que, nesta etapa, as conclusões geradas criem a necessidade de redefinição da descrição do problema, por conta de novas descobertas de fontes de variação que ainda não eram conhecidas.

Outra demanda comum que surge na fase de análise é a necessidade de coletar mais dados, de maneiras diferentes ou a partir de variáveis não previstas na fase medir. As etapas a cumprir nesta fase são:

- **Análise de capacidade:** a análise de capacidade deve ser utilizada para definir e representar o nível atual de performance do processo. A avaliação da capacidade deve ser de curto prazo, a fim de permitir uma comparação antes e depois das melhorias a serem implementadas;
- **Aplicar ferramentas de análise gráfica:** ao utilizar ferramentas gráficas, é possível facilmente demonstrar visualmente a performance atual do processo, e de maneira comparativa poder enxergar um retrato antes e depois;
- **Identificar fontes de variação:** a etapa crucial desta fase do projeto envolve identificar as fontes de variação do processo para permitir definir ações para eliminá-las na etapa de melhorar do DMAIC;

Ao final desta etapa, espera-se que o time do projeto tenha definidas as oportunidades de melhoria para o problema abordado. Também deve-se ter claramente demonstrado como foi a abordagem da análise dos dados, assim como quais são as causas raiz que contribuem para o problema. Por fim, é necessário apresentar como foram identificadas as fontes de variação. Na etapa de analisar, deve-se focar os esforços em determinar fontes de variação para o problema definido na fase definir. Deve haver entendimento claro dos fatores que impactam o processo, sendo as variáveis e fontes de variação.

2.3.4 Fase Melhorar

Na fase melhorar, o time do projeto deve reunir-se e avaliar potenciais melhorias para o processo a partir dos dados obtidos e analisados na etapa anterior. Algumas técnicas sugeridas são o *brainstorming* de ideias, testando e implementando melhorias e a realização de estudos de DOE, um método eficaz para validar melhorias. As etapas desta fase são:

- Criar alternativas de melhoria: o grupo deve criar alternativas para testar melhorias no processo. Geralmente recomenda-se as ferramentas de *brainstorming* e DOE. Para qualquer uma das opções, é possível que muitas sugestões de melhoria sejam levantadas. Recomenda-se criar uma matriz de soluções possíveis. Esta matriz deve conter classificações de critérios obrigatórios para as melhorias a serem implementadas, além de critérios desejáveis. Após lista-las, o time deve atribuir pesos para cada critério, baseado em seu conhecimento e experiência. A partir disso, a multiplicação dos fatores permite apontar qual devem ser as melhorias a serem realizadas. Outras opções de classificação podem envolver priorizações por custo, tempo ou efeito no cliente.

- Mapear o processo ideal: este mapeamento serve para idealizar o processo mais ideal possível que o time tem possibilidade de implementar. O mapa ideal deve servir de entrada para o FMEA.

- Implementar um piloto: Após determinar quais melhorias serão postas em prática, o time deve definir uma maneira de implementar esta melhoria em fase de *tryout/* teste. Durante este período, a nova condição deve ser testada em baixa demanda e com acompanhamento do time do projeto.

- Validar melhorias: Por fim, deve-se determinar se as melhorias propostas tiveram efeito. Para esta validação, sugere-se comparar a capacidade do processo antes e depois da melhoria.

Ao final desta etapa, é esperado que o time do projeto tenha a lista das melhorias implementadas e o mapeamento do novo processo em funcionamento a partir de um lote piloto das melhorias, monitorando seu efeito sobre as variações do processo.

2.3.5 Fase Controlar

A última etapa da metodologia envolve o monitoramento da performance do processo após as mudanças implementadas na fase anterior. Nesta fase deve haver uma transição entre as melhorias implementadas e as formas de controle para garantir que as melhorias se sustentarão no processo. Nesta transição deve-se transferir o controle do processo do time do projeto para a equipe da fabril. Para garantir o sucesso desta etapa, deve-se detalhar o plano de controle. Descrever as informações necessárias ao bom andamento do processo, como o responsável por controlar e monitorar o processo, o que deve ser medido, os parâmetros de performance e medidas corretivas a serem implementadas em caso de anomalias. O detalhamento do plano de controle é a chave do sucesso desta fase para sustentação do processo. Para que a etapa do controle seja efetiva, alguns fatores chave devem ser considerados:

- Dispositivos a prova de erro (Poka-Yoke): este tipo de dispositivo tem a função de impedir que o erro ocorra. Como a detecção ocorre na fonte, o erro não se transforma em uma peça defeituosa, portanto não gera custo e não impacta o cliente;
- Plano de análise de MSA de longo prazo: similar ao estudo de MSA original realizado na fase medir. Verifica todos os aspectos da coleta de dados e os estudos realizados, e os relacionam com a melhoria realizada. Utilizado para determinar como as medições serão gerenciadas com o tempo para manter os níveis desejados do processo;
- Cartas de controle: representações gráficas relativamente simples que permitem ao operador monitorar o estado do seu processo, de extrema importância para controlar o processo e ter um auxílio visual da situação do mesmo;
- Plano de reação: fornece detalhes de ações que devem ser tomadas quando as cartas de controle ou medições realizadas indicarem uma necessidade de intervenção no processo. Direciona a solução do problema quando este for detectado, agilizando a tomada de decisão;

- Instruções de trabalho revisadas: as instruções de trabalho devem ser utilizadas para detalhar as melhorias e auxiliar no treinamento dos operadores da fábrica, são de suma importância, e devem ser dispostas de forma clara para que qualquer pessoa leiga possa compreender.

Ao final desta etapa, o dono do processo deve entender o novo nível sigma do processo, em outras palavras o novo patamar de qualidade. Deve ficar claro como monitorá-lo para garantir os indicadores e como endereçar correções se o processo sair do controle. Neste momento o time do projeto encerra as atividades e volta à sua rotina.

2.4 FERRAMENTAS DA QUALIDADE

Pyzdec; Keller (2001) listam algumas técnicas utilizadas como ferramentas em sistemas de gestão da qualidade ou em projetos Seis Sigma, a seguir estão descritas:

- *Brainstorming*: O brainstorming (ou “tempestade de ideias”) é uma técnica de dinâmica de grupo que é desenvolvida para explorar a potencialidade criativa do indivíduo, sendo utilizada para buscar um objetivo em comum. A técnica de *brainstorming* funciona para problemas que têm muitas soluções possíveis e durante a geração de ideias para o seu modelo, é necessário coletar toda a informação que pode relacionar-se com o problema. Além disso, há a geração de ideias por brainstorming na busca por soluções criativas que impulsionem a participação de todos os envolvidos, indica-se a equipe envolvida na tempestade de ideias, pessoas conhecedoras do processo e pessoas com experiências em outras áreas, pois podem contribuir para o estudo.

- *Folha de Verificação*: É um formulário no qual os itens a serem verificados para a análise do problema já estão impressos, com o objetivo de facilitar a coleta e o registro dos dados. O modelo de folha de verificação depende do objetivo da coleta de dados e de cada processo, normalmente é construído após a definição dos padrões para a estratificação dos dados. Tal método permite que a equipe registre e compile dados coletados de fontes históricas ou de observações realizadas durante a

ocorrência dos processos ou fenômenos, possibilitando que padrões e tendências possam ser claramente detectados e apresentados;

- Gráfico de Pareto: Trata-se de um gráfico de barras verticais que serve para priorizar os recursos sobre os problemas que oferecem os maiores potenciais de melhoria, além de demonstrar a importância relativa dos problemas em um formato visual de simples e rápida interpretação. A informação assim disposta também permite a indicação de metas numéricas viáveis de serem alcançadas e o princípio de Pareto classifica os problemas relacionados à qualidade em duas categorias: os poucos relevantes e os muito triviais. Conforme o Pareto, no primeiro momento, a atenção deve-se sobre os pontos muito relevantes, já que estes resultam em grandes perdas para a empresa, apesar de representarem um pequeno número de problemas;

- Diagrama de Causa e Efeito: Utilizado para sinalizar a relação existente entre um resultado de um processo (efeito) e os fatores (causas) do processo que, por razões técnicas, possam influenciar no resultado considerado. É aplicado nas sessões de “brainstorming” realizadas nos trabalhos em grupo e utilizado para juntar e apresentar as possíveis causas do problema, atuando como base para a identificação da causa principal deste problema e a determinação das ações corretivas que deverão ser adotadas. Ele permite à equipe identificar, explorar e graficamente demonstrar em detalhes todos os possíveis fatores (causas) relacionados a um problema ou condição (efeito);

- Histograma: Gráfico de barras que mostra as informações de uma forma em que é possível a visualização do modo de distribuição de um conjunto de dados, além da percepção da localização do valor central e da dispersão dos dados em torno do mesmo. A comparação de histogramas com os limites de especificação permite avaliar se um processo está centrado no valor nominal e se é necessário adotar alguma medida para reduzir a variabilidade do processo;

- Índice de Capacidade de Processos (CP e CPK): Avalia se um processo é capaz, com base na sua variabilidade e centralização. Os índices de capacidade processam as informações de forma que seja possível indicar que um processo é capaz de gerar

produtos que atendam às especificações provenientes de clientes internos e externos, e com qual taxa de aderência à especificação;

- **Gráficos de Controle:** Ferramenta que dispõe os dados de modo a permitir a visualização dos limites de controle estatístico de um processo e o monitoramento do mesmo, quanto à posição e à dispersão, de itens de controle do processo. É importante verificar a estabilidade dos processos, já que processos instáveis não podem ser classificados como controlados e, provavelmente, irão resultar em produtos defeituosos, além de haver a perda por ineficiência, baixa qualidade e de modo geral, a perda da confiabilidade do cliente;

- **Amostragem:** As técnicas de amostragem permitem que sejam coletados dados de forma eficiente, através de tamanhos ideais de amostras, para representarem a totalidade dos elementos que constituem o universo de interesse (população). A coleta dos dados deve ser realizada observando uma metodologia adequada para que os resultados possam ser utilizados para a população como um todo;

- **Avaliação de Sistemas de Medição (MSA):** Estas técnicas permitem a avaliação do grau de confiabilidade dos dados gerados pelos sistemas de medição utilizados, e serve para compreender as variabilidades que podem influenciar nos resultados de medição. Desta forma, antes de se iniciar a análise de um processo, é preciso avaliar, os métodos de medição utilizados. Tem de indicar um sistema que é capaz de detectar, e robusto o suficiente para poder definir com confiabilidade qualquer mudança nas características medidas. A repetitividade de um sistema de medição pressupõe que a variabilidade do sistema é consistente. Isso porque ela exprime a variação nas medidas obtidas com um instrumento de medição quando usados várias vezes pelo mesmo avaliador, medindo as mesmas características na mesma peça, levando em consideração também um método padronizado para tal medição. A reprodutividade de um sistema de medição é a variação na média das medidas obtidas quando diferentes operadores utilizam o mesmo instrumento para medir repetidas vezes a característica de interesse na mesma peça;

- **Diagrama de Priorização (DP):** Esta ferramenta processa as informações contidas em um conjunto de dados compostos por um grande número de variáveis,

de forma que estas variáveis possam ser representadas por apenas duas ou três características gerais. O DP estabelece uma classificação numérica de prioridade entre as opções e define a priorização dos fatores componentes de um problema, sendo utilizado quando os pontos-chaves do mesmo forem identificados, mas sua quantidade tem que ser diminuída. O DP também é utilizado quando existe concordância sobre os fatores, mas discordância sobre a ordem de abordagem destes fatores, e quando existem limitações de recursos humanos e financeiros e uma grande quantidade de problemas. Nestes casos, é necessário que as opções para solução do problema estejam bem correlacionadas;

- **Teste de Hipótese:** O objetivo desta ferramenta é resolver se uma afirmação sobre um parâmetro de certa população é coerente ou não. Quando se realiza teste de hipóteses, dois tipos de erros são possíveis, o tipo um e o tipo dois. Os riscos desses dois erros são determinados pelo nível de significância e o poder do teste. O responsável pelo teste deve determinar qual o nível de significância e qual o poder que deseja para o teste. Quando a hipótese nula é verdadeira e é rejeitada, acontece o erro do tipo um. A probabilidade de cometer um erro do tipo um é indicada pelo símbolo alfa (α), que é o nível de significância definido para o teste de hipóteses. Um α de 0,05 indica que será aceito uma chance de 5% de que está errado rejeitar a hipótese nula. Para reduzir este risco, deve ser usado um valor inferior para α , porém, usar um valor inferior para alfa significa que a probabilidade de detectar uma diferença verdadeira será menor, quando existir uma realmente. Quando a hipótese nula é falsa e não é rejeitada, acontece o erro de tipo dois. A probabilidade de cometer um erro de tipo 2 é indicada pelo símbolo beta (β), que depende do poder do teste. O risco de cometer um erro do tipo 2 será menor quando é assegurado que o teste tenha potência suficiente. Para isso é necessário garantir que o tamanho amostral seja grande o suficiente para identificar uma diferença quando ela realmente existir. A potência do teste é a probabilidade de rejeitar a hipótese nula quando ela é falsa, isso é identificado como $1-\beta$. O valor-p é definido como a probabilidade de se observar um valor da estatística de teste maior ou igual ao identificado. Tipicamente, o valor de corte para rejeitar a hipótese nula é de 0,05, isso significa que, quando não há nenhuma diferença, um valor tão afastado para a estatística de teste é previsto em menos de 5% das vezes.

Após a apresentação de técnicas e ferramentas que podem ser utilizadas, pode se observar no Quadro 1, sugestões de como podem ser trabalhadas as fases do DMAIC, descrevendo sucintamente cada etapa, as saídas de cada uma e as respectivas técnicas e ferramentas de auxílio.

Quadro 1 - Entradas, saídas, técnicas e ferramentas do DMAIC

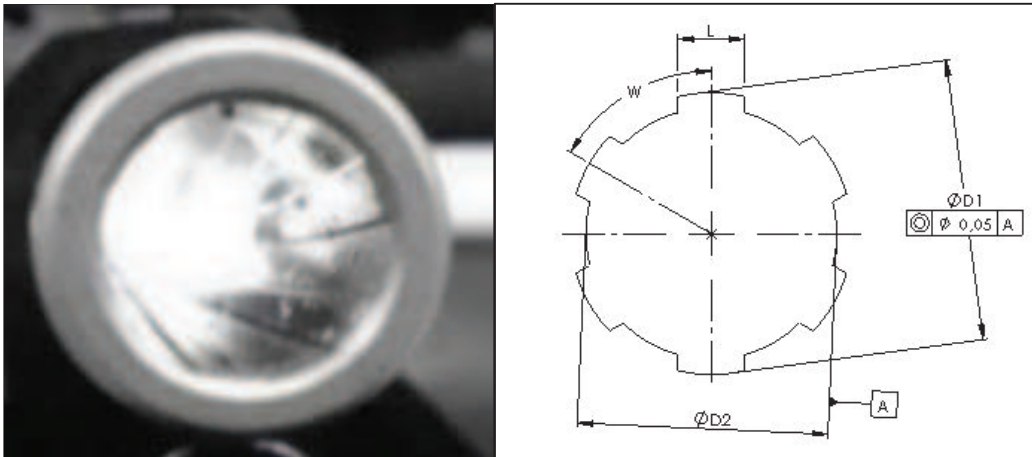
Fase	Descrição	Saídas	Técnicas e ferramentas
Definição	Identificação e descrição do problema. Demonstração do desempenho atual. Definição das metas e objetivos. Definição do impacto financeiro. Definição da equipe do projeto.	Cronograma de realizações do projeto. Identificado os membros da equipe. Criação da carta de projeto. Impacto financeiro com o investimento no projeto. Identificado a métrica principal do projeto.	Carta de Projeto. Diagrama de Gantt. SPOCR. Diagrama de Pareto. Gráfico de Barras. Brainstorming. Análise Econômica. Gráfico Sequencial.
Medição	Realizar a coleta de dados sobre a situação atual. Identificar as possíveis causas do problema. Estudar o sistema de medição.	Plano de coleta de dados. Métricas primária e secundárias. Avaliação do sistema de medição. Priorização das causas.	Mapa detalhado. Diagrama de Causa e Efeito. Diagrama de Afinidades. Avaliação do Sistema de Medição (MSE). Plano para Coleta de dados. Matriz de Priorização. Técnica Nominal de Grupo (NGT).
Análise	Analisar as causas principais apontadas na fase anterior. São determinados os níveis de variações no processo. São definidas as melhorias a se realizar na próxima fase.	Definição das melhorias que serão aplicadas.	Carta de Controle. Teste de Hipóteses. Histograma. Análise de Variância. Fluxograma. Matriz de Priorização. Planejamento de Experimentos (DOE).
Melhora	Aplicar as melhorias definidas na fase anterior. Avaliar o resultado das melhorias implementadas.	Plano de ações corretivas. Padronização de processos.	Gráfico de Barras. 5W2H. Simulação. Análise de Variância.
Controla	Quantificar as melhorias do projeto. Desenvolver modelos de controle para os processos melhorados.	Gráficos para controle de processos. Plano de monitoramento das ações de melhoria.	Gráfico Sequencial. Gráficos de controle. Estatísticas descritivas.

Fonte: Adaptado de Garrido-Veja, Sacristán-Díaz e Magana-Ramírez (2016) e Thakore et al. (2014).

2.5 CANO DO REVÓLVER

O cano do revólver é um dos principais componentes do revólver, é importante para o pleno funcionamento da arma de fogo, sua função é fazer com que o projétil deslize pelo seu alojamento e saia com acuracidade e velocidade até o alvo, o que auxilia nesta precisão são as raia existentes no interno do cano, são ranhuras em forma helicoidal e podem variar seu passo e número de raia de acordo com cada calibre, a região das raia é detalhada na Figura 2:

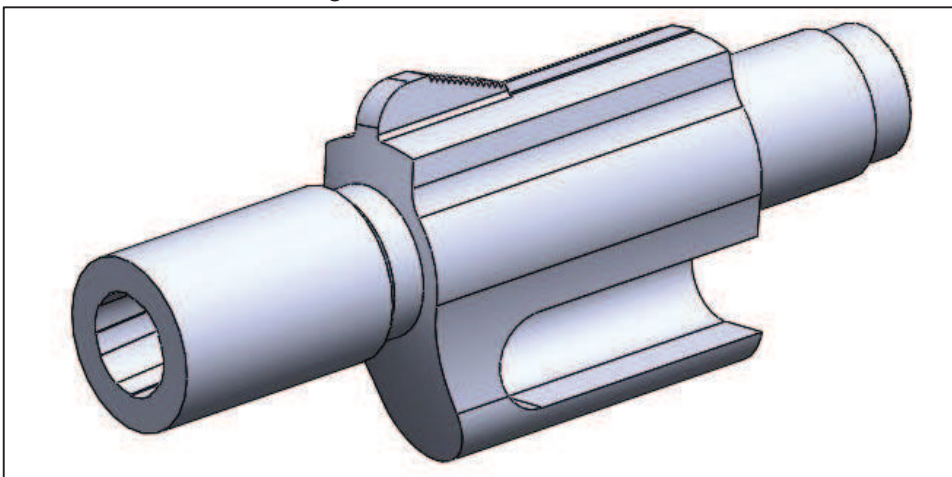
Figura 2 - Detalhamento região das raia do cano



Fonte: elaborado e registrado pelo autor.

