



Aplicação da metodologia DMAIC na análise de tensão residual através de ensaio de nitrato mercuroso

Henrique Nicaço Lima (UAM) henrique.lima1995@outlook.com

Orientador(a): Alexandre Tavares Soares alexandre.t.soares@animaeducacao.com.br

Resumo

A metodologia Seis Sigma é atualmente adotada por diversas empresas com o objetivo de reduzir custos organizacionais e melhorar significativamente a qualidade e produtividade dos produtos e serviços. Para implementar a metodologia Seis Sigma em uma empresa, uma variedade de técnicas e ferramentas devem ser aplicadas para analisar e resolver problemas. DMAIC é uma metodologia que ajuda a definir e determinar a causa de um problema, mapear seus processos atuais, melhorar e controlar o desempenho dos processos. O objetivo apresentado neste artigo se remete à avaliação da eficiência desta ferramenta, tratando-se de compreensão técnica e eliminação da causa raiz para as ocorrências de fendas na munição .50 (12,7x99mm) durante ensaio de nitrato mercuroso. A ocorrência de fenda durante ensaio é considerada crítica pela norma internacional NATO STANDARD AEP-97. Este artigo foi desenvolvido a partir da coleta de dados para a realização de um estudo de caso, sendo este, um estudo técnico de modo que seja obtido amplo e detalhado conhecimento sobre o processo de fabricação e a influência de cada operação em gerar tensão residual no produto. Os dados coletados tornaram explícita a necessidade de otimização de algumas operações, na qual resultou em análises que validaram as causas raízes e possibilitam a resolução do problema apresentado. Os resultados obtidos concluem a eficácia da aplicação da ferramenta, apresentando resultados positivos expressos em eliminação da falha, redução de custos e melhoria contínua.

Palavras chaves

Seis Sigma , DMAIC, Tensão residual, Ensaio de nitrato mercuroso

Abstract

The Six Sigma methodology is currently being adopted by many companies with the aim of reducing organizational costs and significantly improving the quality and productivity of products and services. To implement the Six Sigma methodology in a company, a variety of techniques and tools must be applied to analyze and solve problems. DMAIC is a methodology that helps to define and determine the cause of a problem, map your current processes and improve and control process performance. The objective presented in this article is to evaluate the efficiency of this tool in terms of technical understanding and eliminating the root cause of cracks in .50 ammunition (12.7x99mm) during mercurous nitrate testing. The occurrence of a crack during testing is considered critical by the NATO AEP-97 international standard. This article was developed by collecting data to carry out a case study, which is a technical study in order to obtain broad and detailed knowledge about the manufacturing process and the influence of each operation in generating residual stress in the product. The data collected made explicit the need to optimize certain operations, which resulted in analyses that validated the root causes and made it possible to solve the problem presented. The results obtained show that the application of the tool was effective, with positive results expressed in the elimination of failure, cost reduction and continuous improvement.

Key words

Six sigma, DMAIC, Residual stress, Mercurous nitrate test

1. INTRODUÇÃO

A indústria de defesa estratégica faz parte de um mercado muito exigente, onde a garantia de qualidade dos produtos é primordial. Existe uma concorrência específica neste mercado, criando uma disputa acrescida nas empresas para implementar métodos que melhorem os processos, eliminem falhas, defeitos, reduzam os tempos de processo e os custos das operações. A implementação da metodologia Seis Sigma através do DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve, Control*) leva ao aumento da satisfação dos clientes, bem como à rentabilidade da empresa, através da melhoria da qualidade dos produtos e processos.

O controle de qualidade é necessário para manter o produto seguro em cada processo, garantindo boa performance, baixo refugo e custos competitivos de produção. Como requisito de qualidade durante a fabricação de uma munição, a norma NATO STANDARD AEP-97 é seguida, na qual é obrigatória para as empresas do ramo visto que, para o item estudado, qualquer anormalidade pode gerar impacto no produto final.

Para qualificação de um produto segundo a norma NATO, a munição deve ser submetida ao ensaio de Nitrato Mercuroso, onde o estojo de latão de uma munição não deve apresentar fendas ou fissuras durante o ensaio. Uma fenda é definida como uma separação do metal inteiramente através da parede do estojo.

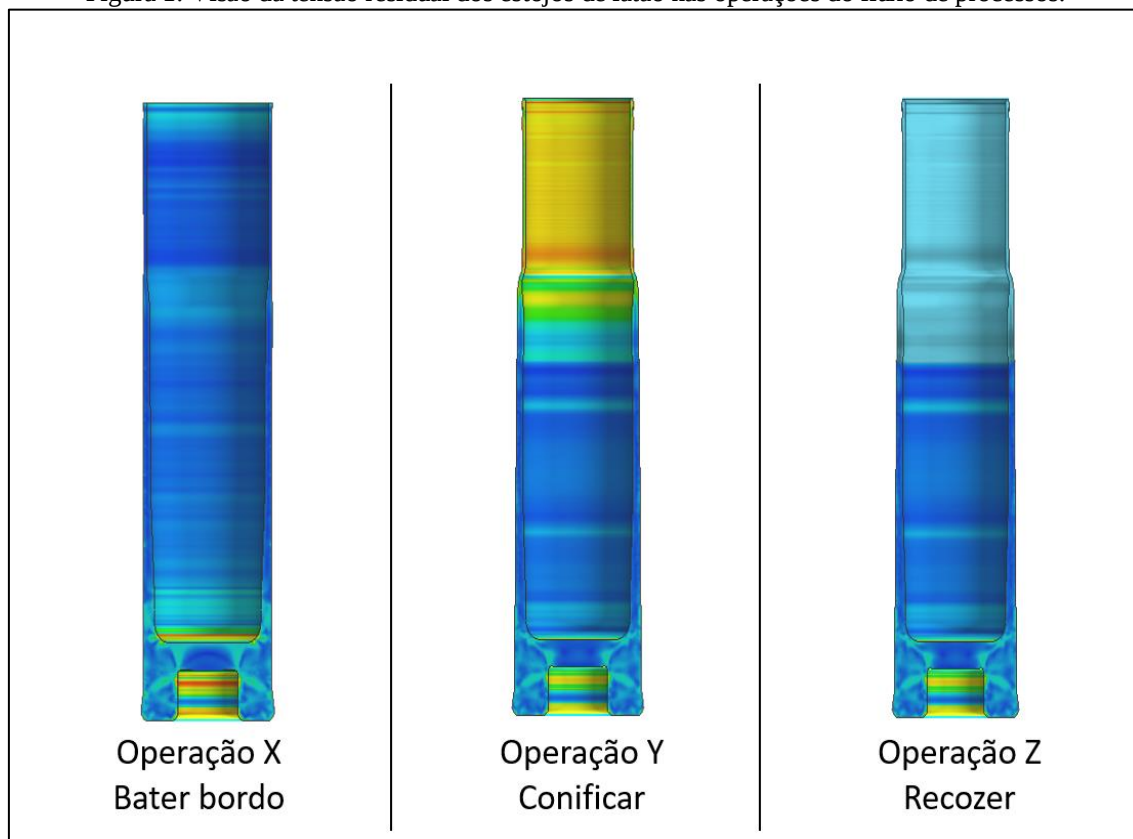
A oportunidade de desenvolver o presente estudo surgiu do desafio de implementar a metodologia DMAIC na empresa CBC (Companhia Brasileira de Cartuchos), Ribeirão Pires - SP. A metodologia foi selecionada com o objetivo de melhorar a qualidade dos produtos através de métodos científicos, de forma a reduzir a porcentagem de não conformidades e minimizar a variabilidade do processo.