Ainda sobre o cano revólver, o mesmo é fixo no conjunto da armação pela sua rosca macho que possui, é aplicado um torque no conjunto para fixar e alinhar, os canos são fabricados com materiais altamente resistentes que suportam altas temperaturas e possuem resistência suficiente para que o cano não apresente trincas, pois trata-se de uma peça crítica do produto final, na Figura 3 tem-se a imagem do cano:

Figura 3 – Cano do revólver

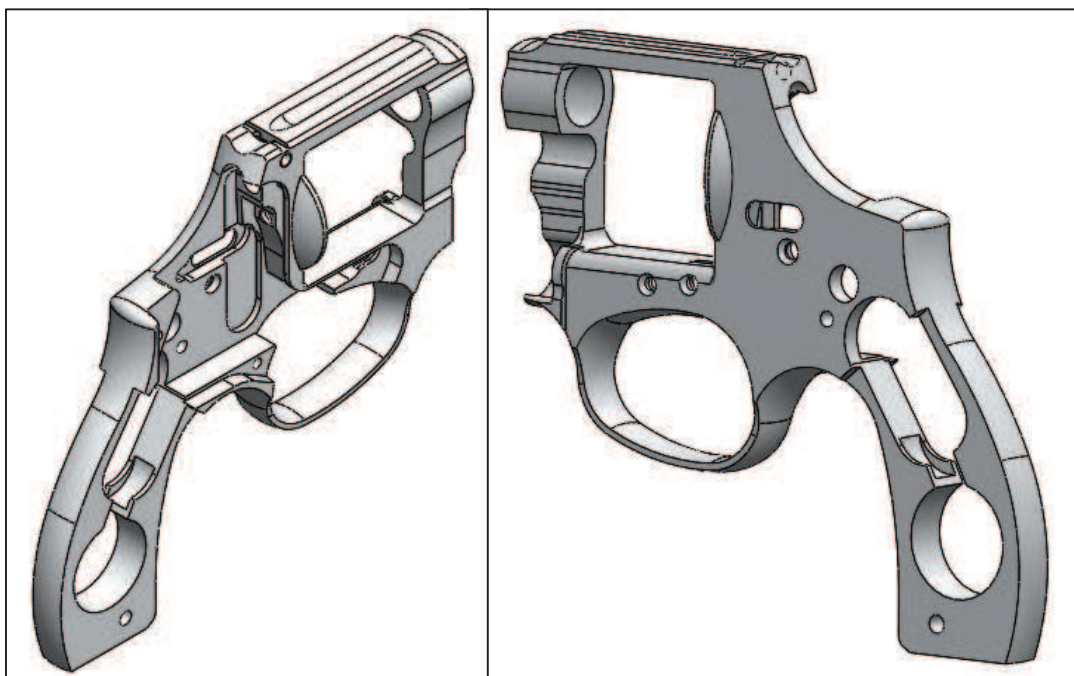


Fonte: elaborado pelo autor.

2.6 ARMAÇÃO DO REVÓLVER

A armação do revólver junto ao cano, também é uma das principais componentes do revólver senão a principal, é de suma importância para o funcionamento da arma, pois é responsável pelo mecanismo de disparo e faz toda a função de acionamento da arma, além de ser a peça que acopla o restante das componentes, como miras, gatilho, e o próprio cano, onde possui na armação um alojamento com rosca fêmea, para o rosqueamento do cano, na Figura 4 consta a imagem da armação:

Figura 4 – Armação do revólver



Fonte: elaborado pelo autor.

3 METODOLOGIA

A metodologia é o estudo do método. O método, por sua vez, é o conjunto de etapas a serem vencidas para alcançar determinado objetivo. Já a ciência, neste contexto, passa a ser o conjunto de conhecimentos metodicamente ordenados referentes a algum domínio do saber. Portanto, a metodologia científica trata-se de normas técnicas a serem seguidas para realização de pesquisas científicas, que nada mais são do que investigações em relação a uma determinada área ou fenômeno (RAMPAZZO, 2013). Dessa forma, a seguir são apresentadas as etapas para a execução da pesquisa a qual o projeto aborda.

3.1 Método de Pesquisa

A pesquisa aplicada refere-se à elaboração de estudos com a finalidade de resolver problemas específicos (GIL, 2010). Portanto, esta pesquisa classifica-se pela sua finalidade como aplicada, descrevendo assim as etapas e estratégias adotadas, as análises do processo atual, mapeamento do mesmo e avaliação dos pontos de melhoria, posterior ao processo atual, sendo focada na resolução dos modos de falha existentes.

Quanto aos objetivos, a pesquisa é classificada como exploratória. A pesquisa exploratória tem a finalidade de proporcionar familiaridade com o problema, tornando-o mais explícito (GIL, 2010). Isso ocorre uma vez que o problema será investigado considerando-se os diversos aspectos e variáveis que o compõe, envolvendo coleta de dados através da bibliografia existente e de observações nos processos da organização.

A pesquisa classifica-se quanto a natureza de seus dados como quantitativa. Na pesquisa quantitativa é realizado um estudo de certo número de casos individuais, quantificando fatores segundo um estudo típico, servindo-se frequentemente de dados estatísticos, e generalizando o que foi encontrado nos casos particulares (RAMPAZZO, 2005). Dessa forma, para identificar a necessidade de intervenção no processo da empresa foram observados e coletados dados de casos específicos.

O procedimento técnico da pesquisa é o estudo de caso. De acordo com Marconi e Lakatos (2010), técnica é um conjunto de processos utilizados pela ciência, sendo necessária a habilidade de usá-los para a prática da mesma, sendo o estudo de caso

uma das técnicas. O estudo de caso, segundo Gil (2010) estabelece o conhecimento profundo de poucos objetos, permitindo o conhecimento detalhado do mesmo. Severino (2007) ressalta que o estudo de caso se concentra em um caso particular considerado significativamente representativo de agrupamento de casos análogos. Sendo assim, o trabalho em questão se propõe a analisar e propor melhorias no processo de montagem do cano na armação dentro da empresa.

3.2 METODO DE TRABALHO

Este conjunto de aspectos metodológicos, conforme práticas adotadas no experimento foram divididas em quatro macros etapas, partindo de algumas definições ao longo do experimento:

- a) Na primeira etapa do trabalho, elaborou-se o referencial teórico de forma a embasar o conhecimento da metodologia Seis Sigma e o método DMAIC, além de conceituar um pouco sobre a usinagem e as ferramentas de estudo;
- b) Análise do processo atual de montagem de cano no revólver, a fim de entender as dificuldades e perdas;
- c) Implementação de novo processo, moldado de novos parâmetros controlados e chaveados, descobertos a partir da metodologia DMAIC;
- d) A última etapa apresenta a conclusão do projeto a partir das implementações feitas, e comprova-se a viabilidade do projeto, visto que os controles implementados reduzirão o PPM à 0, neste processo;

4 ESTUDO DE CASO

Este trabalho foi realizado em uma empresa fabricante de armas. A empresa é maior fabricante de armas do Brasil e tem em seus produtos mais 70% comercializados para o mercado exterior. Será abordado a metodologia Seis Sigma para avaliação do problema quebra de cano e cano frouxo na montagem do mesmo na armação, levando em consideração as fases do DMAIC.

4.1 FASE DEFINIÇÃO (D)

Nesta etapa do projeto, são listadas as oportunidades de melhorias do processo, e também definidas as metas, escopo do mesmo, junto ao time de projeto.

4.1.1 Identificação do projeto

O objetivo do projeto, visa redução de custo com sucata e retrabalho, junto à melhoria da qualidade no cliente final, o que afeta a imagem da empresa. A obtenção desse objetivo ocorrerá através de estudo e metodologia, visando identificar todas variáveis que influenciam e propôs melhorias com os menores custos a fim de sanar os modos de falha.

4.1.1.1 Patrocinador

O patrocinador do projeto é o gerente da Engenharia de Processos.

4.1.1.2 Dono do processo

O dono do processo é o analista da engenharia de processo, responsável técnico pelo setor.

4.1.1.3 Equipe de projeto

A equipe de projeto foi formada pelo formando em belt (analista de processo), um analista de produto, um analista de qualidade, um supervisor da qualidade, um supervisor de produção e o gerente da engenharia dando o subsídio necessário. A formação da equipe foi escolhida entre o belt e o patrocinador, fazendo a interface com engenharia, qualidade e produção, todas as áreas que envolvem o processo.

4.1.1.4 Carta do projeto

A carta elaborada abaixo (Figura 5), foi desenvolvida junto ao patrocinador do projeto, de acordo com os objetivos requeridos.

Figura 5 – Carta de Projeto

Project title	CONTROLE DE TORQUE DO CONJUNTO CANO E ARMAÇÃO		
Time line	Start date:	11/ago/17	Projected completion date 15/jun/18
Champion Other steering members	Name:	Department:	
	Renan Bittencourt	Engenharia de Processo	
	Marnin Raupp	Engenharia da Qualidade	
	Jonas Castro	Engenharia de Processo	
	Eduardo Buzzata	Engenharia da Qualidade	
	Daniel dos Santos	Produção	
Council/Leadership Group	Council Owner:	Strategic Alignment Metric	
	Alexandre Spezia	Custos	
Team	Name:	Department:	Role & Committed Resources Allocation
Process Leader/Owner	Renan Bittencourt	Engenharia de Processo	
Black/Greenbelt	Eduardo Zaccaron	Engenharia de Processo	20%
Master Blackbelt	Jacinto Ponte		
Members	Clésio Lopes	Qualidade	20%
	Jonas Castro	Engenharia de Processo	20%
	Fernando Saurin	Engenharia de Processo	20%
Support Group	Renan Silveira	Ferramentaria	
	Leandro de Oliveira	Produção	

Fonte: elaborado pelo autor.

4.1.2 Estudo de caso

No início do projeto, desenvolveu-se o estudo de caso do mesmo, apresentando qual o real motivo da realização do projeto.

O processo estudado trata-se da montagem do cano na armação, atualmente possui-se o Cano do revólver que tem a rosca externa (macho), e armação do revólver que possui a rosca interna (fêmea), o controle da posição de rosca na usinagem separadamente dos dois componentes resulta em uma pré-posição de conjunto, que é vista no momento de fazer a montagem das componentes.

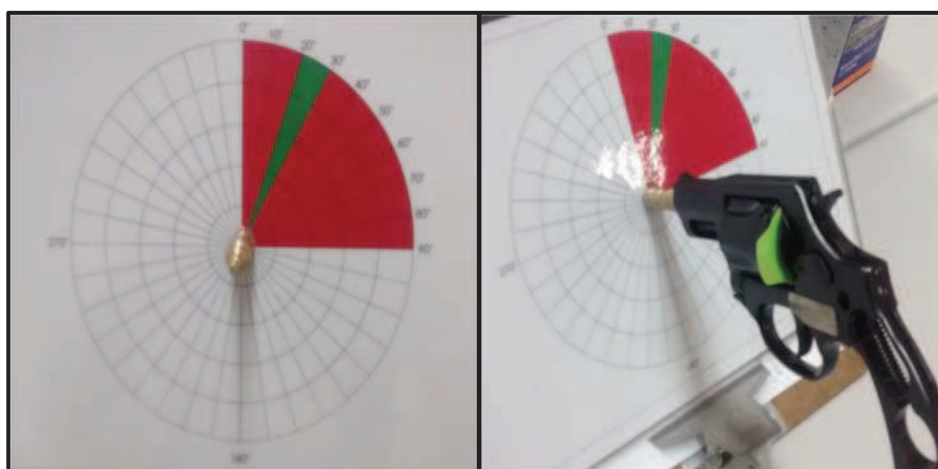
Esta montagem é realizada em um setor específico dentro da empresa, onde recebe-se as componentes separadamente em fase final de acabamento, faz-se a pré-montagem dos componentes conforme Figura 6, e verifica-se o ângulo de pré-posição (20° à 30° graus) conforme Figura 7:

Figura 6 – Pré-posição das componentes montadas



Fonte: registrado pelo autor.

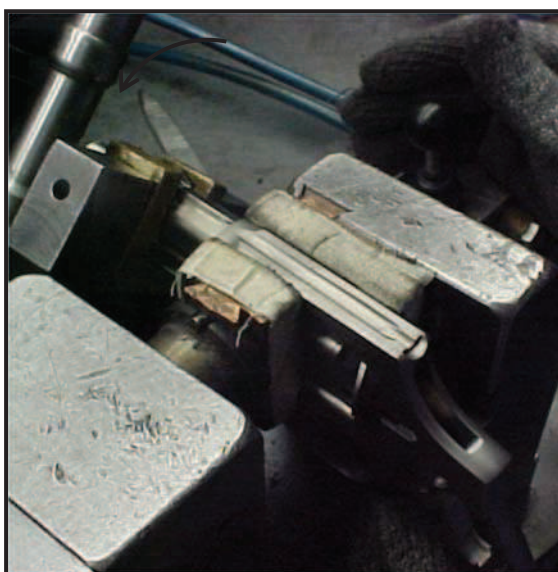
Figura 7 – Escalar angular



Fonte: registrado pelo autor.

Posteriormente a este procedimento, fixa-se a armação com o cano pré-montado no dispositivo de fixação e com o auxílio de uma alavanca faz-se o alinhamento manual conforme Figura 8, onde é fixado pela aplicação de um dado torque de montagem, que não é controlado no processo atual. Após a montagem verifica-se como ficou a posição da mira do cano em relação ao vértice na armação conforme Figura 9.

Figura 8 – Aplicação de torque no conjunto cano e armação



Fonte: registrado pelo autor.

Figura 9 – Alinhamento do conjunto cano e armação



Fonte: registrado pelo autor.

Este método de montagem não controla o torque de montagem, é feito apenas um controle da pré-posição do conjunto montado, porém existe diversas variáveis que influenciam no torque de montagem, como diâmetros externos e primitivos de ambas as roscas (cano e armação), perpendicular das faces, acabamento das faces e roscas, todas essas variáveis podem influenciar para que mesmo a pré-posição estando dentro da faixa de 20° à 30° graus, ocorra de gerar o defeito do cano solta ou quebrar, visto que ainda o método de aferição desta faixa é visualmente em uma escalar angular, ou seja, está atrelado diretamente ao operador.

O processo de rosqueamento das componentes separadamente é extremamente crítico e de difícil obtenção de atendimento à especificação, visto que o passo da rosca é de 0,8mm (360°), em uma faixa de trabalho de 20° à 30° tem-se um range de 10° , o que transformando em variável linear resulta em 0,022mm, esta especificação serve para o conjunto montado, para ambas componentes atenderem esta especificação, deveria ter uma tolerância mais apertada ainda entre elas.

Sendo assim, a métrica principal do projeto, tem-se a implementação de controles robustos para sanar o modo de falha quebra de cano (Figura 10) e cano frouxo (Figura 11), e a partir desse controle poder definir a condição mínima de montagem e máxima. Esses problemas são extremamente críticos e comprometem o funcionamento do produto na mão do cliente.

Figura 10 – Modo de Falha Cano Quebrado



Fonte: registrado pelo autor.

Figura 11 – Modo de Falha Cano Frouxo

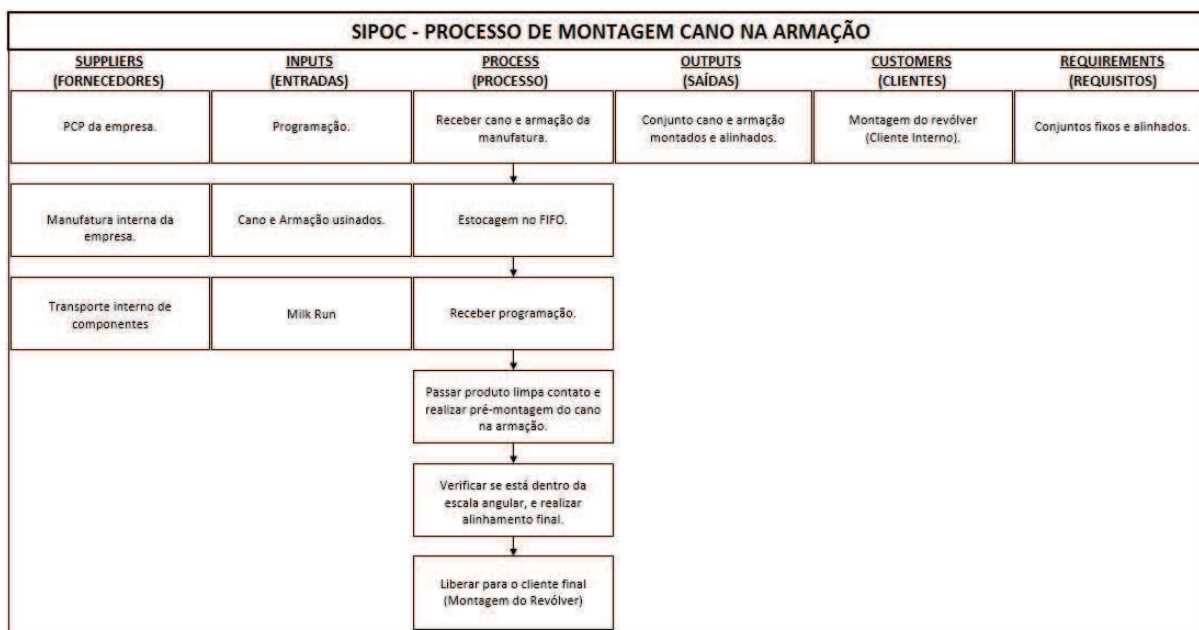


Fonte: registrado pelo autor.

4.1.2 Mapeamento do processo

O Quadro 2 apresenta de forma macro, as informações operacionais que consistem no processo de montagem do cano na armação. No item processo é figurado as atividades mais críticas que compunham este processo, sendo elas agregadoras de valor ao produto transformando-o em produto final.

Quadro 2 – Mapeamento através do SIPOCR



Fonte: elaborado pelo autor.

4.1.3 Definição do Escopo do projeto

O projeto será executado no setor de montagem do cano, no processo de montar o cano na armação. Serão abordados lotes de peças oriundas da manufatura sem intervenção do processo anterior. Como já definido na métrica principal, o projeto se limitará a definir os torques mínimos e máximos de montagem e desenvolver o controle eficaz do mesmo para que não chegue peças não conforme no cliente final. Ainda se tratando de escopo, o modelo de revólver abordado no escopo é o RT410 (Figura 12) nos acabamentos Carbono Fosco e Inox Fosco, materiais carbono (SAE 4140) e Inox (AISI 410) respectivamente, este modelo de revólver foi adotado pois foi o que apresentou os modos de falha de análise no cliente final.

Figura 12 – Modelo de Revólver RT410



Fonte: Espaço Tático. Revólveres. Catálogo, 2018.

4.1.4 Definição da Meta

A meta do projeto é desenvolver um meio de controle de torque para que não passe peças defeituosas para o cliente, a partir deste meio de controle poder avaliar qual o torque mínimo necessário para montar o cano na armação e o mesmo não soltar, o torque máximo será definido pelo ensaio de elemento finitos realizado pelo laboratório LAMEF.

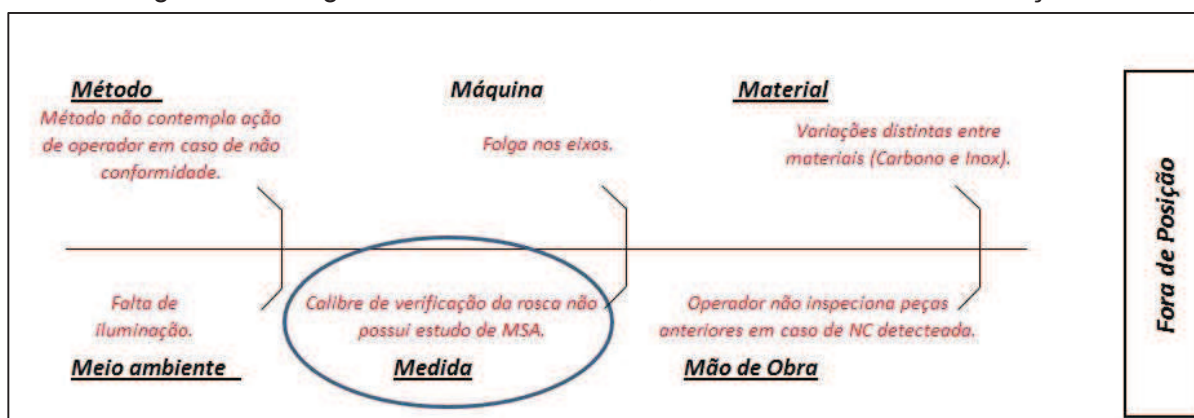
4.2 FASE MEDIÇÃO (M)

Nesta etapa de medição será realizada a verificação e apuração do problema, além do desenvolvimento e levantamento de dados para análise do sistema de medição e as variáveis de saída do processo. Também será abordado as análises do problema e a ações à serem tomadas nas possíveis causas.