O estudo apresentado neste artigo, visa compreender tecnicamente e eliminar todas as causas existentes no processo de fabricação que podem gerar a fenda durante o teste de nitrato mercuroso.

1.1. PROBLEMA ANALISADO

O teste de nitrato mercuroso, trata-se de um ensaio onde as munições a serem testadas são expostas a uma solução de nitrato mercuroso com concentração de 1%. A finalidade do teste é verificar se há fragilidades na parede dos estojos devido a tensão residual ocasionada pelo processo de conformação mecânica. A figura 1 a seguir demonstra o estojo de latão em 3 operações do fluxo de processos, sendo possível visualizar a tensão residual pela diferença de coloração.

Figura 1: Visão da tensão residual dos estojos de latão nas operações do fluxo de processos.



Fonte: (CBC, 2023)

A operação X é referente ao estado inicial do estojo. A operação Y é referente ao processo de conformação mecânica, na qual ocorre uma deformação plástica na região superior do estojo, gerando uma tensão residual que pode ser observada pela coloração amarelada. A operação Z é referente ao processo de alívio de tensões, onde o estojo de latão passa por um processo de recozimento por indução. O estojo de latão é aquecido eletricamente por indução eletromagnética, na qual correntes parasitas são geradas dentro do metal e a resistência leva ao aquecimento por Joule do latão. O objetivo é aliviar as tensões que foram absorvidas pelo latão na operação Y, efetuando o rearranjo da estrutura do latão.

Quando o teste de nitrato mercurioso é realizado em um estojo de latão, onde a tensão residual não foi devidamente aliviada no processo produtivo, a solução de nitrato força o surgimento de fendas nas áreas fragilizadas. A figura 2 a seguir, demonstra quatro munições após teste de nitrato mercurioso, na qual os estojos de latão apresentaram fenda.

Figura 2: Munições com fenda após teste de nitrato mercuroso



Fonte: (CBC, 2022)

1.2. JUSTIFICATIVA DO ARTIGO

No final de 2022, foi verificado através dos indicadores de qualidade um aumento considerável de fendas durante teste de nitrato mercuroso. Fora isto ser uma evidência de que existe uma falha no processo, que está resultando em uma tensão residual não aliviada, também apresenta riscos referente a aprovação do produto, com base na norma internacional NATO STANDARD AEP-97. Por estas razões, os Sponsors verificaram a necessidade de reunir uma equipe multifuncional para realizar um trabalho seis sigma, utilizando a metodologia DMAIC.

1.3. OBJETIVOS DE TRABALHO

O Compreender tecnicamente e eliminar as todas as ocorrências de fendas durante teste de nitrato mercuroso através da metodologia DMAIC.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir será abordado a aplicação do Seis Sigma na indústria e a aplicação da metodologia DMAIC, na qual serão descritas as suas principais fases: Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar.

2.1. SEIS SIGMA

De acordo com Ben (2023), a metodologia Seis Sigma se tornou uma ferramenta de qualidade padrão para as indústrias que permite eliminar falhas, aumentar a confiabilidade e alcançar objetivos estratégicos. Segundo Rotondaro (2002), os objetivos específicos da metodologia Seis Sigma são:

- a) reduzir a variação dos processos;
- b) reduzir os custos de operação eliminando as atividades que não agregam no processo;
- c) criar condições mais favoráveis para a qualidade do produto acabado.

Para Bem (2023) o Seis Sigma é um método rigoroso, direcionado para a estatística, que visa reduzir os custos de processo para a empresa, maximizando ao mesmo tempo a qualidade do produto.

De acordo com Rotondaro (2002), os principais benefícios que o Seis Sigma proporciona para as indústrias são:

- a) eliminação de falhas (interna ou externa);
- b) melhoria das operações;
- c) redução de intervenções para correção no processo;
- d) diminuição do refugo durante produção;
- e) garantia da satisfação dos clientes.

2.2. DMAIC

Segundo Shankar (2009) para a implementação do Seis Sigma pode ser implementado uma metodologia de cinco etapas: *Define, Measure, Analyze, Improve and Control*, mais conhecida na indústria como DMAIC. Para Werkema (2012) o método DMAIC é uma ferramenta necessária para conduzir projetos Seis Sigma de melhoria de continua na indústria.

Para melhor compreender cada uma das etapas que compõem a metodologia DMAIC, algumas referências serão indicadas nos itens a seguir.

2.2.1. Definir

A etapa definir tem como objetivo identificar o problema que precisa de uma solução, definir objetivos e metas iniciais e criar a equipe responsável pela implementação do método DMAIC (Smętkowska, M. Mrugalska, B. 2018). Os autores defendem que nesta fase é identificada a principal falha que afeta os indicadores, são estabelecidos os objetivos iniciais tendo como base dados históricos da empresa aliados à perspectiva do cliente, determinados os

processos essenciais associados e a estrutura da equipe que irá trabalhar na resolução do problema apresentado.

2.2.2. Medir

A etapa medir tem como objetivo recolher informações sobre o desempenho atual do processo (Mehrjerdi, 2011). Destacar os pontos fortes e fracos, para determinar as oportunidades de melhoria (Antony, 2006).

De acordo com Kuan (2012) nesta etapa são mensuradas as variações do processo considerados pertinentes ao efeito estudado. Os dados obtidos devem ser resultados do produto na qual seja possível calcular os índices que demonstrem a performance do processo, possibilitando relacionar a variação encontra com a falha analisada. Segundo Cheng (2012), o objetivo desta etapa é controlar e registrar o estado atual dos processos recursos empregados a serem melhorados.

2.2.3. Analisar

Para Carmen C. e Caroline D. (2015), deve-se percorrer todo o processo, em cada operação, envolvendo as pessoas utilizando as ferramentas da qualidade:

- a) Brainstorming, interagindo com as pessoas para sugerir ideias espontaneamente, colocando volume e uma variedade de ideias, incluindo ideias que podem parecer estranhas ou "fora do comum". As possíveis causas e suas respectivas soluções.
- b) Ishikawa, organizando as ideias obtidas através do brainstorming, separando através da causa de raiz no diagrama 6M (medição, método, mão-de-obra, máquina, material e meio ambiente)

O objetivo desta etapa é identificar a causa raiz do problema, sendo importante a estruturação de ações focadas na comprovação da real causa, e não somente nos possíveis efeitos (MIM, 2014).

2.2.4. Melhorar

Esta etapa tem como foco sugerir, avaliar e propor soluções para os problemas de maior relevância se baseando nas causas de variabilidade analisadas na etapa anterior. As soluções encontradas deverão ser implementadas de modo que eliminem as causas raízes do problema (WERKEMA, 2004).

2.2.5. Controlar

Na última etapa da metodologia DMAIC são validadas as implantações das melhorias, através do monitoramento dos resultados, sendo possível avaliar se as ações foram eficazes (MATOS, 2003).

Para Da Fonte (2008) as principais atividades relacionadas a esta etapa são: realizar treinamento aos envolvidos, colocar em prática todo o plano de ação, registrar as melhorias, efetuar o monitoramento dos indicadores, registrar e expandir todo conhecimento, analisar os benefícios e apresentar os resultados obtidos.

2.3. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A CBC, fundada em 1926, é líder mundial em munições, referência global de excelência e sucesso. Seus produtos contribuem diariamente para a manutenção da ordem e segurança de milhões de pessoas. Nas plantas produtivas de São Paulo e Rio Grande do Sul, é fabricada uma completa gama de produtos voltados à defesa, segurança, esporte e lazer, incluindo uma série de munições inovadoras, desenvolvidas com tecnologia própria. A CBC é pautada como empresa estratégica de defesa devido ao compromisso de contribuir com as operações e missões das forças de segurança pública e forças armadas brasileiras, atuando como arsenal nacional, para defesa da soberania nacional. Com quase 100 anos de história e foco estratégico em pesquisa & desenvolvimento, todo conhecimento da CBC é aplicado do desenvolvimento e fabricação de seus produtos, com domínio tecnológico de toda cadeia produtiva. Suas munições atendem às normas internacionais de desempenho, são certificadas pelas forças armadas brasileiras, por laboratórios independentes no Brasil e no exterior e são atestadas por forças militares e policiais de todo mundo. Sofisticados laboratórios integram o rigoroso controle de qualidade CBC, que abrange todas as etapas de fabricação, com sistemas de inspeção e medição de última geração, culminando com as provas balísticas do produto acabado. No âmbito internacional, a CBC possui atuação global e é uma das maiores fornecedoras mundiais de munição para países da OTAN. A confiabilidade dos produtos de *CBC Global Ammunition* é atestada por 130 países, nos 5 continentes.

3. METODOLOGIA

Esta seção aborda os métodos utilizados no desenvolvimento do artigo.

O trabalho foi realizado através de um estudo de caso e visa uma abordagem quantitativa. Para Gil (1991) estudo de caso se refere a uma análise aprofundada e abrangente

do objeto de estudo para obter conhecimento amplo e detalhado. Segundo Gil (1991), os objetivos relevantes do estudo de caso incluem descrever o contexto da investigação, desenvolver uma hipótese e explicar as causas de fenômenos complexos.

O estudo de caso foi aplicado na empresa CBC, localizada em Ribeirão Pires-SP. A implementação do Seis Sigma foi realizada através da metodologia DMAIC com o objetivo de compreender tecnicamente e eliminar as todas as ocorrências de fendas durante teste de nitrato mercurioso no produto .50 (12,7x99mm). A metodologia foi aplicada a partir da avaliação categórica de fontes bibliográficas e referências, das relações e padrões de organização, bem como pontos críticos, tendências, contrapontos, e as contribuições mais relevantes. Adotou-se como as palavras-chave de busca “Seis Sigma”, “Six Sigma” e “DMAIC”. Com o intuito de filtrar e selecionar os artigos encontrados na pesquisa, partiu-se para a leitura do título e dos resumos de cada um. Os artigos que não abordavam aplicações da metodologia em empresas foram excluídos e foram desconsiderados os artigos cujo acesso estavam indisponíveis no banco de dados.

A aplicação da metodologia DMAIC contemplou um período de seis meses com encontros semanais da equipe envolvida. A coleta de dados foi realizada utilizando técnicas por meio de curvas e capacidades nas operações. A análise estatística dos dados foi elaborada por meio dos softwares Minitab® e Microsoft Excel®. Os métodos e técnicas decorreram desde a organização das informações e definição do item estudado até o desfecho e apresentação satisfatória de resultados, e consequentemente a resolução dos problemas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir será apresentado um resumo referente ao método de realização do ensaio de nitrato mercurioso e a aplicação da metodologia DMAIC, destacando as ferramentas da qualidade que foram utilizadas em cada etapa com seus respectivos resultados.