4.2.1 Desdobramento do processo das componentes

Através da utilização da ferramenta de Diagrama de Causa e Efeito (Figura 13), foi avaliado inicialmente o modo de falha 'Fora de posição', relacionando as posições de rosca distintas de cano e armação, que faz com que no momento de pré-posicionar o cano na armação, ocorra muita variação no ângulo de pré-montagem:

Figura 13 - Diagrama de Causa e Efeito, modo de falha 'Fora de Posição'



Fonte: elaborado pelo autor.

Analisando minuciosamente cada variável do digrama, tem-se em Método, o fato do processo não contemplar a ação do operador, quando o mesmo se depara com uma não conformidade, em função da posição aceitar retrabalho, o operador acaba liberando peças não conforme.

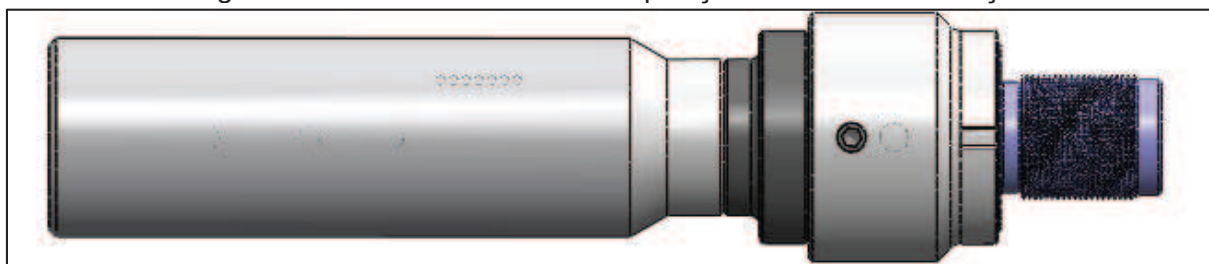
No item máquina, avaliou-se as máquinas que fazem esta operação tanto no setor de cano, onde é utilizado um torno CNC, quanto no setor de armação, onde se é realizado em um centro de usinagem vertical, ambas as máquinas apresentaram folgas excessivas nos eixos de deslocamento e em seus *spindles* principais. As máquinas já possuem mais de 20 anos e a empresa não possui um plano de manutenção preventiva robusto.

Na parte de material, o que se relaciona mais a matéria prima, observa-se a diferença na usinabilidade do aço carbono e do aço inox, visto que atualmente utiliza-se o mesmo ferramental e parâmetros para ambos.

Em meio-ambiente, detecta-se a falta de iluminação na linha de manufatura, o que influencia diretamente na aferição da componente, pois a verificação de posição de rosca é feita visualmente por uma marca existente no calibre.

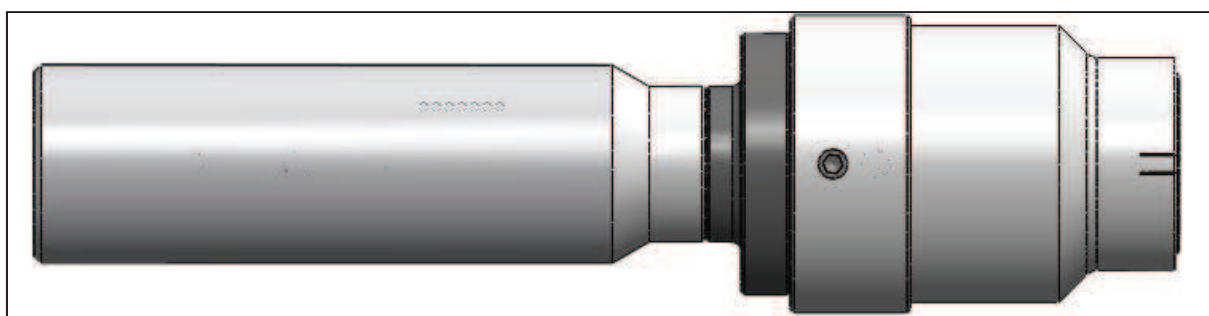
No item medida, tem-se o maior impactante em posto de vista da equipe, pois o meio de controle não possui MSA e se tem a desconfiança do mesmo. Nas Figuras 14 e 15, pode-se observas os calibres existentes de armação e cano respectivamente:

Figura 14 – Calibre de controle de posição de rosca da Armação



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 15 - Calibre de controle de posição de rosca do Cano



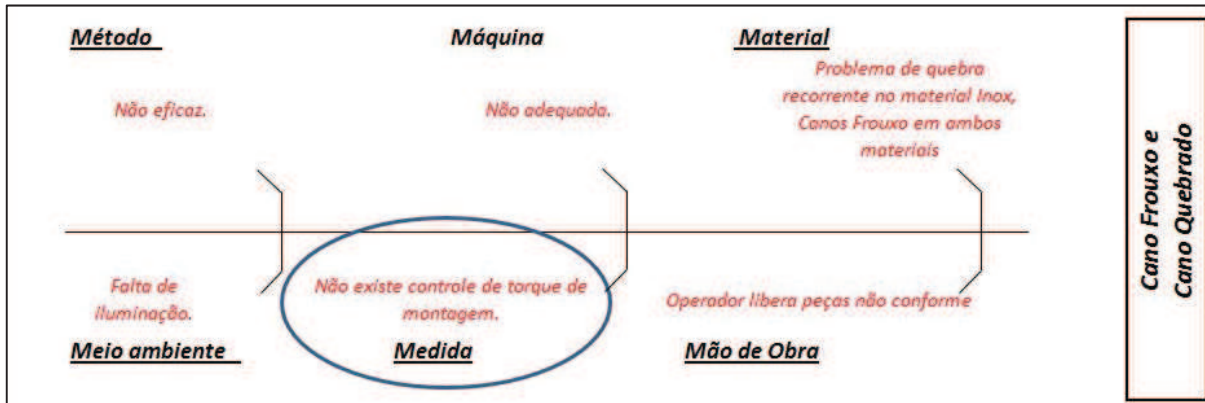
Fonte: elaborado pelo autor.

Na parte de mão de obra, observou-se que o mesmo segue a instrução de processo fazendo a verificação amostral, porém o mesmo não inspeciona as peças anteriores do lote quando ocorre uma não conformidade, isto é uma falha pois o mesmo desconhecia desse conceito.

4.2.2 Desdobramento do processo de Montagem de Cano na Armação

Neste caso, através da utilização da ferramenta de Diagrama de Causa e Efeito (Figura 16), avaliou-se o objeto de estudo do trabalho, os modos de falha 'Cano Frouxo e Cano Quebrado', sendo realizado uma análise para ambos modos de falha pois os mesmo se equivalem na maioria das ações:

Figura 16 - Diagrama de Causa e Efeito, modo de falha 'Cano Frouxo e Cano Quebrado'



Fonte: elaborado pelo autor.

Realizando a análise das variáveis, em Método, considera-se que o método atual de trabalho não é eficaz, visto que é totalmente manual e atrelado ao operador, não sendo um processo capaz e robusto.

Na questão de máquina tem-se a mesma causa, máquina de montagem manual com sistema de alavanca e engrenagem, sendo apenas minimizado o esforço do operador, porém não garante a qualidade das peças, abaixo na Figura 17 o dispositivo de montagem.

Figura 17 – Dispositivo de montagem atual



Fonte: registrado pelo autor.

No item material, percebe-se uma tendência do material inoxidável para o modo de falha quebra de cano, para o material aço carbono não apresentou histórico desta falha, apenas de soltar (Cano Frouxo), porém para o material inoxidável também já apresentou histórico de soltar.

No campo meio ambiente, também se elenca a falta de iluminação, visto que após a montagem o alinhamento de cano com a armação é verificado visualmente, e a falta de iluminação da célula pode prejudicar esta aferição, o cano ficando desalinhado em relação a armação, pode ser um alerta de que faltou torque para completar o alinhamento, gerando o modo de falha Cano Frouxo, ou foi dado um torque excessivo e o cano passou da posição de alinhamento, o que pode gerar o modo de falha Cano Quebrado.

No quesito medida, abordou-se a variável determinante, elencada como principal objeto a ser desdobrado do Diagrama de Causa e Efeito, sendo ela a falta de controle do torque de montagem do conjunto montado, indiferente as condições que chegam as componentes, se existisse o devido controle com especificações bem definidas, não ocorreria tais modos de falha no cliente final.

Em mão de obra, levantou-se a questão de o operador liberar peças não conforme, como não se possui os devidos controles, o processo está totalmente solto no feeling da pessoa por trás do dispositivo.

4.2.3 Tratativas dos modos de falha

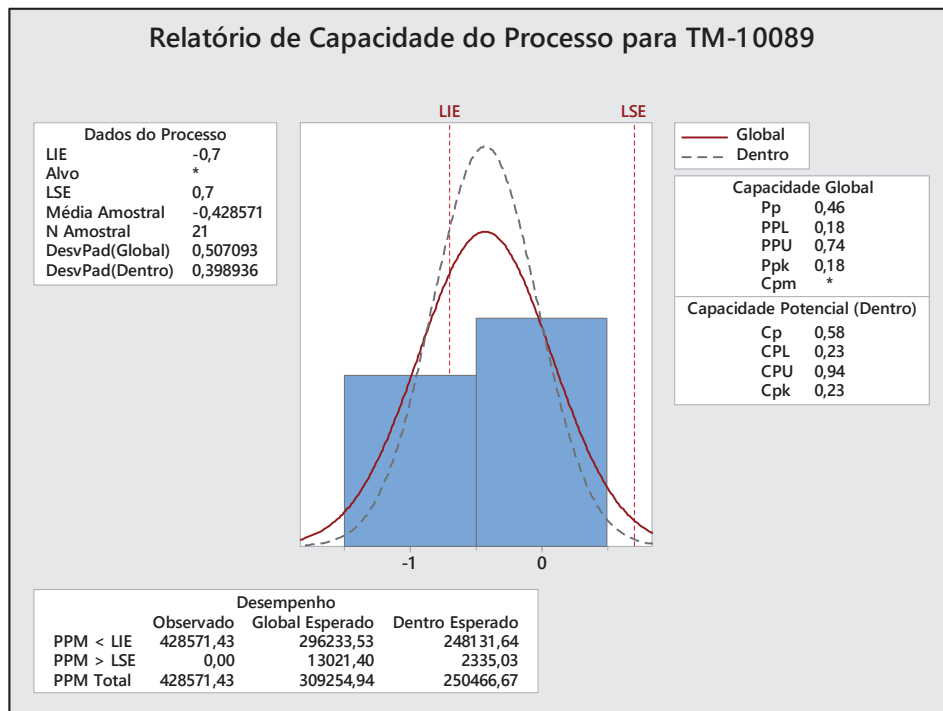
A partir das análises realizadas, definiu-se duas frentes de trabalho:

- Avaliação da capacidade do processo de fabricação de cano e armação e estudo de MSA do meio de controle existente;
- Desenvolvimento de novo conceito de montagem de cano na armação com controles de torque, o que será visto na etapa de melhoria;

4.2.4 Capacidade processo de usinagem da rosca da armação

Para realização do estudo de capacidade na armação, levou-se em consideração as condições atuais de processo, sendo preparada a máquina e ferramental, regulando a primeira peça dentro do especificado, e posteriormente efetuou-se a usinagem de 21 peças subsequentemente sem nenhuma intervenção. Após a usinagem, as armações foram destinadas ao laboratório de metrologia, onde verificou-se a posição das amostras, sendo comparadas com uma peça padrão e a verificação do ângulo de parada das mesmas. Abaixo Figura 18 mostra o resultado da capacidade do processo de usinagem da rosca na armação:

Figura 18 – Capacidade do processo de usinagem de rosca na armação



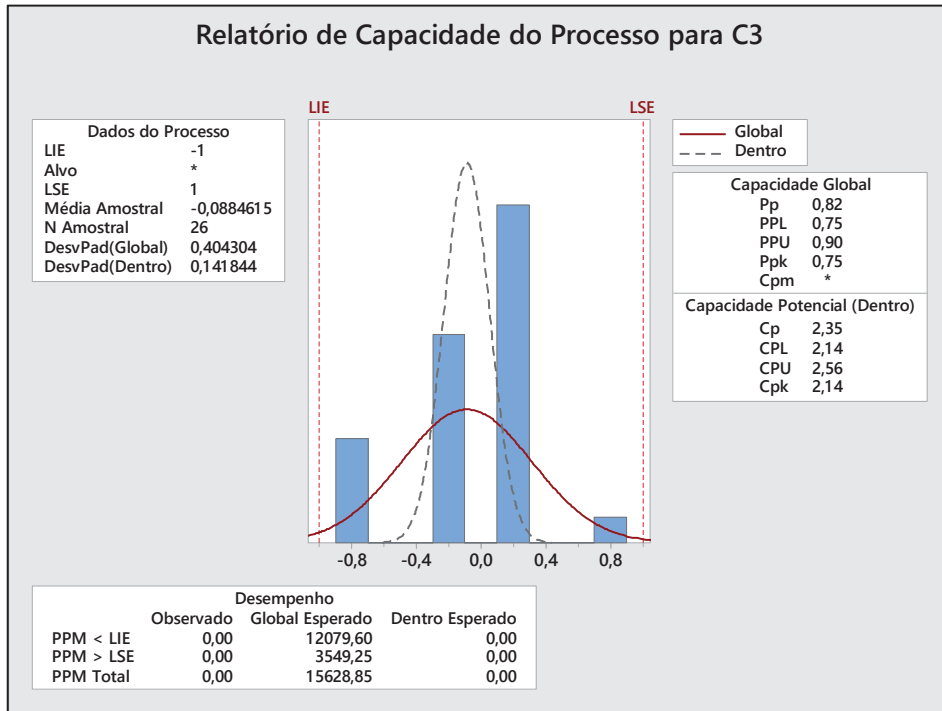
Fonte: elaborado pelo autor.

4.2.5 Capacidade processo de usinagem da rosca do cano

Para realização do estudo de capacidade no cano, levou-se em consideração as condições atuais de processo, sendo preparada a máquina e ferramental, regulando a primeira peça dentro do especificado, e posteriormente efetuou-se a usinagem de 26 peças subsequentemente sem nenhuma intervenção. Após a usinagem, os canos foram destinados ao laboratório de metrologia, onde verificou-se

a posição das amostras, sendo comparadas com uma peça padrão e a verificação do ângulo de parada das mesmas. A Figura 19 mostra o resultado da capacidade do processo de usinagem da rosca no Cano:

Figura 19 - Capacidade do processo de usinagem de rosca no Cano



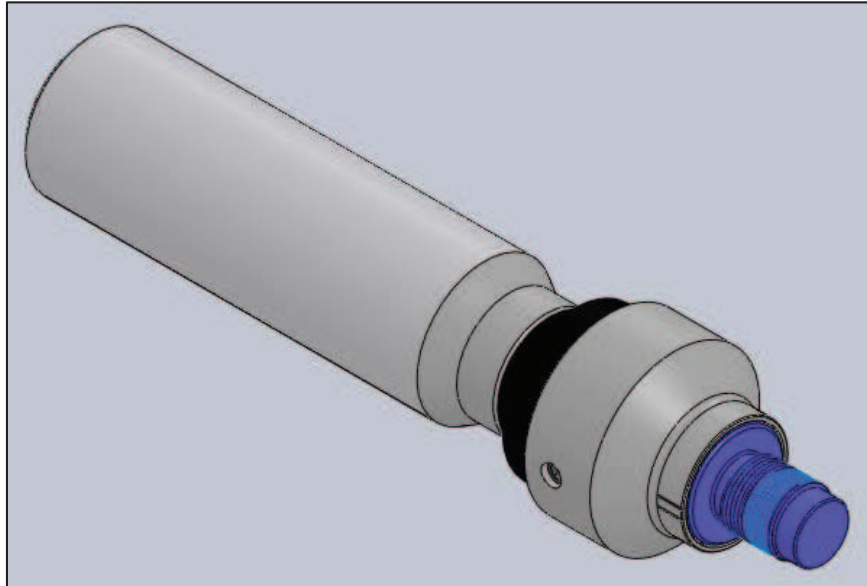
Fonte: elaborado pelo autor.

4.2.6 MSA Calibre de medição de rosca da armação

Em função das possíveis causas avaliadas no Diagrama de Causa e Efeito, necessitou-se da ação de realização do estudo de MSA do meio de controle de posição de rosca da armação e cano. Inicialmente iniciou-se o estudo pelo meio de controle da armação.

O dispositivo de medição da rosca da armação, tem seu código de controle interno que serve para que serve para controle e calibração, conforme procedimentos internos da empresa, na Figura 20, observa-se o calibre:

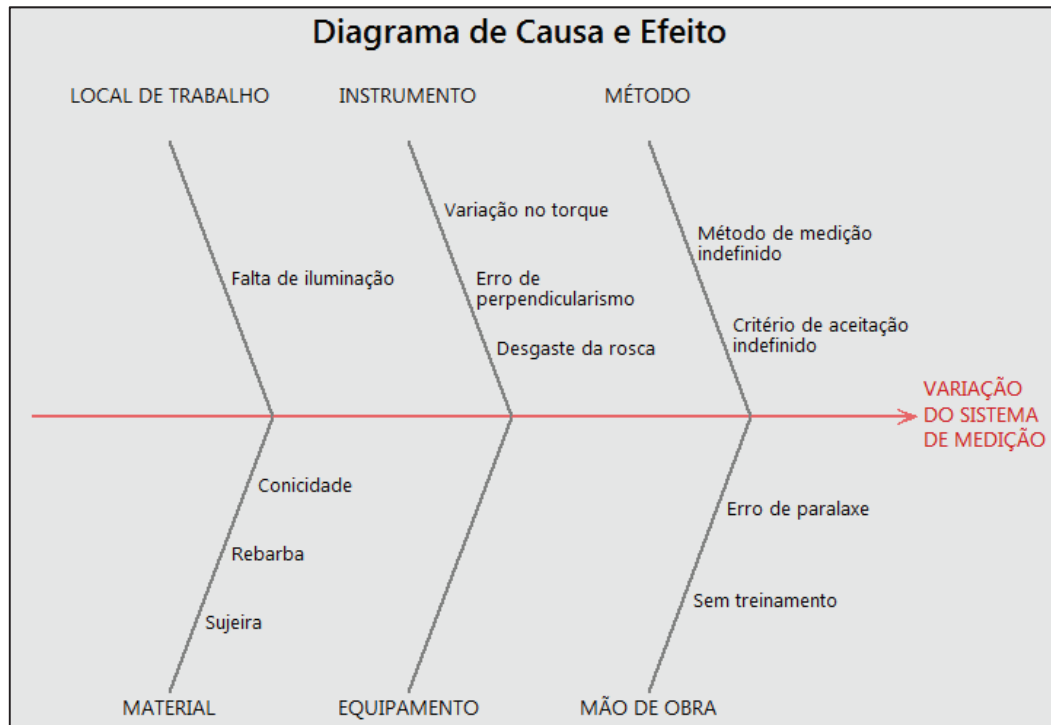
Figura 20 – Meio de controle da rosca da armação



Fonte: elaborado pelo autor.