4.1. ENSAIO DE NITRATO MERCURIOSO

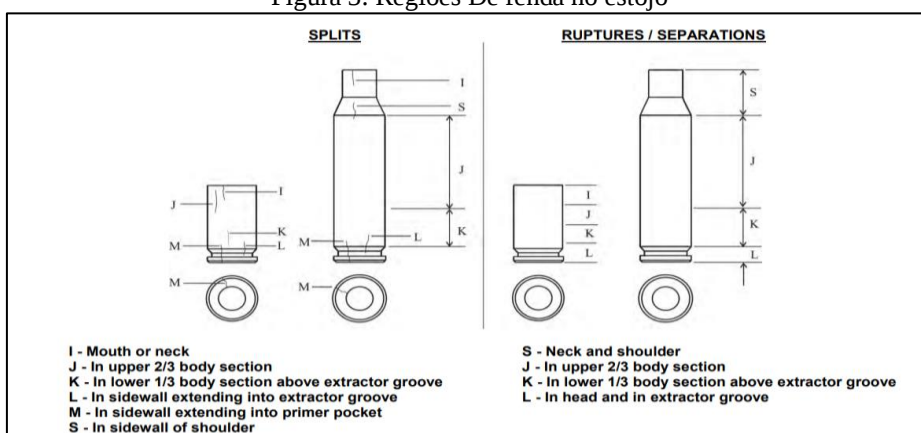
Conforme definido na norma NATO STANDARD AEP-97 Edition A Version 1, as munições 4,6mm, 5,56mm, 5,7mm, 7,62mm, 9mm e 12,7mm apresentadas para aprovação de qualificação da NATO ou para o ensaio de produção da NATO devem ser submetidos ao teste de tensão residual conforme descrito no *VOLUME 22 - RESIDUAL STRESS TEST PROCEDURES*. Este ensaio deve ser efetuado apenas em munições fabricadas com estojos de latão. O teste de nitrato mercurioso, trata-se de um ensaio onde as munições a serem testadas

são expostas a uma solução de nitrato mercurioso com concentração de 1%. A finalidade do teste é verificar se há fragilidades na parede dos estojo. Em contato com o latão do estojo, o nitrato mercurioso força o surgimento de fendas em áreas com fragilizadas pela tensão residual gerada durante o processo de produção que não é devidamente aliviada.

4.1.1. Requisitos

Considera-se que as munições satisfazem os requisitos NATO se nenhum estojo de munição apresentar fendas ou fissuras.

Figura 3: Regiões De fenda no estojo



Fonte: (ANNEX 22-B: AEP-97 Edition A Version 1, VOL. 22, 2020 – page. 663)

4.2. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

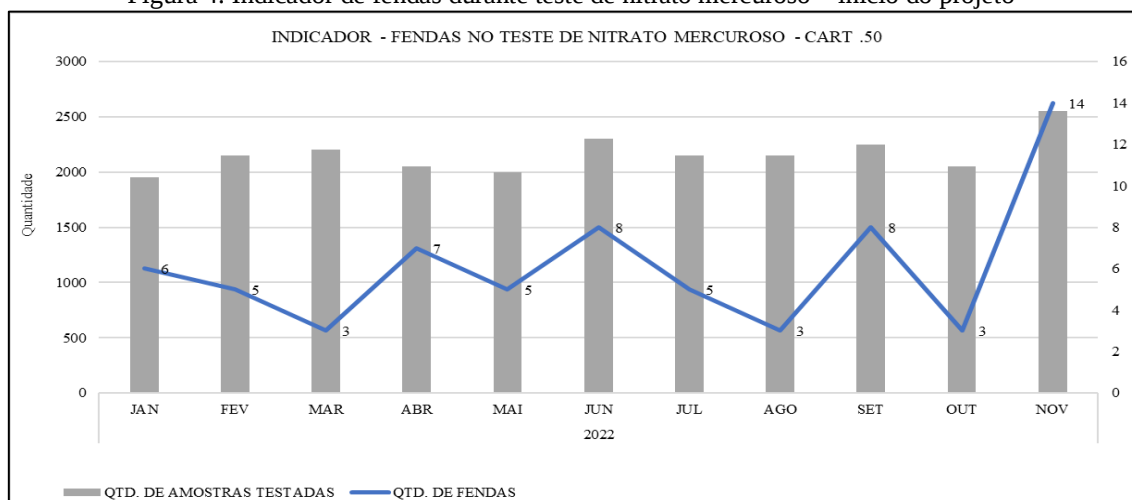
A seguir serão detalhados os passos da metodologia DMAIC, conforme o projeto definido para desenvolvimento deste artigo. Serão apresentadas as etapas Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar, aplicadas com o intuito de compreender tecnicamente e eliminar as ocorrências de fendas durante teste de nitrato mercurioso.

4.2.1. Definir

Na primeira etapa da metodologia foi definido o escopo do projeto, contemplando o objetivo específico, justifica, estado atual, benefícios, produtos contemplados, requisitos normativos, partes interessadas, equipe multifuncional, premissas, estrutura analítica do projeto, restrições e riscos. O escopo foi valido junto aos *Sponsors* do processo e engenharia. Para registro das definições do projeto foi elaborado um *Project Charter*.

Na etapa definir, foi elaborado o indicador oficial do projeto para avaliação do estado atual. A figura 4 a seguir é referente ao indicador de fendas durante teste de nitrato mercurioso no início do projeto.

Figura 4: Indicador de fendas durante teste de nitrato mercurioso – início do projeto



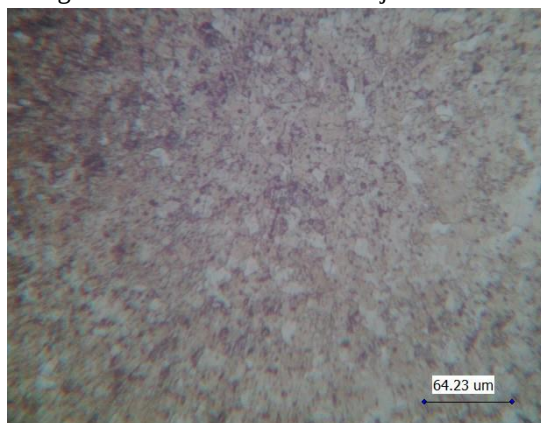
Fonte: (autor, 2023).

4.2.2. Medir

Na etapa de medir, foram realizadas curvas de capacidade e capacidade em todo os processos que poderiam influenciar para a ocorrência de fendas nos estojos durante teste de nitrato mercurioso. O comportamento de cada curva foi avaliado, observando os principais índices de capacidade, desempenho e PPM (partes por milhão) das ocorrências.

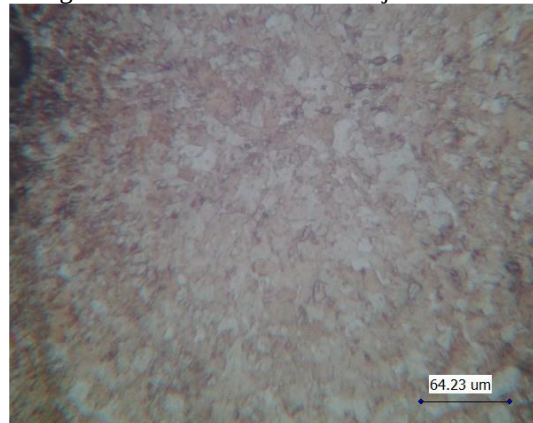
Devido as ocorrências estarem relacionadas a uma tensão residual no estajo não aliviada corretamente durante o processo, uma análise de metalografia foi realizada comparando a microestrutura de estojos que apresentaram a fenda (figura 5) com estojos que não apresentaram a fenda (figura 6). Após análise comparativa, foi possível constatar que os estojos que apresentaram fenda, possuíam tamanhos de grãos menores. Isso significa que os estojos que apresentaram fenda estavam mais duros com relação aos estojos que não apresentaram fenda.

Figura 5: Microestrutura do estajo com fenda



Fonte: (CBC, 2023).

Figura 6: Microestrutura do estajo sem fenda

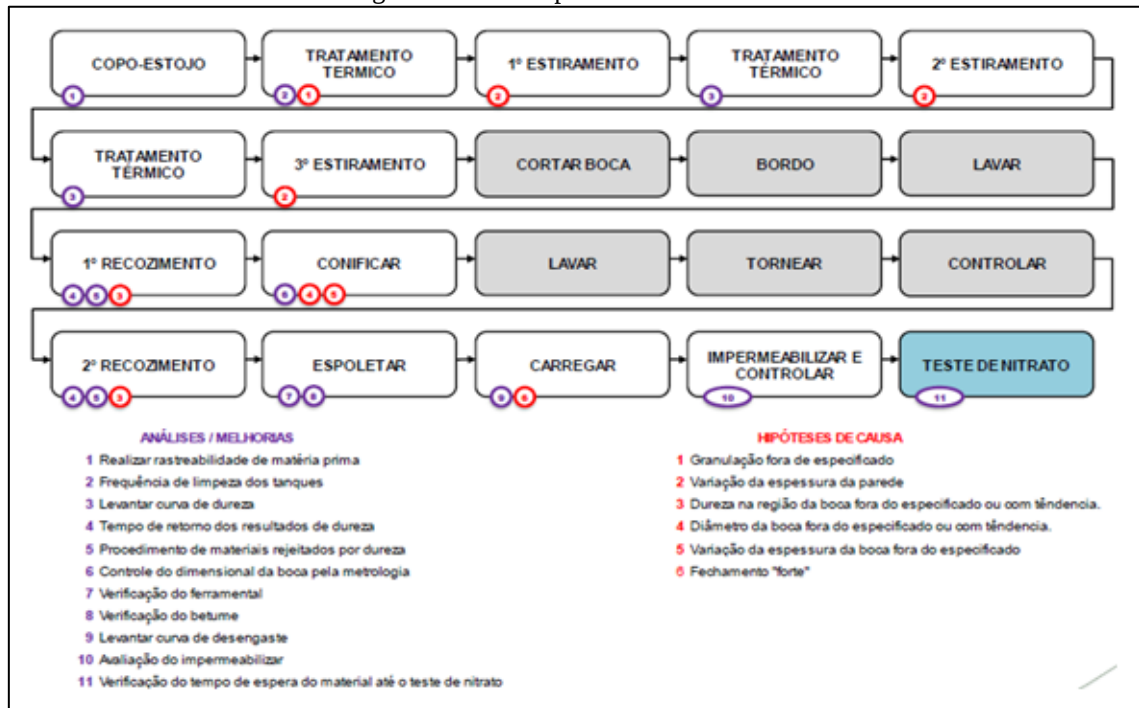


Fonte: (CBC, 2023).

4.2.3. Analisar

Esta etapa foi iniciada por um Brainstorming, envolvendo uma equipe multifuncional e toda a mão-de-obra envolvida nas operações suspeitas, onde foram levantadas as principais variáveis que poderiam contribuir em cada operação. A figura 7 a seguir é referente ao fluxo de processos com as demarcações pertinentes a análises, melhorias e hipóteses de causa.

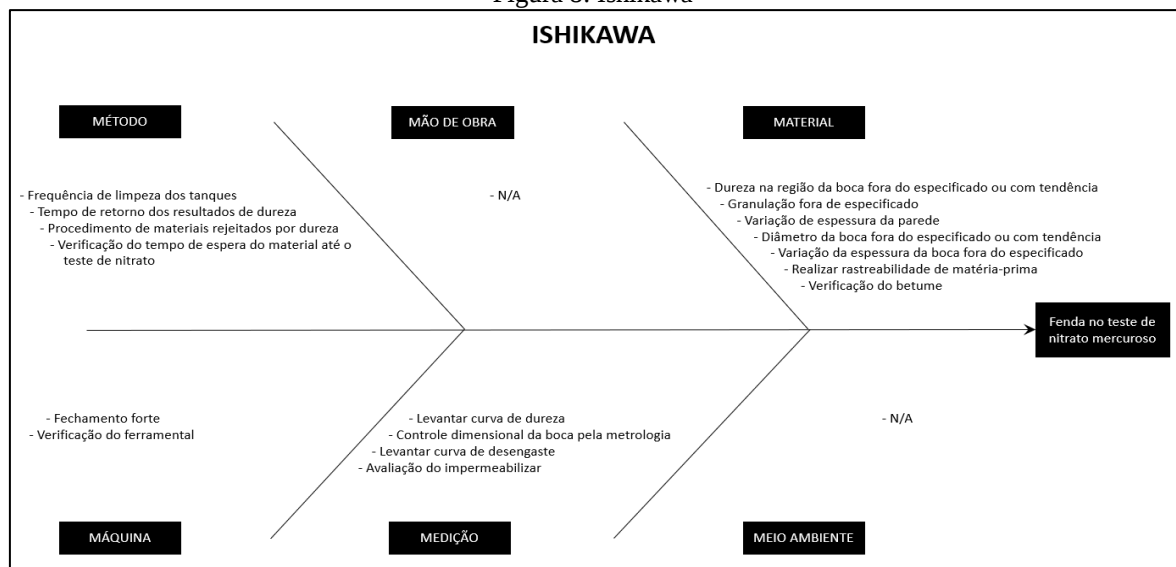
Figura 7: Fluxo de processos demarcados



Fonte: (Autor, 2023)

Após listados todas as suspeitas, um Ishikawa foi desenvolvido separando todas as possíveis causas, conforme Figura 8 a seguir.