Como introdução da análise do sistema, também se optou pelo Diagrama de Causa e Efeito para avaliar as possíveis variações do sistema de medição:

Figura 21 – Diagrama de Causa e Efeito do sistema de medição da Armação



Fonte: elaborado pelo autor.

A partir do Diagrama, elaborou-se um plano de ação para cada variável pertinente, conforme abaixo:

MÉTODO:

Definir método de medição	Resp.: Fábio Becker	Status: Concluído
Definir critério de aceitação	Resp.: Fábio Becker	Status: Concluído

MÃO DE OBRA:

Treinar operadores	Resp.: Fábio Becker	Status: Pendente
--------------------	---------------------	------------------

INSTRUMENTO:

Definir torque	Resp.: Fábio Becker	Status: Pendente
Definir tolerância GD&T.	Resp.: Renan Bittencourt	Status: Pendente
Definir intervalo de calibração	Resp.: Fábio Becker	Status: Pendente

LOCAL DE TRABALHO:

Verificar iluminação	Resp.: Manutenção	Status: Pendente
----------------------	-------------------	------------------

Após o plano de ação, definiu-se quais ferramentas seriam abordadas conforme Quadro 3, visto que pelo conceito do dispositivo não se faz necessário a utilização de algumas delas.

Quadro 3 – Ferramentas utilizadas no MSA do dispositivo de controle da rosca da Armação

ESTUDO	SIM	NÃO
MÉTODO DE MEDIÇÃO	X	
CALIBRAÇÃO DO PADRÃO		X
CALIBRAÇÃO	X	
REPETIBILIDADE	X	
REPRODUTIBILIDADE	X	
TENDÊNCIA		X
LINEARIDADE		X
ESTABILIDADE		X
PROG. INTERLABORATORIAL		X
OUTROS		X

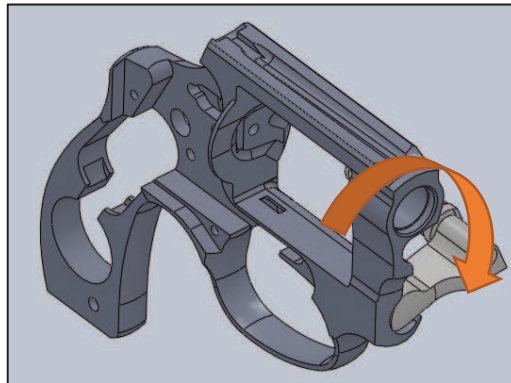
Fonte: elaborado pelo autor.

A primeira parte do estudo, constitui-se na criação do método de verificação e de calibração do meio de controle, fase essa muito importante para poder dar seguimento no estudo. Sendo assim, segue abaixo o método definido:

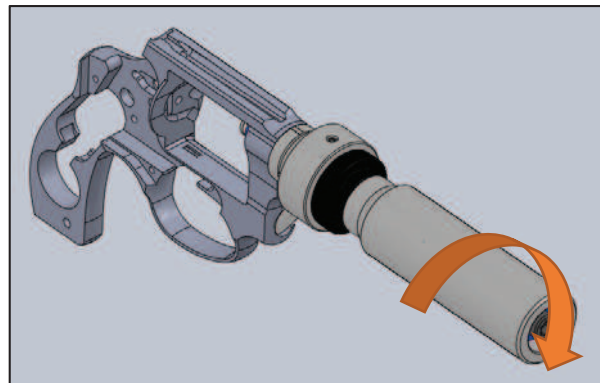
Para realizar a medição devem ser seguidos os seguintes passos:

MÉTODO DE MEDIÇÃO:

1º - Deslocar suporte do tambor;

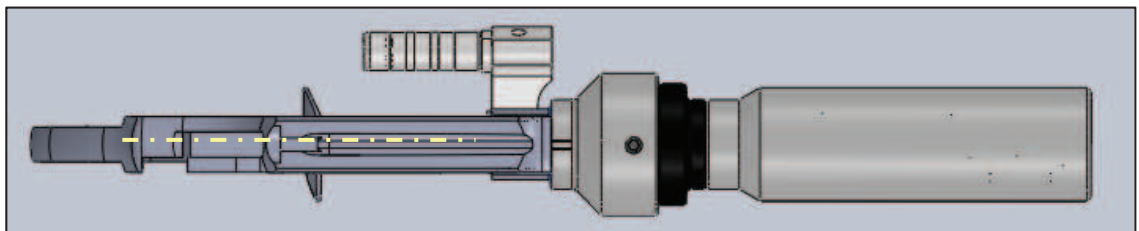


2º - Roscar calibre até que o mesmo encoste sua face na face da armação;



3º - Parar de rosar assim que escutar três estalos consecutivos;

4º - Verificar posição de parada das marcações do calibre, mínima e máxima posições, em relação ao centro da canaleta (linha imaginária);



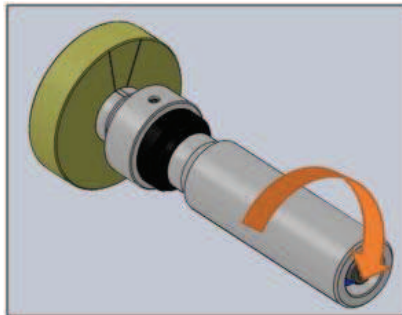
Critério de aceitação:

A posição de rosca estará aprovada caso a posição de parada do calibre esteja entre as marcações de posições mínima e máxima, incluindo a marcação, tomando por referência a linha imaginária. Caso contrário a posição de rosca estará reprovada.

CALIBRAÇÃO:

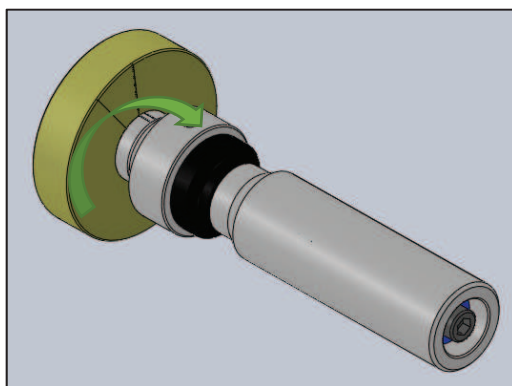
Para realizar a calibração do calibre devem ser seguidos os seguintes passos:

1º - Roscar calibre até que o mesmo encoste sua face na face do master (padrão);

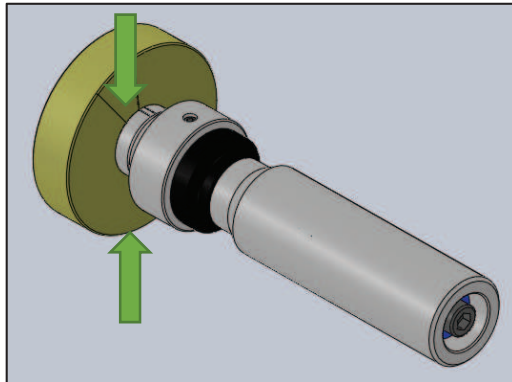


2º - Parar de rosar assim que escutar três estalos consecutivos;

3º - Ajustar posicionamento da marcação mínima junto à marcação máxima do master (padrão), deslocando flange (capa);



4º - Travar e lacrar parafusos de liberação de ajuste do flange (capa).

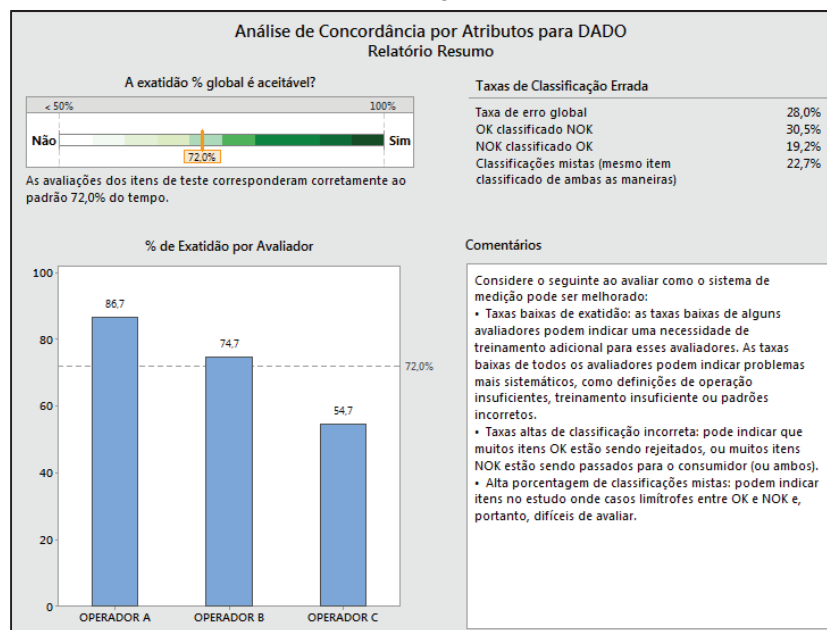


O meio de controle possui um sistema interno similar ao sistema de micrômetro, o que ocorre de quando chegar na posição de aferição já ter um torque mínimo definido de aperto, e caso tente ultrapassar este torque o manipulador do calibre funciona como uma catraca e irá estalar, alertando que já está na posição de medição. Definiu-se este torque como um pré-aperto manual, sendo ele de 0,5kgf.

Posterior à definição do método de medição e calibração, partiu para o estudo de R&R, para avaliar a repetibilidade e reprodutibilidade do meio de controle.

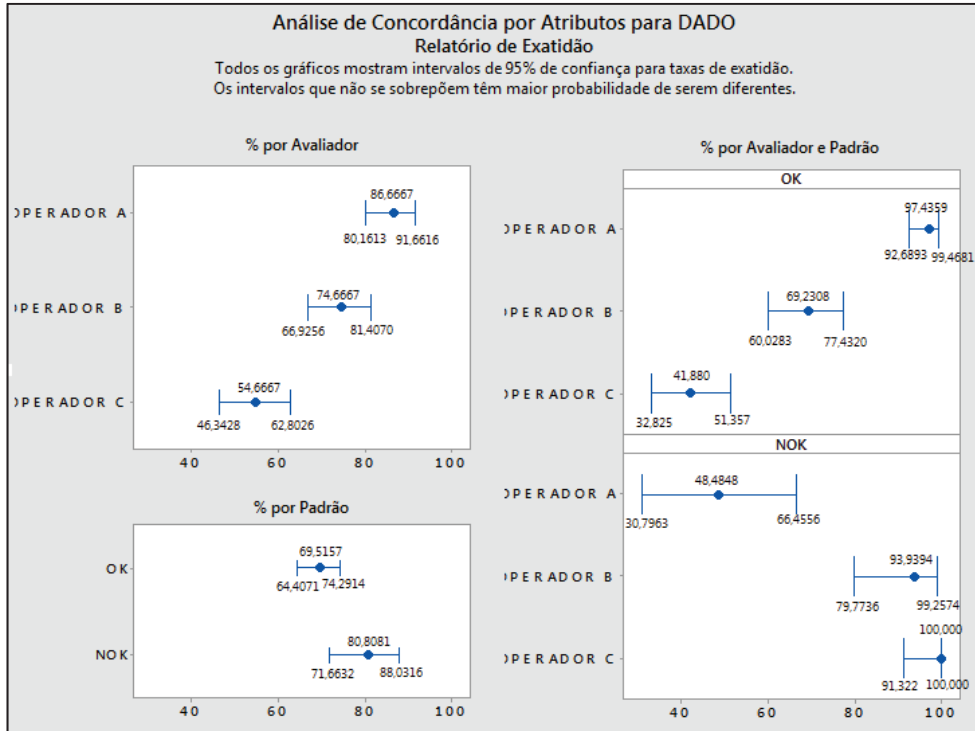
Separou-se 10 amostras e três operadores distintos para realização do estudo, o que gerou os resultados conforme Figura 22, Figura 23 e Figura 24:

Figura 22 – Pareto geral de percentual de exatidão por avaliador calibre Armação



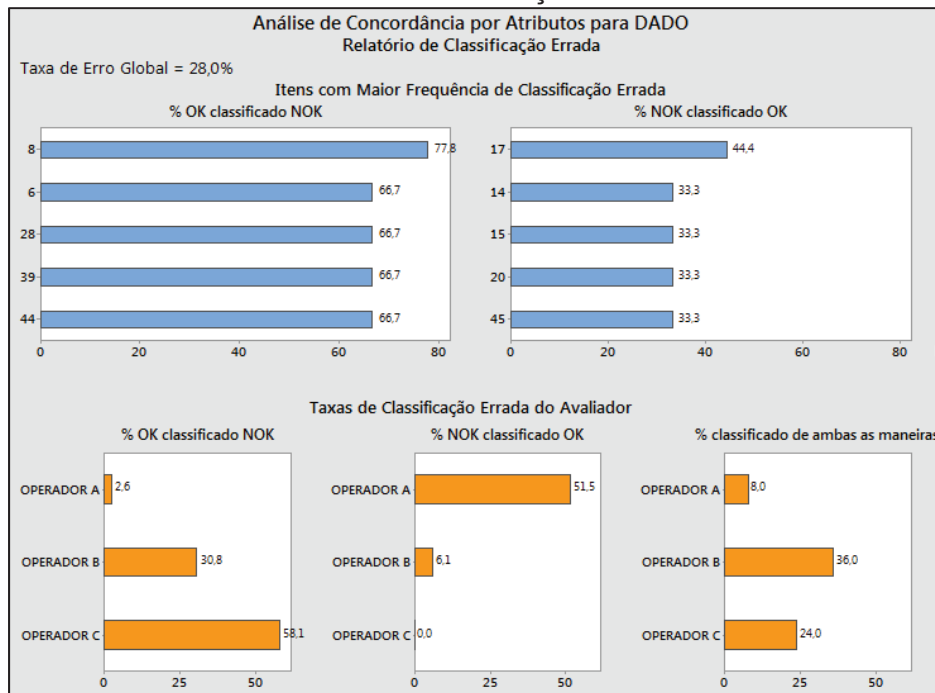
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 23 – Percentual de exatidão do avaliador individualmente calibre Armação



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 24 – Percentual de cada avaliador conforme classificação de peças calibre Armação

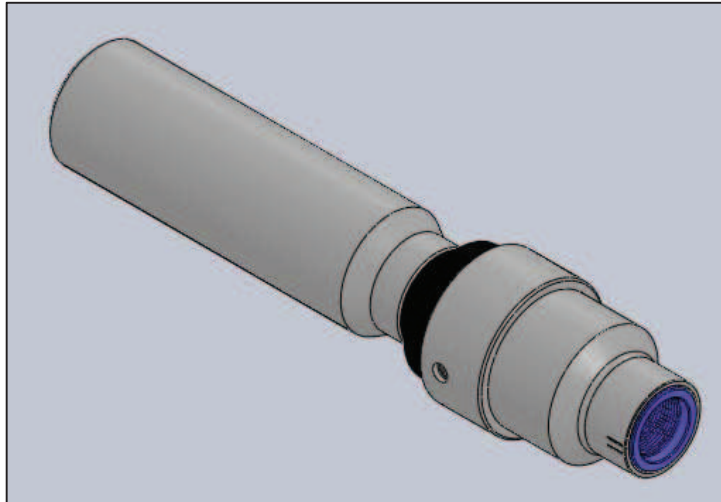


Fonte: elaborado pelo autor.

4.2.7 MSA Calibre de medição de rosca do Cano

O dispositivo de medição da rosca da armação, tem seu código de controle interno que serve para controle e calibração, conforme procedimentos internos da empresa, na Figura 25, observa-se o calibre:

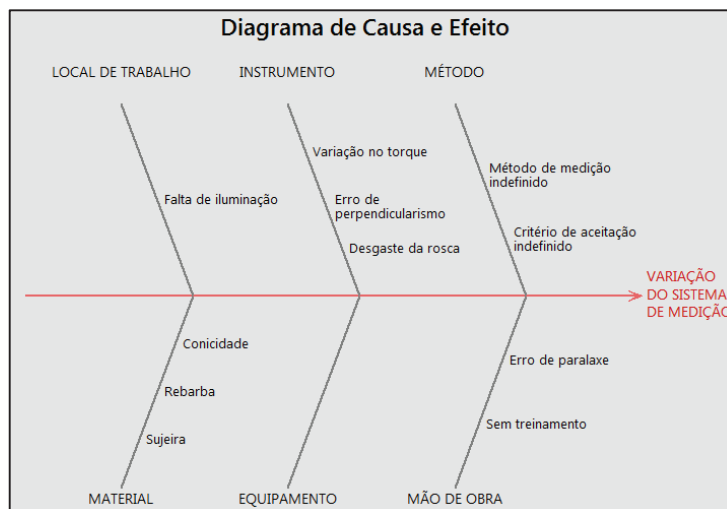
Figura 25 - Meio de controle da rosca do Cano



Fonte: elaborado pelo autor.

Como introdução da análise do sistema, também se optou pelo Diagrama de Causa e Efeito para avaliar as possíveis variações do sistema de medição:

Figura 26 - Diagrama de Causa e Efeito do sistema de medição do Cano



Fonte: elaborado pelo autor.

A partir do Diagrama, elaborou-se um plano de ação para cada variável pertinente, conforme abaixo:

MÉTODO:

Definir método de medição	Resp.: Fábio Becker	Status: Concluído
Definir critério de aceitação	Resp.: Fábio Becker	Status: Concluído

MÃO DE OBRA:

Treinar operadores	Resp.: Fábio Becker	Status: Pendente
--------------------	---------------------	------------------

INSTRUMENTO:

Definir torque	Resp.: Fábio Becker	Status: Pendente
Definir tolerância GD&T.	Resp.: Renan Bittencourt	Status: Pendente
Definir intervalo de calibração	Resp.: Fábio Becker	Status: Pendente

LOCAL DE TRABALHO:

Verificar iluminação	Resp.: Manutenção	Status: Pendente
----------------------	-------------------	------------------

Após o plano de ação, definiu-se quais ferramentas seriam abordadas conforme Quadro 4, visto que pelo conceito do dispositivo não se faz necessário a utilização de algumas delas.

Quadro 4 - Ferramentas utilizadas no MSA do dispositivo de controle da rosca do Cano

ESTUDO	SIM	NÃO
MÉTODO DE MEDIÇÃO	X	
CALIBRAÇÃO DO PADRÃO		X
CALIBRAÇÃO	X	
REPETIBILIDADE	X	
REPRODUTIBILIDADE	X	
TENDÊNCIA		X
LINEARIDADE		X
ESTABILIDADE		X
PROG. INTERLABORATORIAL		X
OUTROS		X

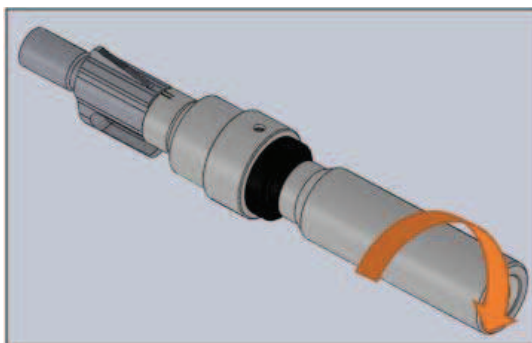
Fonte: elaborado pelo autor.