Figura 8: Ishikawa



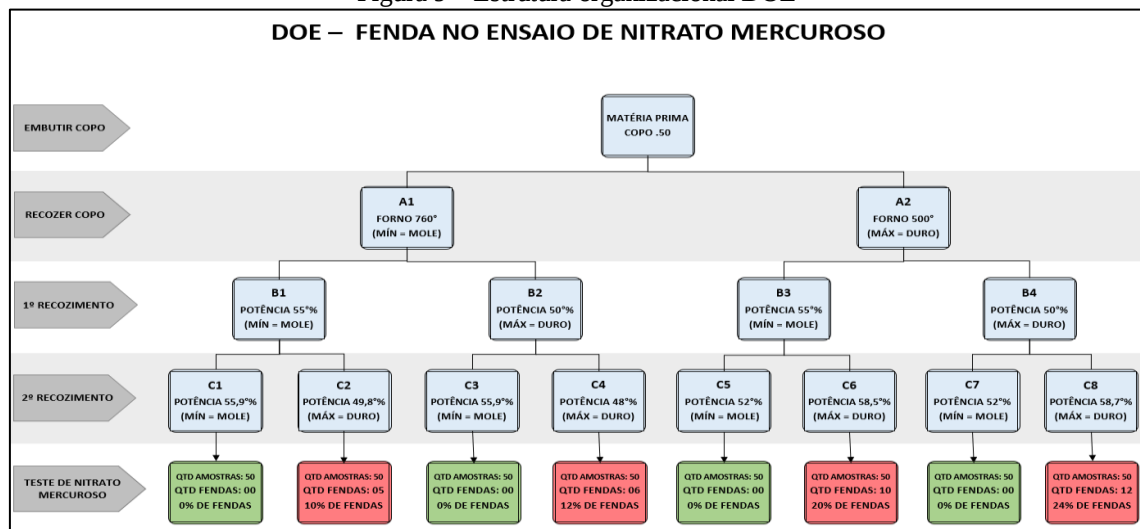
Fonte: (Autor, 2023)

Por meio do estudo de causa e efeito foram identificados três principais contribuintes para esse modo de falha. São eles:

- a) dureza do copo acima do especificado;
- b) dureza do estojo acima do especificado na operação de 1º recozimento;
- c) dureza do estojo acima do especificado na operação de 2º recozimento

Com isso, foi realizado uma análise de DOE (Design of experiments). Para organização dos testes, foi elaborado uma estrutura com as configurações desejadas. A figura 9 é referente a estrutura organizacional elaborada para estudo de DOE com seus respectivos resultados para cada configuração de teste.

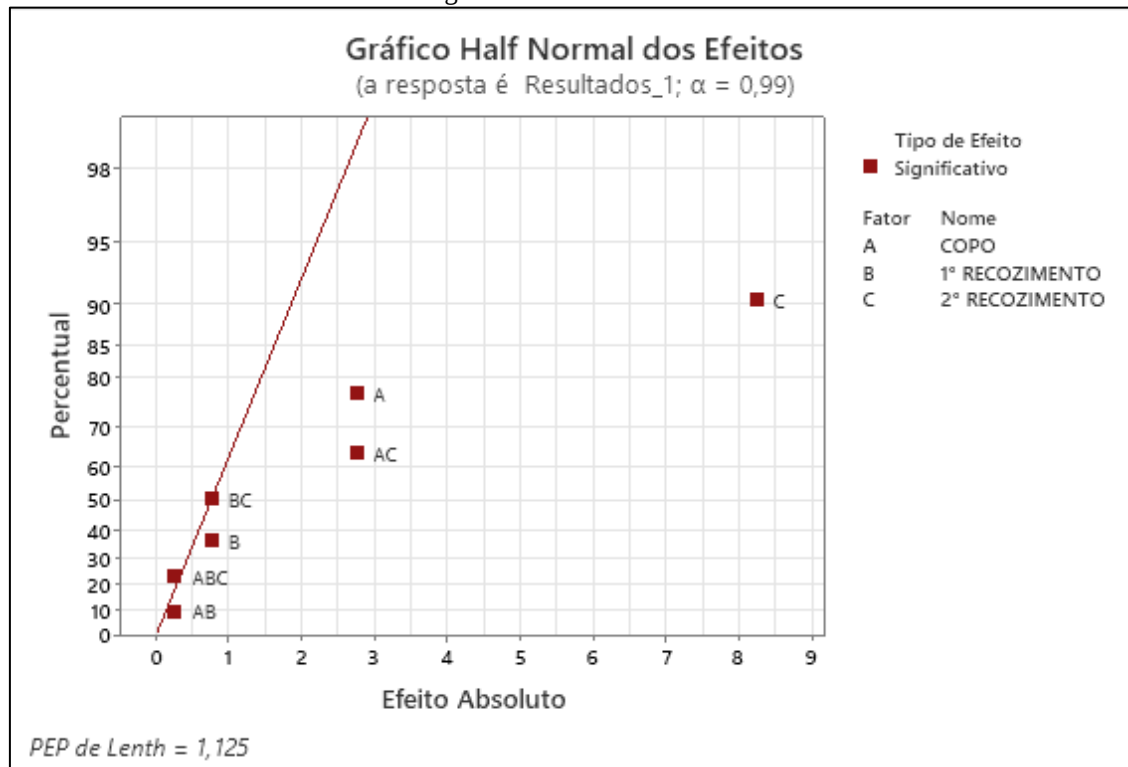
Figura 9 – Estrutura organizacional DOE



Fonte: (Autor, 2023)

A partir dos resultados obtidos na análise de DOE (figura 8), foi possível calcular o efeito de cada operação para ocorrência das fendas durante teste de nitrato mercurioso. O cálculo foi realizado no software Minitab® utilizando a ferramenta Gráfico Half Normal Efeitos. Conforme o gráfico na figura 10 a seguir, as operações são denominadas por fator, sendo: A – Copo, B- 1º Recozimento e C-2º Recozimento. No gráfico de Half, quanto mais distante o fator estiver da linha vermelha, maior é sua influência para ocorrência da falha, deste modo, foi possível verificar que o fator C (processo de 2º recozimento) apresentou maior influência para ocorrências de fenda durante teste de nitrato mercurioso.