A primeira parte do estudo, constitui-se na criação do método de verificação e de calibração do meio de controle, fase essa muito importante para poder dar seguimento no estudo. Sendo assim, segue abaixo o método definido:

MÉTODO DE MEDIÇÃO:

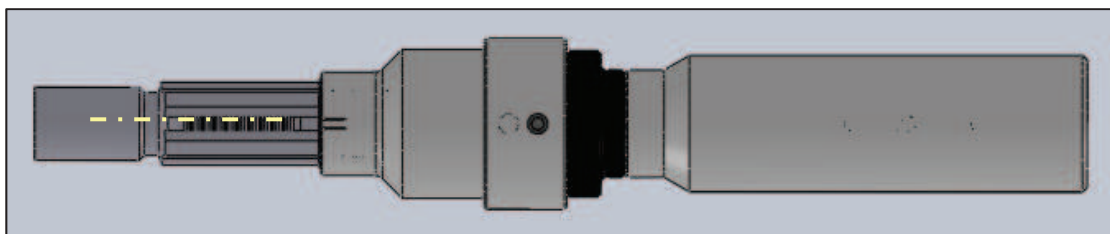
Para realizar a medição devem ser seguidos os seguintes passos:

1º - Roscar calibre até que o mesmo encoste sua face na face do cano;



2º - Parar de rosar assim que escutar três estalos consecutivos;

3º - Verificar posição de parada das marcações do calibre, mínima e máxima posições, em relação ao centro da mira (linha imaginária);



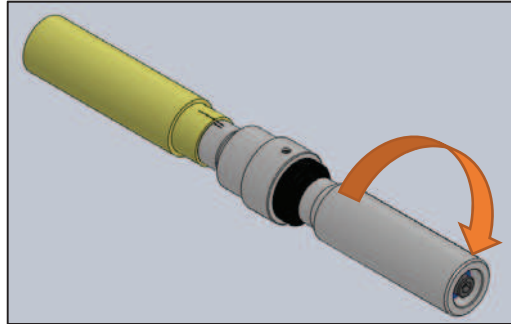
Critério de aceitação:

A posição de rosca estará aprovada caso a posição de parada do calibre esteja entre as marcações de posições mínima e máxima, incluindo a marcação, tomando por referência a linha imaginária. Caso contrário a posição de rosca estará reprovada.

CALIBRAÇÃO:

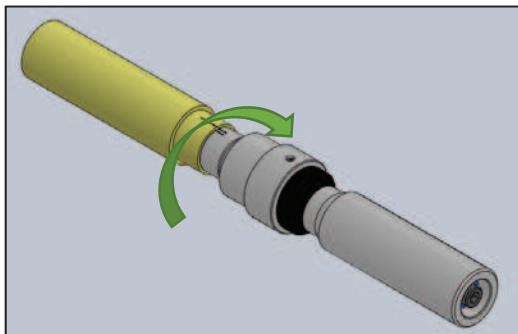
Para realizar a calibração do calibre devem ser seguidos os seguintes passos:

1º - Roscar calibre até que o mesmo encoste sua face na face do master (padrão);

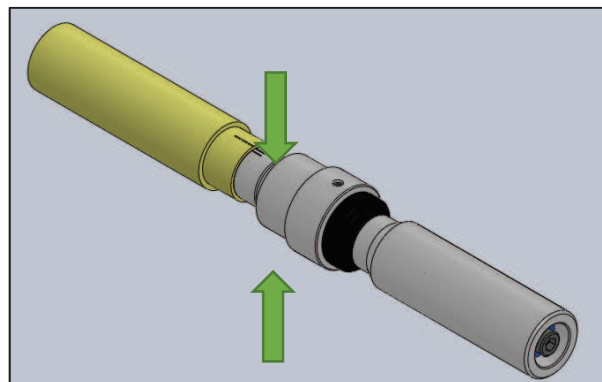


2º - Parar de roscar assim que escutar três estalos consecutivos;

3º - Ajustar posicionamento do centro junto à marcação do master (padrão), deslocando flange (capa);



4º - Travar e lacrar parafusos de liberação de ajuste do flange (capa).



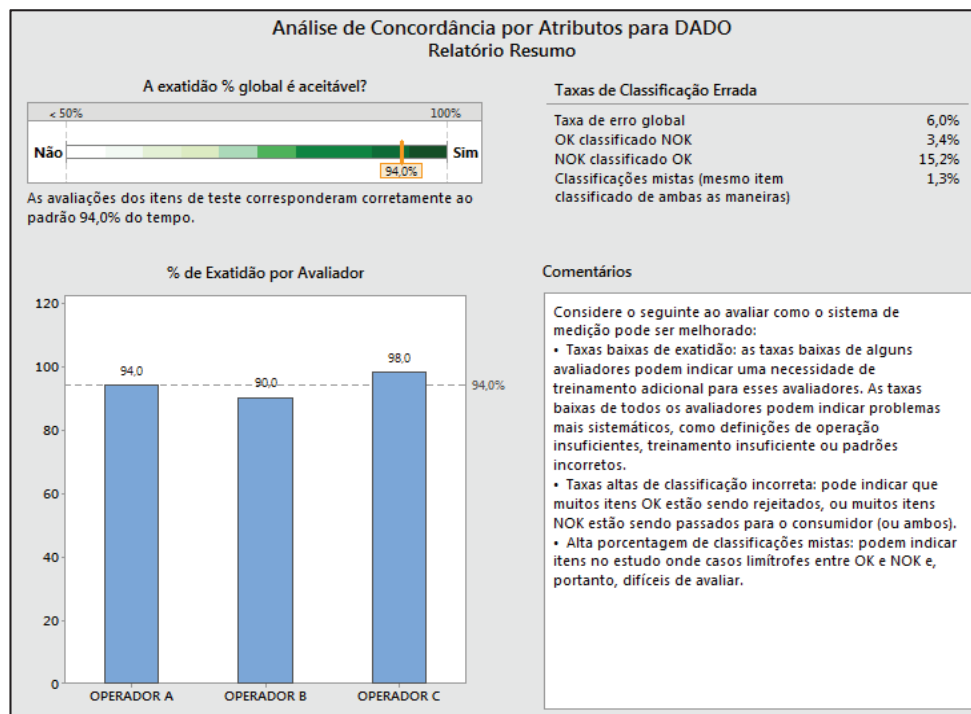
O meio de controle também possui um sistema interno similar ao sistema de micrômetro, o que ocorre de quando chegar na posição de aferição já ter um torque mínimo definido de aperto, e caso tente ultrapassar este torque o manipulador do calibre

funciona como uma catraca e irá estalar, alertando que já está na posição de medição. Definiu-se este torque como um pré-aperto manual igual ao meio de controle da armação, sendo ele de 0,5kgf.

Posterior à definição do método de medição e calibração, partiu para o estudo de R&R, para avaliar a repetibilidade e reprodutibilidade do meio de controle.

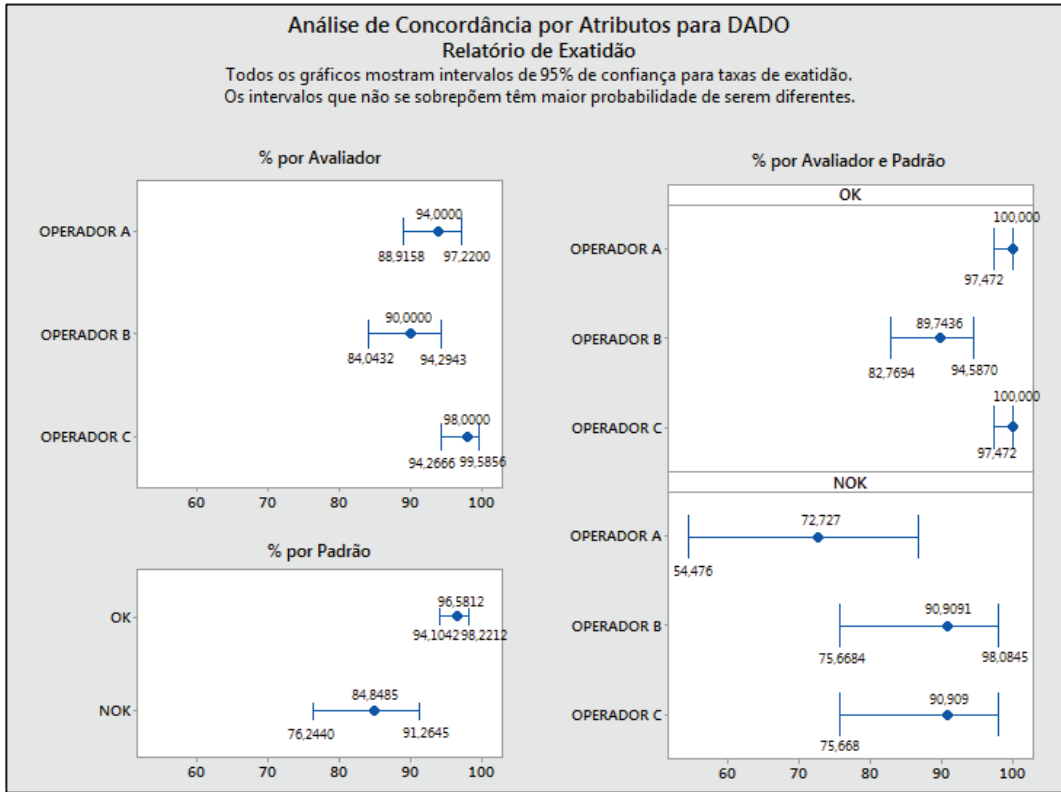
Separou-se 10 amostras e três operadores distintos para realização do estudo, o que gerou os resultados conforme Figura 27, Figura 28 e Figura 29:

Figura 27 - Pareto geral de percentual de exatidão por avaliador calibre Cano



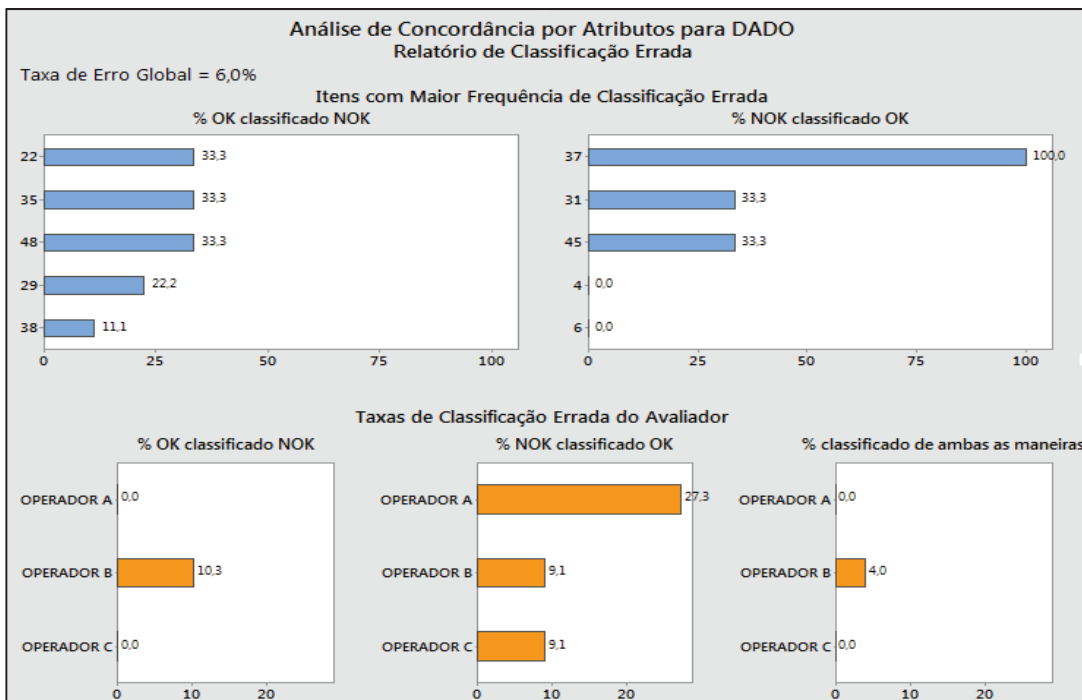
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 28 - Percentual de exatidão do avaliador individualmente calibre Cano



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 29 - Percentual de cada avaliador conforme classificação de peças calibre Cano



Fonte: elaborado pelo autor.

4.3 FASE ANALISAR (A)

Nesta etapa analisou-se, as causas dos problemas priorizados na fase de medição e definiu-se o prosseguimento do projeto de acordo com os resultados obtidos.

4.3.1 Análise do Cp do processo de usinagem da rosca da armação

A partir do gráfico extraído do software de qualidade MiniTab, percebe-se que se possui um processo extremamente incapaz, o estudo indica um valor de $cp=0,58$, o que resulta em uma grande fabricação de itens defeituosos. A ideia de retratar o processo de usinagem de rosca da armação é demonstrar o porquê da variação angular do conjunto montado, existem diversas variáveis que influenciam na usinagem para que sofra tal variação dimensional, porém o escopo do projeto não será a resolução da capacidade deste processo específico, visto que necessitaria um alto custo de investimento para atender uma tolerância extremamente apertada, não sabendo se essa tolerância está coerente, visto que o funcional do produto é o mesmo fixo e alinhado com um apropriado torque.

4.3.2 Análise do Cp do processo de usinagem da rosca do cano

A partir do gráfico realizado, percebe-se que se possui um processo extremamente capaz, o estudo indica um valor de $cp=2,35$, o que resulta em uma grade fabricação de itens dentro do especificado. A grande diferença entre os processos se dá na maior facilidade do processo de cano, visto que a obtenção da rosca é por meio do torneamento começando com uma referência de usinagem e terminando na mesma, sendo o processo de torneamento mais estável, diferente da armação que depende da fixação da peça na máquina e a rosca é fresada, processo mais complicado de obter dimensiona e acabamento no rosqueamento.

Mesmo o processo do cano sendo capaz, o fator de montagem é conjunto das duas componentes, ou seja, não elimina o problema, apenas serve de mapeamento para entender as variáveis do projeto.

4.3.3 Análise do Sistema de Medição de rosca da armação

Através dos resultados do estudo realizado, verificou-se que o calibre apresentou resultado de 28% de erro global, 30,5% de falso alarme e 19,2% de falha.

Os resultados poderiam ser menores se for levada em consideração a “faixa cinza de medição”. Como há uma linha de referência imaginária, o operador que estiver realizando o dimensionamento poderá ficar na dúvida caso a posição de rosca esteja nos limites das especificações, podendo aprovar armações fora do especificado, taxa de falha, e reprovar armações dentro do especificado, falso alarme.

Esta análise é evidenciada no gráfico que representa o percentual de classificação de “ambas as maneiras”, sendo este resultado de 22,7% em média, mostrando que os mesmos operadores aprovaram e reprovaram a mesma armação.

Seguindo o estudo, conclui-se que o calibre é confiável para verificação de posição de rosca, pois como descrito anteriormente, o que contribuiu para os 28% de erro foi a “faixa cinza de medição”.

Foram realizados testes de montagem, e as armações que apresentaram posição de rosca na região de incerteza, faixa cinza, montaram sem apresentarem problemas. O calibre foi implementado novamente na linha de manufatura e será controlado conforme frequência de avaliação interna.

4.3.4 Análise do Sistema de Medição de rosca do cano

Através dos resultados do estudo realizado, verificou-se que o calibre apresentou resultado de 6% de erro global, 3,4% de falso alarme e 15,2% de falha.

Os resultados poderiam ser menores se for levada em consideração a “faixa cinza de medição”. Como há uma linha de referência imaginária, o operador que estiver realizando o dimensionamento poderá ficar na dúvida caso a posição de rosca esteja nos limites das especificações, podendo aprovar canos fora do especificado, taxa de falha, e reprovar canos dentro do especificado, falso alarme.

Seguindo o estudo, conclui-se que o calibre é confiável para verificação de posição de rosca, pois como descrito anteriormente, o que contribuiu para os 6% de erro foi a “faixa cinza de medição”.

Foram realizados testes de montagem, e canos que apresentaram posição de rosca na região de incerteza, faixa cinza, montaram sem apresentarem problemas. O

calibre foi implementado novamente na linha de manufatura e será controlado conforme frequência de avaliação interna.

4.4 FASE MELHORIA (M)

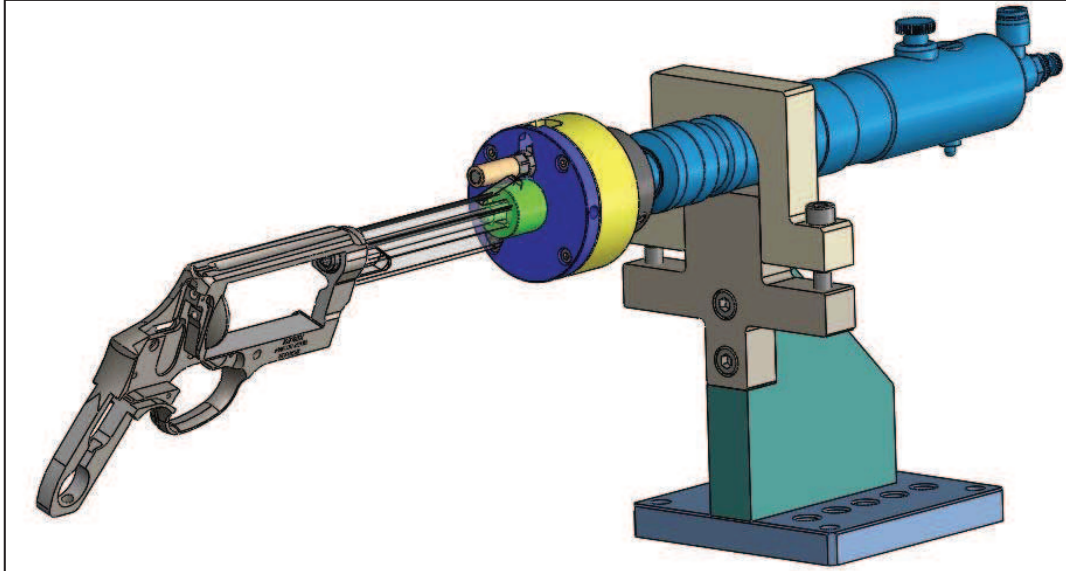
Nesta fase, foram testados e executadas os desenvolvimentos realizados. Para a principal causa analisada do modo de falha, iniciou-se o desenvolvimento de um novo processo, visando um novo conceito de montagem que atenderia os requisitos do escopo do projeto. Na fase de análise foi definido os valores de torque à serem trabalhados. A equipe implementou este novo processo como solução dos modos de falha, visto que os resultados em relação à qualidade serão extremamente vantajosos, pois se chegará a zero falhas neste quesito.

4.4.1 Realização de um dispositivo de pré-torque

Uma das criticidades desse processo, está no pré-torque aplicado antes de fazer a montagem final de cano e armação, o assunto foi explanado no estudo de caso, onde se explicou as variáveis que influenciam para se ter tal variação. Uma variável crítica está relacionada a força do pré-torque aplicado, atualmente é realizado manualmente pelo operador, o que varia de operador para operador, sem contar a variação devido a fadiga. Como desenvolvimento de melhoria a equipe de projeto desenvolveu um dispositivo de pré-aperto, onde consiste em um aperto auxiliado por uma parafusadeira pneumática, onde já se tem um ganho de eficiência, e o dispositivo possui um limitador de torque interno, regulado em 0,5kg, valor este igual à força aplicada nos calibres de verificação de cano e armação nas linhas de manufatura. A ideia é padronizar o pré-aperto para eliminar esta variável operacional.

Na Figura 30 pode-se observar o conceito do dispositivo visualizando seu projeto.

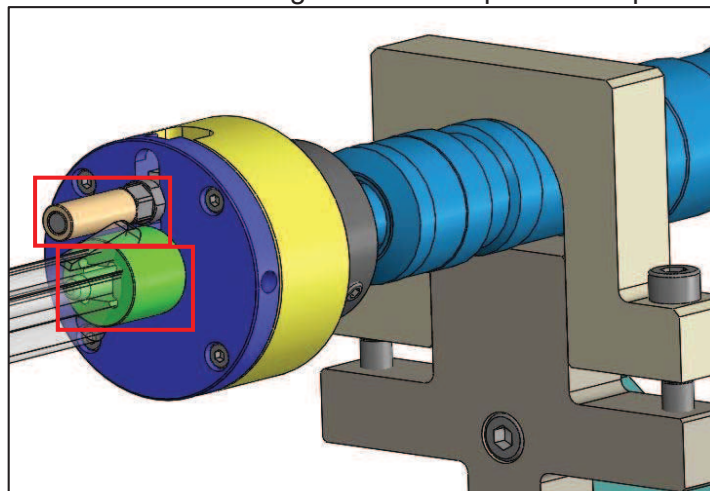
Figura 30 – Projeto do dispositivo de pré-torque



Fonte: elaborado pelo autor.

O dispositivo possui um pino de *set-up* (peça verde), onde guia pelo diâmetro interno do cano que varia de acordo com cada calibre, e também possui um pino arrastador (peça marrom), onde faz o arraste na região da mira quando se aciona a parafusadeira, em função das variações de altura de mira, se possui um oblongo de regulagem para este pino, para ajustar conforme o modelo à ser trabalhado. Na Figura 31 pode-se observar melhor os elementos citados.

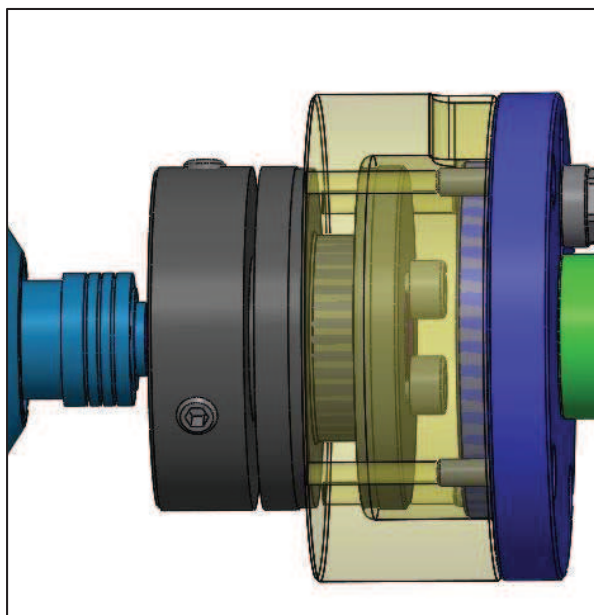
Figura 31 – Elementos reguláveis do dispositivo de pré-torque



Fonte: elaborado pelo autor.

Além dos elementos reguláveis citados, o dispositivo possui o limitador de torque internamente em seu sistema, limitador esse composto por pratos de contato que já possuem a especificação correta para limitar o torque e trava o sistema quando chegar em 0,5kg. A Figura 32 representa de forma translúcida o interno do sistema do dispositivo.

Figura 32 – Sistema de limitador de torque do dispositivo de pré-torque



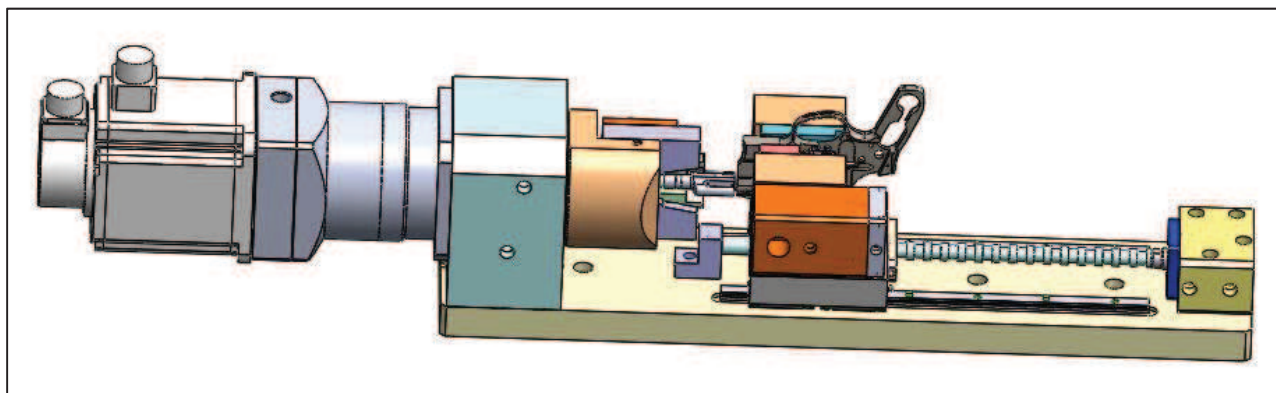
Fonte: elaborado pelo autor.

4.4.2 Realização de um dispositivo de montagem

Em função da potencial causa que gera os modos de falha Cano Frouxo e Cano Quebrado, desenvolveu-se um dispositivo novo de montagem de cano na armação, levando-se em consideração todos os pontos levantados pela equipe de projeto.

Na Figura 33, observa-se o projeto do dispositivo novo.

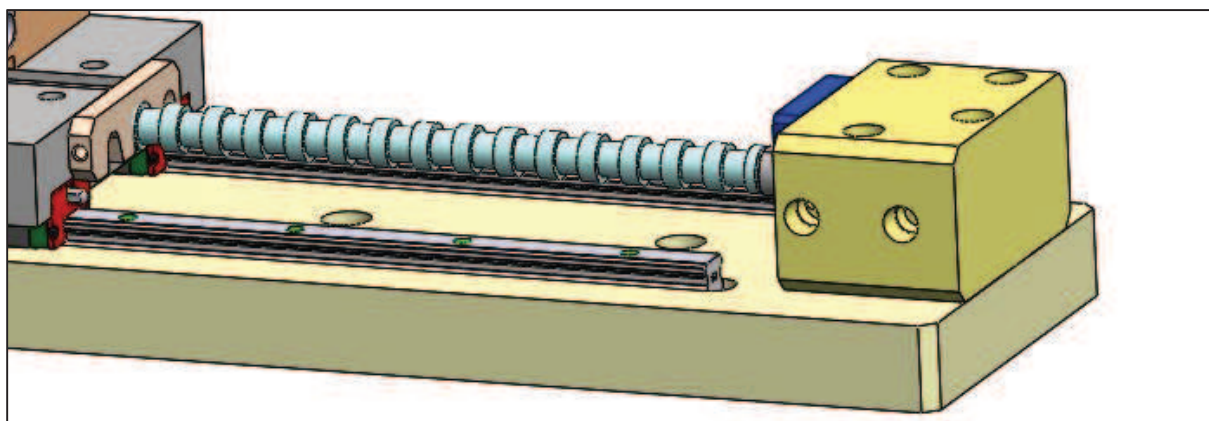
Figura 33 – Projeto do dispositivo de montagem do cano na armação



Fonte: elaborado pelo autor.

Além da premissa principal do projeto, que era implementar o controle de torque, foi trabalho em algumas oportunidades de melhoria nessa linha de montagem, como melhoria no *set-up* e fixação das peças, como visto na Figura 34, Figura 35 e Figura 36

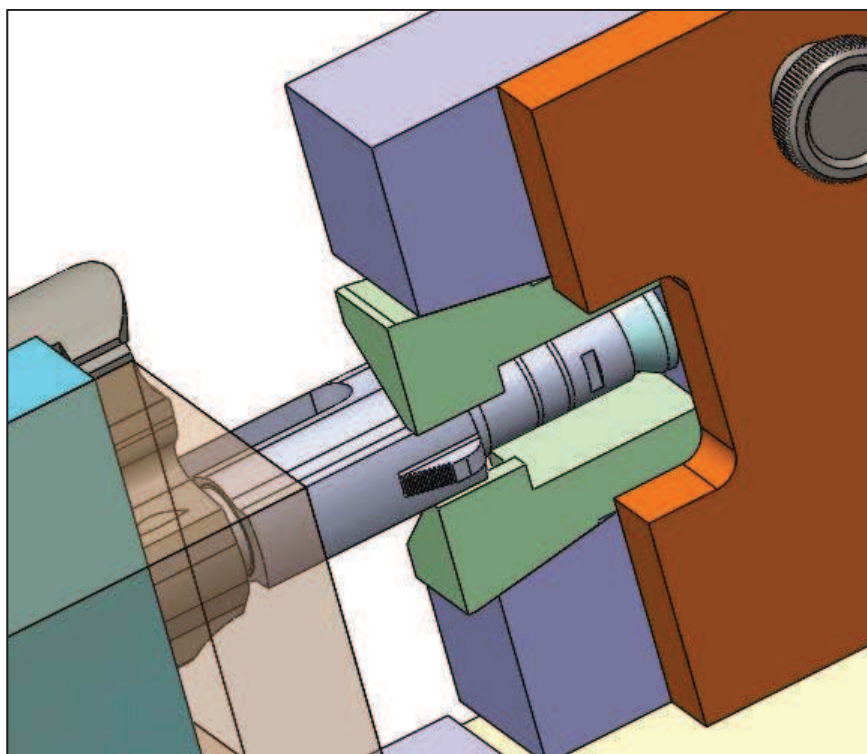
Figura 34 – Guias lineares para ajuste de comprimento



Fonte: elaborado pelo autor.

Como se tem comprimento de canos variados, de 50mm à 254mm, criou-se um sistema de rápida regulagem, composto por um patim que corre em cima de duas guias lineares, sendo o conjunto guiado internamente por um varão com anéis graduados para cada comprimento de cano, onde se é travado por uma tranela.

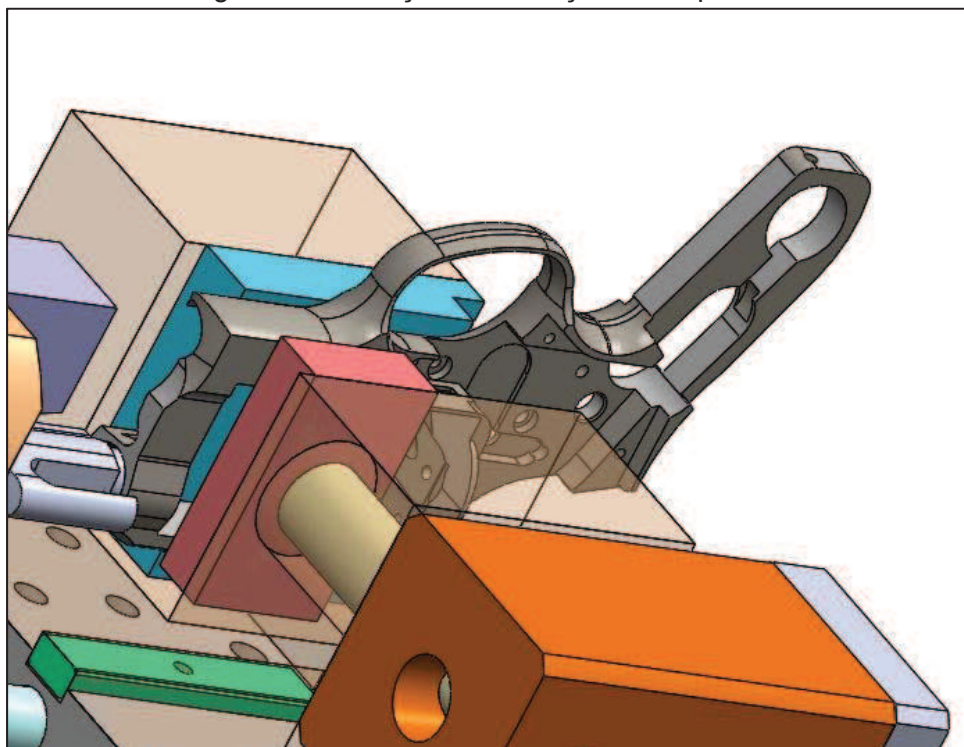
Figura 35 – Fixação do cano no dispositivo



Fonte: elaborado pelo autor.

Conforme citado acima, melhorou-se também o conceito de fixação das componentes, conforme imagem acima pode-se perceber que foi desenvolvida uma pinça específica que fica na região do dorso de cano, esta região foi definida como referência de fixação por possuir um controle de simetria em relação a mira do cano, e ter uma boa área para apoio, a pinça de *set-up* (peça verde), será desenvolvida para cada modelo de cano, pois existe variação entre eles na espessura do dorso, a troca da pinça no dispositivo é de maneira fácil e rápida, visto que necessita apenas soltar o manipulador e retirar a tampa (peça marrom) para substituição.

Figura 36 – Fixação da armação no dispositivo



Fonte: elaborado pelo autor.

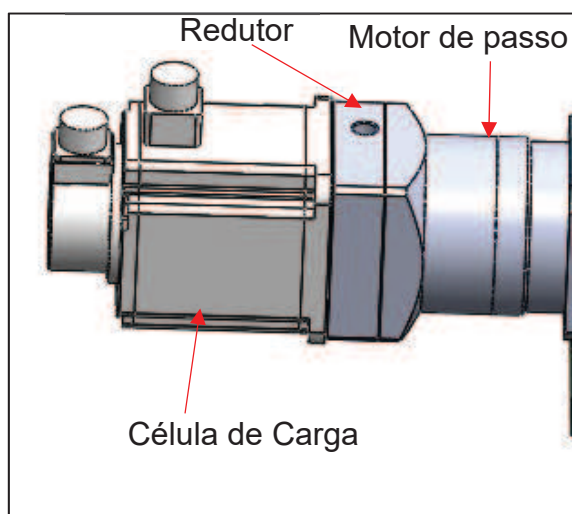
Na parte de fixação da armação, também se pensou no *set-up* rápido, foi desenvolvido uma base para a armação (peça azul), que varia de acordo com o perfil e espessura de cada armação, essa peça de *set-up* faz com que cada armação fique com o centro da rosca alinhada com o centro do cano do dispositivo, essa peça é de material nylon para diminuir o risco de manusear a armação, e é chavetada no dispositivo, sendo uma troca rápida.

Além do quesito *set-up* rápido, existia um outro problema recorrente na montagem do cano, no processo atual só se conseguia fixar a armação com o suporte do tambor montado na mesma, pois a fixação do dispositivo necessitava da área em que o suporte estava montado, está montagem com o suporte montado, fazia com o suporte descentrasse, pois era aplicado uma força na região do mesmo, isto impacta no funcional da arma na montagem final da mesma, pois o suporte possui a funcionalidade de fixar o tambor no conjunto armação e ele deve estar centrado para se dar o alinhamento do tambor. Feito este relato, foi projetado neste dispositivo uma fixação na armação deslocada (peça vermelha) do alojamento do suporte, apoiando apenas na parte paralela de armação, usando-a a de esquadro.

Ambas as fixações de cano e armação são de acionamento hidráulico, em função do torque à ser aplicado necessita de ampla robustez para não mexer as componentes enquanto está montando.

O dispositivo ainda contempla um motor de passo para alinhamento automático do conjunto na posição, um redutor planetário que fraciona a aplicação da força, e uma célula de carga para leitura de torque, conforme visto no projeto na Figura 37.

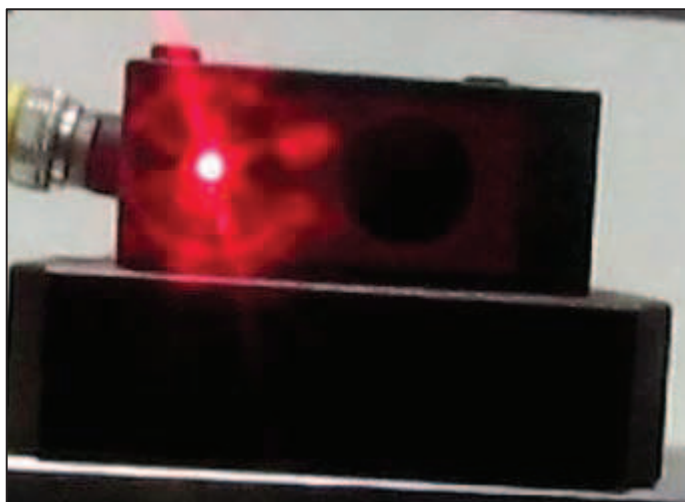
Figura 37 – Elementos eletrônicos do dispositivo



Fonte: elaborado pelo autor.

Em relação ao funcionamento do dispositivo, será totalmente automático, o operador irá realizar o pré-torque de cano e armação e irá verificar se o conjunto está apto a seguir o processo de montagem, após isso ele irá posicionar a conjunto no dispositivo e acionar o ciclo start da máquina, o mecanismo funcionará automaticamente, fixando inicialmente a armação e avançando o carro até a pinça do cano, depois fixará a pinça do cano e iniciará o processo de rosqueamento e aplicação do torque. O ponto de parada do cano se dá por um sensor de posição, conforme Figura 38, que mede a posição em relação à um dos lados da mira, podendo realizar um ajuste fino deste parâmetro de acordo com o alinhamento da arma.

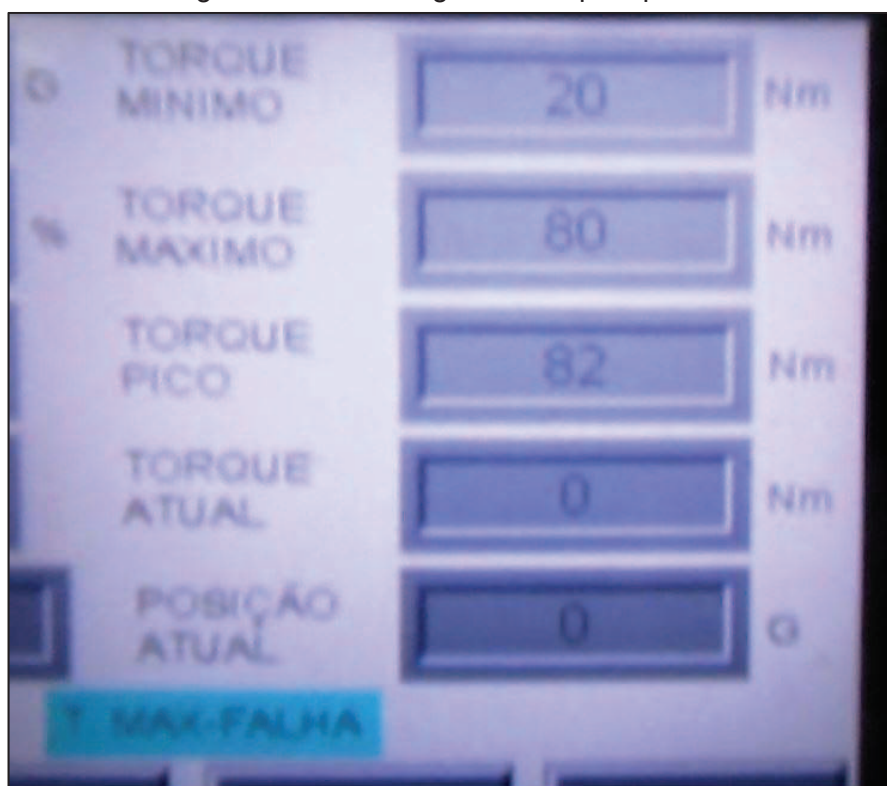
Figura 38 - Sensor de posição do dispositivo



Fonte: registrado pelo autor.

Por fim, feito o alinhamento do cano na armação, chegando na posição determinada pelo sensor, existe um leitor digital no CLP que lê o pico do torque dado no conjunto, conforme Figura 39.