Figura 10 – Gráfico de Half



Fonte: (Autor, 2023)

De acordo com os resultados obtidos através do estudo de DOE e gráfico de Half, a operação de 2º recozimento demonstrou ser a operação mais vulnerável, desta forma, as ações de melhoria foram focadas nesta operação.

4.2.4. Implantar melhorias

As ações a seguir foram realizadas na operação de 2º recozimento:

a) Conforme figura 11 a seguir, foi confeccionada uma peça de policarbonato e fixada nas bobinas de recozimento para garantir e padronizar a altura e paralelismo, evitando que a bobina esteja empenada, resultando no recozimento incorreto do estojo.

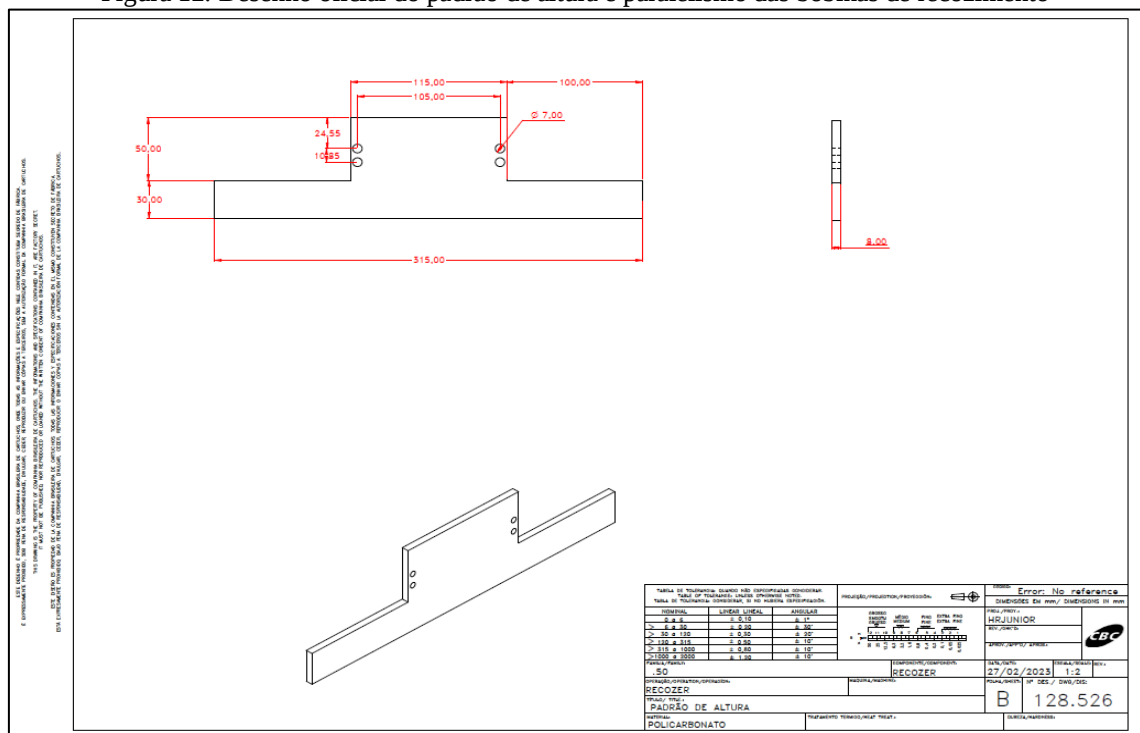
Figura 11: Padrão de altura e paralelismo das bobinas de recozimento



Fonte: (Autor, 2023)

b) Devido a importância do padrão de altura e paralelismo (figura 11), o item foi registrado em desenho técnico, conforme figura 12 a seguir.

Figura 12: Desenho oficial do padrão de altura e paralelismo das bobinas de recozimento



Fonte: (CBC, 2023).

c) Para garantir os parâmetros de processo definidos, foi elaborado um procedimento, na qual descreve passo a passo como deve ser verificado as condições da bobina de recozimento, conforme figura 13 a seguir.

Figura 13: Procedimento referente a verificação dos parâmetros de processo

	Procedimento Controle de Qualidade	DOCUMENTO Nº: PCQ_0123
		REVISÃO: 0
TÍTULO: CONTROLE DOS PARÂMETROS DE PROCESSO - RECOZER		
2.1. Método para passagem de padrão		
2.1.1. Com a máquina parada, insira o pino de corrente.		
		
2.1.2. Soltar o pino e girar manualmente a corrente.		
		
2.1.3. Verificar se o pino entra na bobina sem interferência.		
		
Página 4/7		

Fonte: (CBC, 2023).

d) Para registro das verificações dos parâmetros de processo, foi criado um checklist eletrônico no software utilizado pela fábrica para apontamento dos quesitos de qualidade, conforme figura 14 a seguir.

Figura 14: Checklist eletrônico referente a verificação dos parâmetros de processo

Ordem	2º RECOZIMENTO_12x99mm (.50)	Produto	2º RECOZIMENTO_
Plano de Inspeção	12,7x99MM_50_2º RECOZI_TODAS AS VEF	Processo	0010
			2º RECOZIMENTO_12,7x99MM_50
		M(atual)	2
Característica	Carta de Controle	QCC múltiplo	Barra
Rótulo da Característica	PASSAGEM PADRÃO NA ENTRADA DA BOBINA		
Comentários			
Instrumento de Medição			
Fórmula	K		
Peso	Falha Maior		
Classificação			
Característica	LIE	Nominal	LSE
PASSAGEM PADRÃO NA ENTRADA DA BOBINA			
PASSAGEM PADRÃO NA SAÍDA DA BOBINA			
A BOBINA ESTÁ ISENTO DE DEFORMIDADES			
A BOBINA ESTÁ ISENTO DE EMPANAMENTO			
BOBINA ESTÁ ISENTO DE VAZAMENTO DE ÁGUA			
INSTALADO OS PADRÕES DE ALTURA E PARALELO			
O PADRÃO ESTÁ ISENTO DE DETORIOÇÃO			

Fonte: (CBC, 2023).

e) Para registro e oficialização de todas as melhorias implementadas na operação, o documento de registro do processo foi atualizado, conforme figura 15 a seguir.