Figura 39 – Leitor digital do torque aplicado

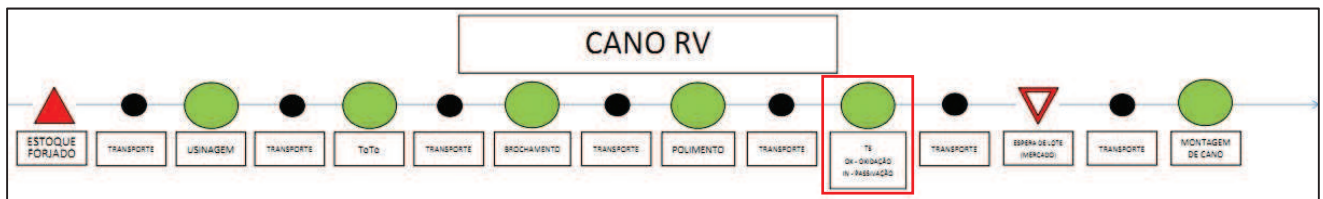


Fonte: registrado pelo autor.

O objetivo é controlar o torque mínimo e máximo de montagem, o torque mínimo para que o cano não solte posterior a montagem nos demais processos, sendo esse torque mínimo definido em novo estudo na fase de implementação, e o torque máximo será definido pelo ensaio de elemento finitos realizado em um fornecedor externo, ou seja, possuindo esses dois parâmetros chaveados, o dispositivo só irá aprovar peças dentro desses parâmetros, caso ocorra torque inferior ou superior aos parâmetros que serão definidos, a máquina automaticamente liga um alarme e desmonta o cano voltando a sua posição inicial.

Vale ainda ressaltar como melhoria, uma grande mudança no fluxo de processo da montagem de cano, para entendimento, atualmente se tem o fluxograma abaixo de processo de cano, conforme Figura 40:

Figura 40 – Fluxograma processo de fabricação do Cano

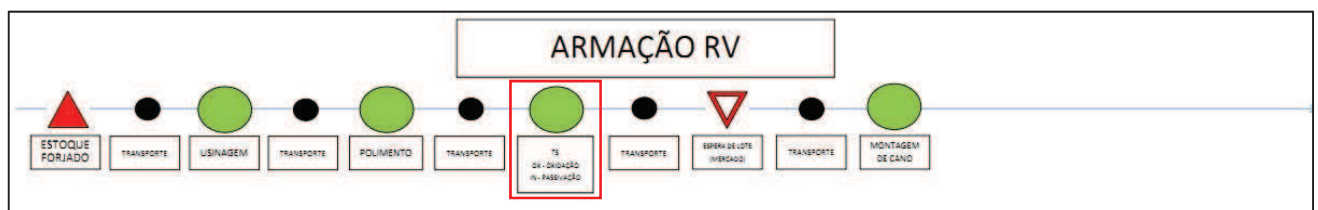


Fonte: elaborado pelo autor.

Salientado na região grifada o ponto em que ocorre o tratamento superficial dos canos, sendo anterior ao processo de montagem.

Abaixo na Figura 41, observa-se o fluxograma do processo de armação:

Figura 41 - Fluxograma processo de fabricação do Armação



Fonte: elaborado pelo autor.

Percebe-se o mesmo fluxo referente ao processo de tratamento superficial da armação, também feito anterior a montagem de cano na armação.

Isto implica em um número alto de retrabalho em função do manuseio, como as componentes chegam separadamente e já com acabamento final, deve-se cobrir

toda a superfície das peças com fitas para executar o processamento de montagem, e mesmo assim ainda ocorre manuseios.

A melhoria aplicada foi a alternância do fluxo desse processo, desconsiderando o tratamento superficial das componentes separadamente e montando os conjuntos sem este processo, isto já soma um ganho em eficiência em função de não precisar passar a fita nas peças e um ganho de custo por eliminar a quantidade de fita, não utilizando mais neste processo. Após a montagem das componentes, o conjunto é tratado superficialmente montado, o que é permissível em função de ser o mesmo tratamento, material e dureza, e também gera um ganho de sobra de capacidade dos banhos, pois no processo existente cano e armação sendo tratados separadamente requeriam uma capacidade específica já calculada e de acordo com a demanda e o tempo de processamento no banho, sendo no processo proposto, o conjunto será processado apenas uma vez e com o mesmo tempo de processamento, ou seja, sobrar capacidade dos banhos podendo ser utilizada para outros fins ou até redução de turno, conseqüentemente redução de custo.

4.5 FASE IMPLEMENTAR (I)

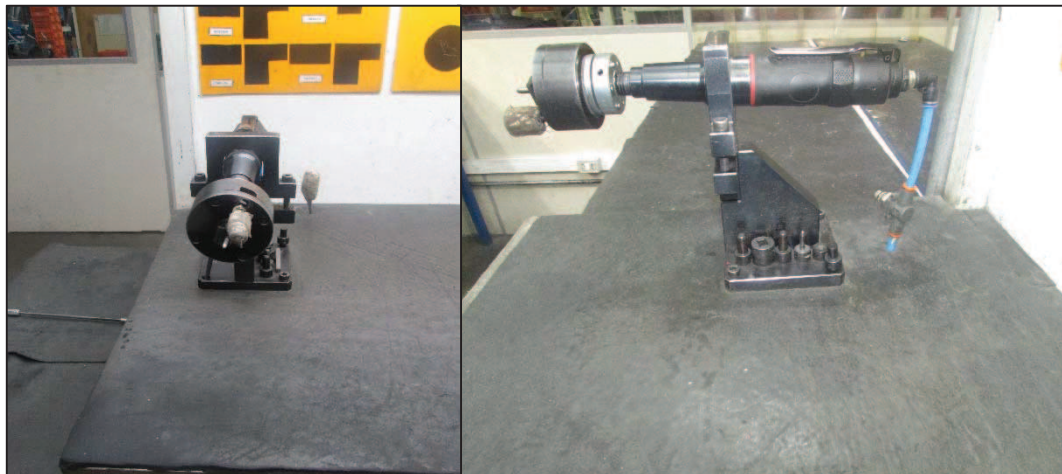
Nesta etapa do projeto, são abordadas as implementações feitas no processo a partir das melhorias levantadas e análises realizadas.

4.5.1 Implementação do sistema de pré-torque

Em função da variável relacionada à força de aperto dada no pré-torque, e como já avaliado na fase de análise, desenvolveu-se um dispositivo para realizar a montagem desse pré-torque, aplicando a mesma força empregada no calibre de posição de rosca das componentes separadas (0,5kg).

Na Figura 42, se tem o dispositivo implantado na célula de montagem.

Figura 42 – Dispositivo de pré-torque na célula de montagem



Fonte: registrado pelo autor.

4.5.2 Implementação do sistema de montagem

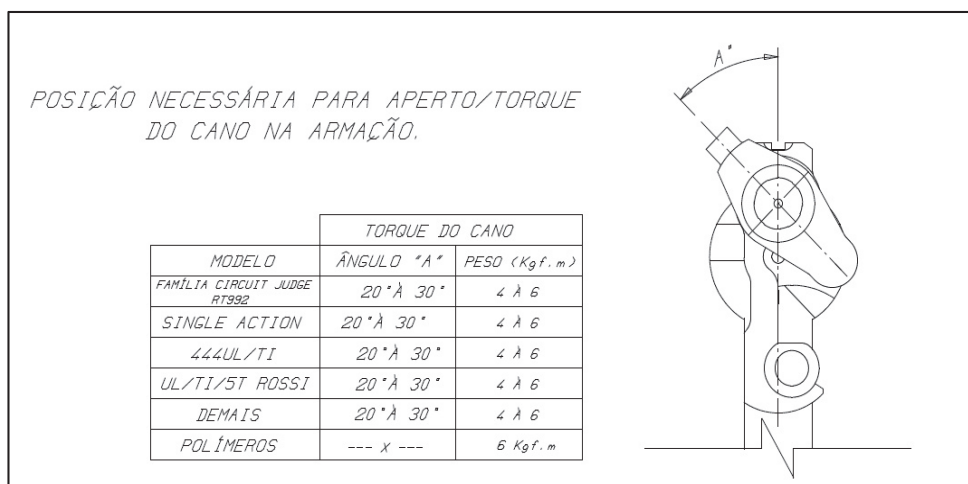
A partir do que foi analisado nas fases anteriores de medição e análise, em conjunto com a melhoria proposta. Desenvolveu-se um novo sistema de montagem para este processo, atendendo ao escopo principal do projeto, onde se fazia necessário a implementação de controles robustos para o torque de montagem do conjunto cano e armação.

4.5.2.1 Definição do torque máximo de montagem

Inicialmente, definiu-se a torque máximo de montagem, ou seja, o torque máximo que pode-se montar o conjunto antecedendo seu limite de zona plástica, resumidamente, não gerando tensão suficiente para ocorrer trincas e propagar quebra do cano posteriormente.

Este estudo para definição do torque máximo, foi realizado em fornecedor externo, no Laboratório de Metalurgia Física da UFRGS (LAMEF) através de ensaio de elementos finitos, onde o estudo partiu de uma especificação existente da empresa conforme Figura 43.

Figura 43 – Especificações de produto



Fonte: elaborado pelo autor.

A partir das especificações, tem-se uma diretriz para prosseguimento de trabalho. Sabe-se internamente que as especificações existentes fazem uma referência para abrangência dos revólveres e acaba por restringir o conjunto. O estudo feito externamente nos dará embasamento para poder-se arbitrar adequadamente o torque máximo necessário.

A conclusão do ensaio realizado, indica-se a trabalhar com uma condição de torque máximo de 80N (8kgf), considerando o modelo base RT 410, e ambos materiais existentes (Aço Carbono e Aço Inoxidável).

4.5.2.2 Definição do torque mínimo de montagem

Para definição do torque mínimo de montagem, necessitou realizar um estudo paralelo. Como o dispositivo implementado mostra os valores do torque de montagem, pode-se realizar um estudo montando peças aleatórias com diversos ângulos de pré-torque e fazendo o teste funcional para verificar se o mesmo irá soltar ou não. Este teste é realizado na montagem final do revólver, onde com o auxílio de um martelo de plastiprene, é feito o martelamento do cano para verificar se o mesmo irá soltar ou não.

O teste sucedeu inicialmente no material aço carbono, sendo separados 3 lotes diferente de conjuntos, sendo eles:

- Lote 1 – 5 conjuntos com ângulo de pré-posição de 20°;

Tabela 6 - Montagem dos canos aço carbono com pré-posição de 20°

SEQ.	CANO	ÂNGULO DE MONTAGEM (5Nm)	TORQUE DE MONTAGEM (Nm)	STATUS
1	222	22	19	NÃO OK
2	819	20	19	NÃO OK
3	642	19	22	NÃO OK
4	123	18	22	NÃO OK
5	816	17	23	NÃO OK

Fonte: elaborado pelo autor.

- Lote 2 – 5 conjuntos com ângulo de pré-posição de 30°;

Tabela 7 - Montagem dos canos aço carbono com pré-posição de 30°

SEQ.	CANO	ÂNGULO DE MONTAGEM (5Nm)	TORQUE DE MONTAGEM (Nm)	STATUS
1	825	29	13	NÃO OK
2	205	28	19	NÃO OK
3	147	25	22	NÃO OK
4	527	28	27	OK
5	188	27	32	OK

Fonte: elaborado pelo autor.

- Lote 3 – 3 conjuntos com ângulo de pré-posição de 40°.

Tabela 8 - Montagem dos canos aço carbono com pré-posição de 40°

SEQ.	CANO	ÂNGULO DE MONTAGEM (5Nm)	TORQUE DE MONTAGEM (Nm)	STATUS
1	234	37	36	OK
2	173	42	45	OK
3	172	38	47	OK

Fonte: elaborado pelo autor.

Posteriormente, fez-se o mesmo estudo para o material de aço inoxidável, sendo os lotes:

- Lote 1 – 5 conjuntos com ângulo de pré-posição de 20°;

Tabela 9 - Montagem dos canos aço inoxidável com pré-posição de 20°

SEQ.	CANO	ÂNGULO DE MONTAGEM (5Nm)	TORQUE DE MONTAGEM (Nm)	STATUS
1	11	19	20	NÃO OK
2	17	20	16	NÃO OK
3	86	22	20	NÃO OK
4	194	18	19	NÃO OK
5	260	20	15	NÃO OK

Fonte: elaborado pelo autor.

- Lote 2 – 5 conjuntos com ângulo de pré-posição de 30°;

Tabela 10 - Montagem dos canos aço inoxidável com pré-posição de 30°

SEQ.	CANO	ÂNGULO DE MONTAGEM (5Nm)	TORQUE DE MONTAGEM (Nm)	STATUS
1	102	27	15	NÃO OK
2	23	30	21	NÃO OK
3	7	30	24	NÃO OK
4	67	32	28	OK
5	13	29	30	OK

Fonte: elaborado pelo autor.

- Lote 3 – 5 conjuntos com ângulo de pré-posição de 40°;

Tabela 11 - Montagem dos canos aço inoxidável com pré-posição de 40°

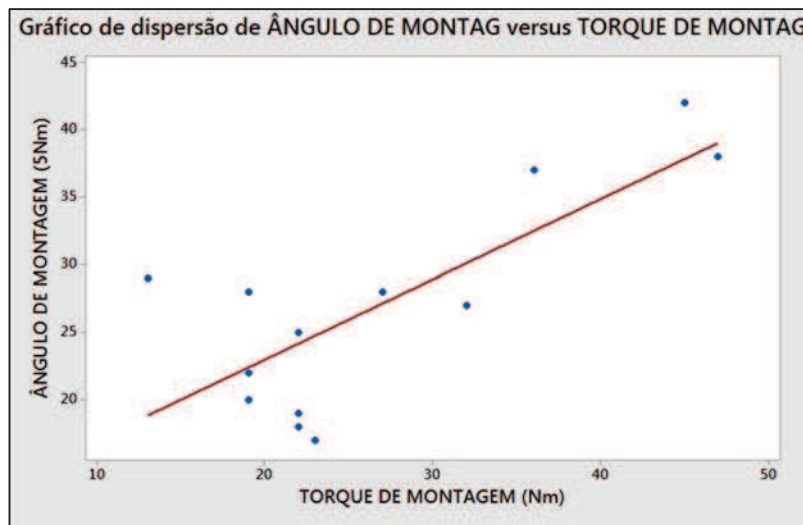
SEQ.	CANO	ÂNGULO DE MONTAGEM (5Nm)	TORQUE DE MONTAGEM (Nm)	STATUS
1	656	38	21	NÃO OK
2	3	39	22	NÃO OK
3	623	40	23	NÃO OK
4	66	40	28	OK
5	1	38	41	OK

Fonte: elaborado pelo autor.

O estudo teve como metodologia a aferição inicialmente do pré-torque e sucedeu com a montagem dos conjuntos e registros dos valores de torque aplicado. O status de OK e NÃO OK, refere-se ao teste de martelamento para verificar se o cano soltará ou não, peças NÃO OK, significam que o cano estava frouxo e soltou.

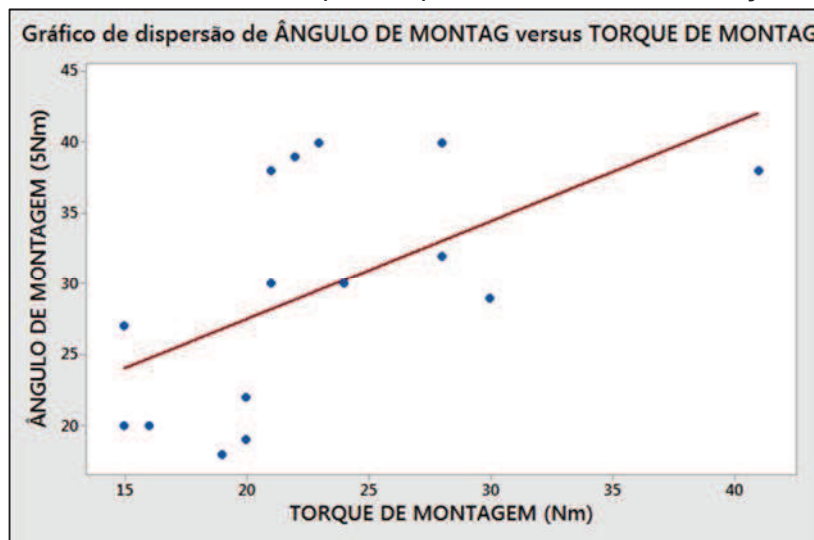
Com o auxílio do software de qualidade MiniTab, utilizou-se os dados coletados do estudo para melhor analisar os resultados. No Gráfico 1 e Gráfico 2, tem-se as dispersões dos dados obtidos para o experimento nos materiais aço carbono e aço inoxidável respectivamente.

Gráfico 1 – Gráfico de dispersão para dados do material aço carbono



Fonte: elaborado pelo autor.

Gráfico 2 - Gráfico de dispersão para dados do material aço inoxidável

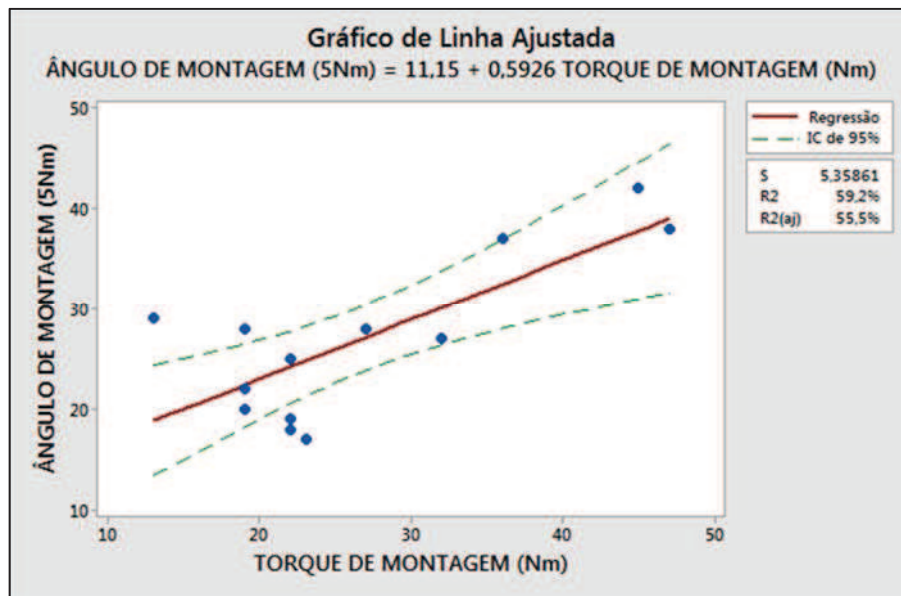


Fonte: elaborado pelo autor.

Para melhor visualização dos dados coletados, os gráficos de dispersão demonstram os valores, sendo no eixo 'y' o ângulo de pré-montagem, e no eixo 'x' o torque de montagem final aplicado.

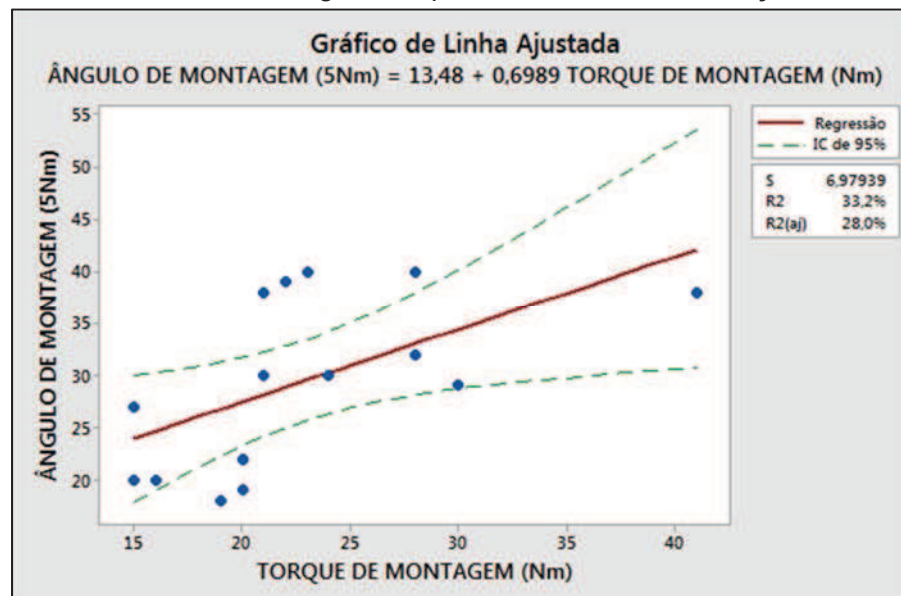
Seguindo o estudo, realizou-se os gráficos de regressão para ambos dados coletados dos dois tipos de materiais, visando entender se existe variação do torque de montagem em função do ângulo de pré-posição. Abaixo o Gráfico 3 e Gráfico 4 apresentam os valores.

Gráfico 3 – Gráfico de regressão para dados do material aço carbono



Fonte: elaborado pelo autor.

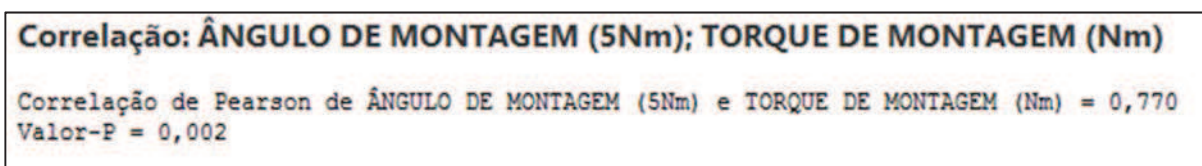
Gráfico 4 – Gráfico de regressão para dados do material aço inoxidável



Fonte: elaborado pelo autor.

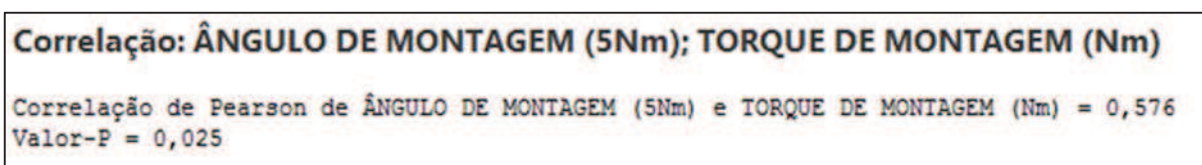
O coeficiente de determinação (R^2), informa que para o material aço carbono, aproximadamente 59% da mudança dos valores de torque de montagem é devido à variação do ângulo de pré-posição, e no material aço inoxidável, aproximadamente 33% da mudança dos valores de torque de montagem é devido à variação do ângulo de pré-posição, ou seja, é um percentual muito baixo para afirmar tal correlação. Para comprovar o que se foi analisado, fez-se a análise de correlação para ambos materiais, conforme visto na Figura 44 e Figura 45.

Figura 44 – Análise de correlação para os dados do material aço carbono



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 45 - Análise de correlação para os dados do material aço inoxidável



Fonte: elaborado pelo autor.

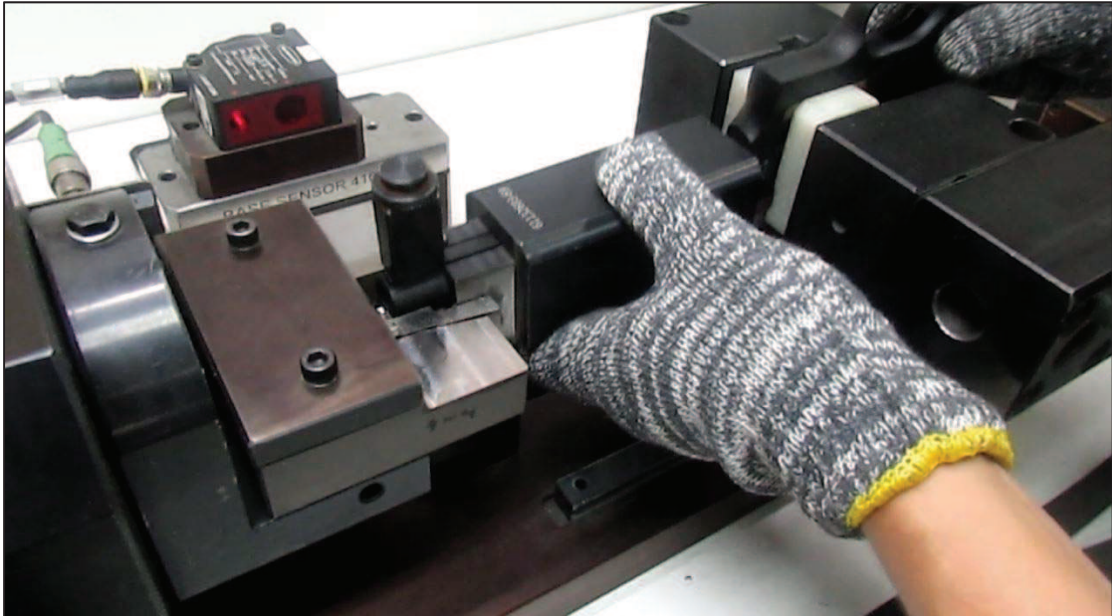
Realizando uma breve análise, pode-se mitigar a questão de trabalhar em função do ângulo de pré-posição, este ângulo de defasagem orienta uma certa referência, porém não é o método mais indicado pois não possui correlação entre eles, existem diversas variáveis que podem influenciar neste processo. Isto pode ser comprovado pois realizando a análise de correlação, ambos 'P-value' são menores que 0,05 (Carbono=0,002 e Inox=0,025), o que é correto afirmar que não existe significância para afirmar tal relação.

Finalizando este breve estudo, percebe-se que conjuntos com torque de montagem inferior à 25Nm soltaram na realização do teste funcional, e todas peças do estudo com o torque de montagem superior a este valor, não apresentou este modo de falha, sendo definido o torque mínimo de montagem o valor de 25Nm, para este modelo RT410 e ambos materiais (Carbono e Inox).

Posterior a definição dos limites de montagem, o dispositivo novo foi implementado e se iniciou um novo processo com os devidos controles visando a

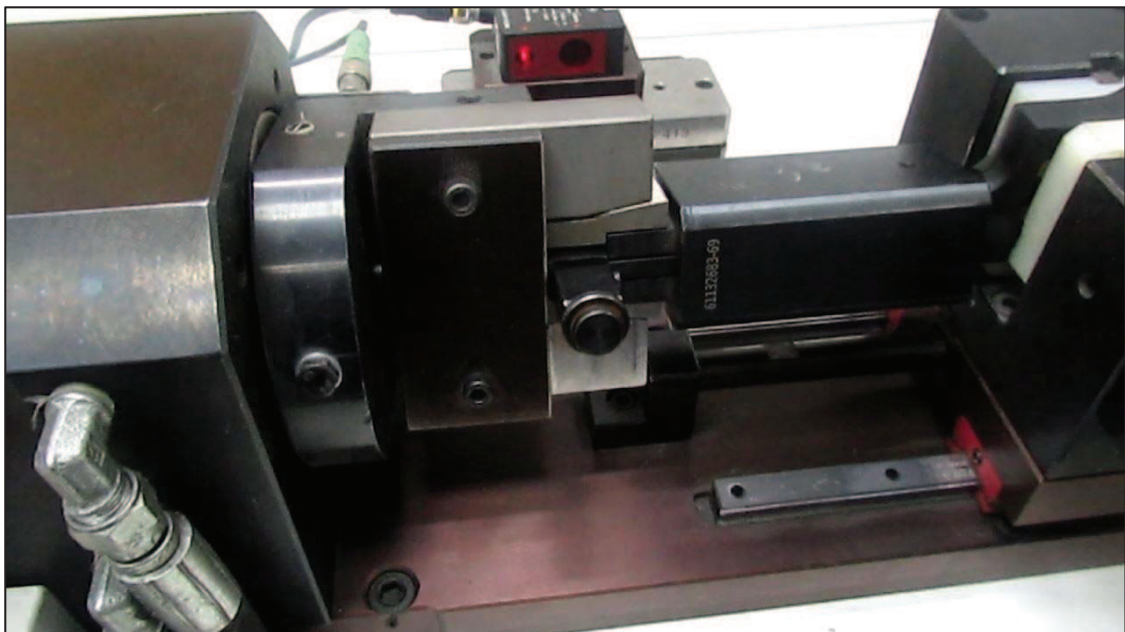
resolução dos modos de falha abordados no projeto. Na Figura 46 e Figura 47, pode-se observar o dispositivo novo já em local de trabalho, dentro da célula de montagem de cano na armação, e em operação.

Figura 46 – Dispositivo novo sendo abastecido



Fonte: registrado pelo autor.

Figura 47 – Dispositivo novo operando



Fonte: registrado pelo autor.

4.6 FASE CONTROLAR (C)

Após as melhorias implementadas e durante a fase de controle, a equipe de projeto desenvolveu métodos de controle para assegurar a sustentabilidade das melhorias realizadas.

Em relação ao pré-torque desenvolveu-se o dispositivo para fazer a montagem com o limitador de torque, a aferição deste sistema é de responsabilidade da manufatura, sendo calibrado o dispositivo semanalmente com o auxílio de um torquímetro (Figura 48), para verificar se de fato o valor do limitador está de acordo com o que se definiu (0,5kgf).

Figura 48 – Torquímetro de calibração do dispositivo de pré-torque



Fonte: registrado pelo autor.

Na parte do setor de manufatura, os instrumentos de medição de posição de rosca, que tiveram seus MSA's aprovados, seguirão a rotina de controle de procedimento de qualidade da empresa, mensalmente os calibres serão aferidos com seus respectivos padrões de zeramento.

E por último, como maior controle do projeto, foi implementado os torques mínimos e máximos de montagem, 25Nm e 80Nm respectivamente, que também serão aferidos semanalmente via torquímetro, esses valores definidos de torque foram alocados dentro do CLP do dispositivo e de maneira chaveada, só podendo ser alterado via senha que apenas a Engenharia de Processo tem acesso, na prática,

caso o conjunto montado ao final de sua operação apresentar um torque inferior a 25Nm, irá acender uma luz de emergência e será desmontado o conjunto não permitindo a montagem. Em caso de torque máximo, quando a célula de carga ler o valor de 80Nm, também irá acender o alarme de emergência e o conjunto será desmontando interrompendo ciclo de montagem até o final do alinhamento. Na Figura 49 pode-se perceber o alarme aceso.

Figura 49 – Alarme de torque mínimo e máximo



Fonte: registrado pelo autor.

5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Este tópico trata-se da conclusão final do experimento e considerações desenvolvidas conforme resultados obtidos, além de mencionar experimentos que podem ser realizados futuramente, dando continuidade neste tema abordado.

5.1 CONCLUSÕES

Após finalizar todos os ensaios do experimento e realizar a análise de todos os resultados, pode-se concluir que o projeto atendeu aquilo que se propôs na etapa definir. O principal escopo era analisar e redefinir as especificações de torque de montagem, e posterior a isso implementar um controle robusto de processo para o torque de montagem aplicado, o escopo foi atendido satisfatoriamente com um novo processo capaz de identificar peças não conforme e automaticamente parar o processo, usando o conceito de automação. Além do principal objetivo atendido, vale salientar as melhorias que surgiram ao longo do desenvolvimento e pode-se realizar, como:

- Implementação de um dispositivo de pré-torque que além de aumentar a eficiência pois diminuiu a velocidade de processamento que antes era de 30 segundos por peça e passou a ser 10 segundos por peça, limita também o pré-torque nos mesmos 0,5kgf que se controla a posição de rosca com os calibres na manufatura, onde no processo antigo realizado manualmente não tinha este controle, sendo a força aplicada pelo próprio operador, o que se tornava instável;

- A alteração do fluxo de tratamento superficial das peças, onde eram realizadas separadamente, e com o novo fluxo passou a ser realizado após o conjunto montado, obtendo um ganho de eficiência pois o tempo de processamento do banho se mantém o mesmo, porém agora para o conjunto montado, e não mais uma a uma componente separadamente como era feito, podendo se trabalhar em apenas um turno neste processo e não mais em dois turnos como era o usual;

- Se tem também o ganho na questão do manuseio, pois o banho sendo a última operação anterior a montagem final do produto, elimina os erros de manuseio oriundo dos processos anteriores, o que gerava em torno de 30% de retrabalho das peças, necessitando fazer o reprocesso de jateamento e banho superficial, nesta nova

condição, o tratamento superficial sendo a última operação, ele absorver as marcas de manuseio e zera este modo de falha;

Ainda como ponto positivo, pode-se redefinir os limites mínimos e máximos de torque de maneira adequada, fazendo com que esta maior tolerância, permita também uma maior tolerância de posição de rosca na manufatura das componentes, podendo se reavaliar esses processos anteriores, onde antes se trabalhava em uma faixa de 20 à 30 graus de pré-posição, o que se trata de uma medida linear de aproximadamente 0,02mm, e utilizando a nova condição de controle, pode-se trabalhar em uma faixa de 20 à 45 graus de pré-posição, resultando em uma valor linear de 0,05mm, sendo dobrada a tolerância de processo, conseqüentemente reduzindo custo e diminuindo o retrabalho dessa operação que era em torno de 40%.

Desde o início do projeto, a equipe teve total apoio e respaldo da diretoria da empresa, pois era de interesse total o assunto abordado, como mencionado no estudo de caso, o problema é extremamente crítico e são modos de falha que não poderiam ocorrer no cliente final, deveriam ser bloqueados nos processos internos.

Como se tratou de um projeto de desenvolvimento bem elaborado, necessitou de um investimento total de R\$ 80.000,00, contemplando os dispositivos novos e unidades lógicas de comunicação, é um valor considerável, em contrapartida o retorno na questão de qualidade se torna imensurável pois ocorrendo as devidas manutenções citadas na fase de controle, o problema não terá chances de ocorrer.

Em relação aos aspectos negativos, a principal dificuldade encontrada durante o desenvolvimento do projeto foi manter o foco do grupo no escopo definido do projeto. Seguidamente havia discussões sobre atuar nas causas das variações dimensionais no processo de rosqueamento das componentes separadamente, o que o grupo concordava que fazia sentido, ainda mais a partir da capacidade levantada, todavia não era o escopo esperado do projeto. Outro ponto de dificuldade percebido foi manter o encaminhamento do projeto nas etapas da metodologia Seis Sigma, evitando de pular etapas em função de alguma solução proposta, que nem sempre se confirma como a mais adequada.

Com relação à metodologia, pode-se concluir que as etapas são fundamentais para o bom andamento do projeto. A utilização das ferramentas simplifica os processos, desde a definição do problema até o controle das ações implementadas. Com a divisão das etapas em um passo à passo, é possível encaminhar a solução de problemas tidos como complexos antes do início do projeto. A equipe de projeto

demonstrou comprometimento e foco na resolução do problema, houve uma grande troca de experiência com a abordagem e desdobramento na metodologia, este conhecimento adquirido e estudado será de muito utilidade para os colaboradores envolvidos podendo multiplicar o conhecimento.

5.2 TRABALHOS FUTUROS

Como possíveis trabalhos futuros para o projeto abordado pode-se enumerar:

- Uma avaliação criteriosa no processo de fabricação dos componentes (Cano e Armação), visando obter capabilidade do processo de rosqueamento de ambas;
- Estudar um método eficaz com medição por variável, para o controle do alinhamento de cano na armação, método atual é realizado visualmente;
- Analisar novo sistema implementado de montagem do cano na armação visando aumentar a eficiência do mesmo para poder abranger toda a demanda;
- Avaliar a implementação de novos modelos de revólver neste novo conceito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASM Handbook. **Properties and selection: Irons, Steel and High- Performance Alloys**, ASM international, USA, 1990.

DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. São Paulo: Artliber Editora, 2010.

EBAH. **PROCESSO DE ALARGAMENTO**. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAf3JYAE/processo-alargamento-desenvolvimento?part=2>>. Acesso em: 14 Ago. 2018.a.

ESPAÇO TÁTICO. **Revólveres**. Catálogo, 2018. Disponível em: <<http://www.espacotatico.com/catalogo/pistolas-revolveres/rt-410-inox/>>. Acesso em: 21 Ago. 2018.

HEAT TECH. **Tratamento térmico de aços inoxidáveis martensíticos**. Boletim Técnico do Fabricante, 06, 2009.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. Atlas. 2010.

INDAÇO. **Alargadores**. Boletim Técnico do Fabricante, 01, 2015.

INFOMET. **USINABILIDADE DOS AÇOS INOXIDÁVEIS**. Disponível em: <<http://www.infomet.com.br/site/acos-e-ligas-conteudo-ler.php?codConteudo=114>>. Acesso em: 22 Ago. 2018.

MACHADO, A. R.; ABRÃO, A. M.; COELHO R. T.; SILVA, M. B. **Teoria da usinagem dos materiais – 2. ed.** São Paulo: Blucher, 2012.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. In: Fundamentos de metodologia científica. Atlas, 2010.

PANDE, P. NEUMAN, R. CAVANAGH, R. **Estratégia Six Sigma: como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando o seu desempenho**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2011.

PYZDEK, Thomas; KELLER, Paul. **Seis Sigma – Guia do Profissional. Um Guia Completo para Green Belts, Black Belts e Gerentes em Todos os Níveis**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2011.

RAMPAZZO, L. **Metodologia científica: para alunos dos cursos de graduação e pós-graduação**. São Paulo: Loyola, 2010. 142. Revista EDICIC, v. 1, n. 3, p. 127-142, 2011.

ROCHA, M. A. C.. **Análise das propriedades mecânicas do aço SAE 4140 com estrutura bifásica**. Rio de Janeiro, 2004. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal Fluminense.

ROTONDARO, R. G. et al. **Seis Sigma: Estratégia gerencial para melhoria de processos, produtos e serviços**. Atlas, 2011.

SANTOS, Sandro Cardoso; SALES, Wisley Falco. **Aspectos tribológicos da usinagem dos materiais**. São Paulo: Artliber Editora, 2007.

SEVERINO, Antonio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico: 23ª Edição revista e atualizada 2ª reimpressão**. 2007.

SHINGO, Shigeo. **O Sistema Toyota de Produção do Ponto de Vista da Engenharia de Produção**. Porto Alegre: Bookman, 1996b.

STAMATIS, D. H.. **Six Sigma Fundamentals: A Complete Guide to System, Methods and Tools**. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2004.

TENNANT, Geoff. **Design for Six Sigma: launching new products and services without failure**. Burlington: Gower, 2002.

THAKORE, R. et al. A review: Six Sigma implementation practice in manufacturing industries. In: **International Journal of Engineering Research and Applications**, v. 4, no. 1, 2014. Pp. 63-69.

TOURINHO, E. **Caracterização estrutural e mecânica do aço AISI/SAE 4140 tratado sob diferentes tratamentos térmicos**. Campos dos Goytacazes, 2015. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia e Ciência dos Materiais da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.

TRENT, E. M.; WRIGHT, P. K. **Metal cutting**. Woburn: Butterworth-Heinemann, 2010.

WERKEMA, C. **Criando a cultura Lean Seis Sigma**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2011.