Figura 15: Documento de processo oficializado com todas as melhorias que foram implementadas

2° RECOZIMENTO POR INDUÇÃO — MÁQUINA N° 3396

ESPECIFICAÇÕES ESCALA 1:1

BOBINA DEVE ESTAR PARALELA EM RELAÇÃO AO PLANO

BOBINA ISENTA DE CORTES E REPAROS QUE COMPROMETAM O FUNCIONAMENTO

VELOCIDADE: 78 PQ/MIN

REPRESENTAÇÃO PARA FINS ILUSTRATIVOS

PARÂMETROS DA MÁQUINA	
1ª PASSAGEM	2ª PASSAGEM
ALTURA DA BOBINA: 59,50mm ± 1,00	ALTURA DA BOBINA: 67,00mm ± 1,00
POTÊNCIA DA BOBINA: 30,00 ± 2%	
ALTERAÇÃO ACIMA DESTA PORCENTAGEM DEVERÁ SER AÇIONADA A ENGENHARIA DE PROCESSOS	

BOBINA CONFORME DESENHO DO FORNECEDOR INDUCTO THERM

PADRÃO DE ALTURA DA BOBINA DESENHO N°68520

PADRÃO DE ESPAÇAMENTO DA BOBINA DESENHO N°68521

DEVEM SER OBEDECIDAS AS NORMAS DE SEGURANÇA DA ÁREA DO LOCAL DE TRABALHO E DA OPERAÇÃO

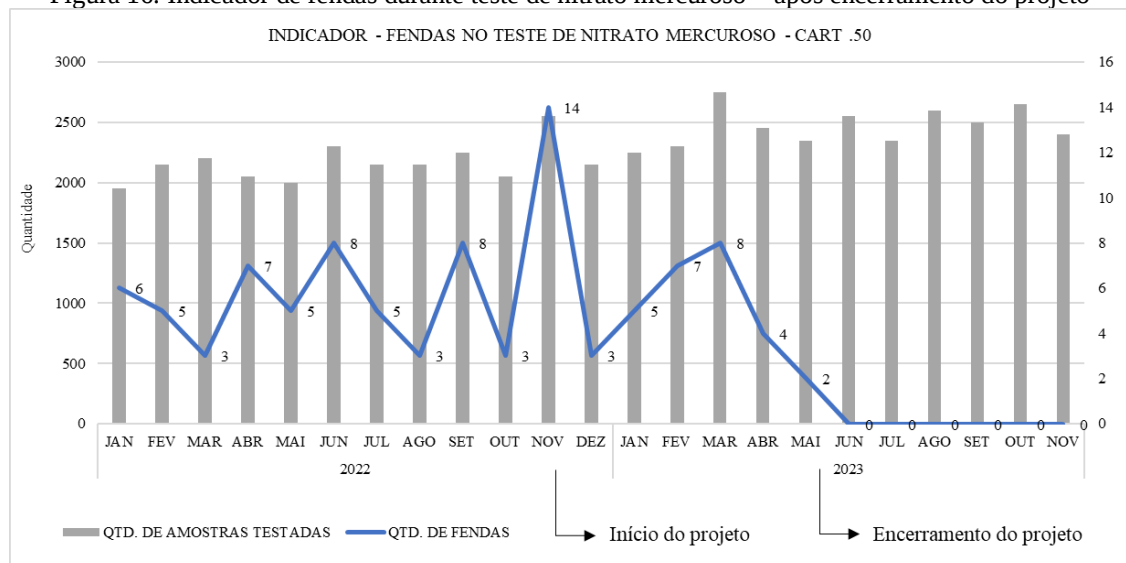
OBSERVAÇÃO:		SUBTÍTULO:		REVISÕES EM:		ENGENHARIA DE PRODUTOS E PROCESSOS		REGISTRO DE PROCESSO	
DATA	DESCRIÇÃO	REVISÃO	FECHADA	DATA	ASSINATURA	PRODUTO	REVISÃO	DATA	ASSINATURA
03/03/23	EDM: K.S.NEVES	03/03/23				PRODUTO: CAR 12,7x99mm (.50") COMUM	03/03/23	03/03/23	
03/03/23	DEL: K.S.NEVES	03/03/23				PARTE: CARTUCHO			
03/03/23	DEL: D.P.SILVA	03/03/23				OPERAÇÃO: 2° RECOZIMENTO POR INDUÇÃO E CONTROLE			
03/03/23	APROV: T.PAULINO	03/03/23				DEPÓSITO: 930 VISUAL PARA DEFETOS			

Fonte: (CBC, 2023).

4.2.5. Controlar

Após executar as ações de melhoria na operação no mês de maio de 2023, foi realizado um acompanhamento do processo e no indicador do projeto nos meses seguintes, assim ficou evidenciado que o objetivo do estudo de caso que foi a compreensão técnica e eliminação da falha de fenda durante teste de nitrato mercuroso na munição .50 foi cumprido com sucesso. A figura 16 a seguir demonstra os resultados obtidos após encerramento do projeto.

Figura 16: Indicador de fendas durante teste de nitrato mercuroso — após encerramento do projeto



Fonte: (CBC, 2023).

5. CONCLUSÕES

Diante ao exposto, pode-se observar que a implementação do Seis Sigma, desenvolvido através da metodologia DMAIC, com base em resultados de estudos científicos aplicados em condições reais, cuja solução não era conhecida, exigindo uma análise detalhada de todas as alternativas de solução.

Durante a fase de Definição do problema, através da análise de todas as não conformidades consideradas pela empresa, optou-se por estudar e eliminar as ocorrências de fenda durante teste de nitrato mercurioso na munição .50, devido a criticidade da falha diante a norma internacional NATO STANDARD AEP-97 e ao crescimento observado no ultimo mês antes do inicio do trabalho. Em seguida, na fase de Medição, foram recolhidos dados que permitissem compreender quais operações poderiam estar influenciando para gerar a falha estudada. Na etapa de Analisar, através das reuniões de brainstorming com os colaboradores envolvidos no processo produtivo, detectaram-se possíveis causas-raíz do problema que foram agrupadas e organizadas num diagrama de Ishikawa e validadas através de estudos de causa e efeito. Posteriormente, na fase de Melhoria, foram encontradas e validadas soluções das causas detectadas. As principais ações implementadas foram as padronizações dos processos de recozimento, na qual permitiu uma redução da amplitude dos resultados de dureza, consequentemente garantindo o alívio de tensão dos estojos de latão. Por fim, a fase de Controlar foi de extrema importância para validar as melhorias aplicadas, monitorar os resultados e garantir a sustentabilidade do trabalho.

A aplicação do Seis Sigma através da metodologia DMAIC foram essenciais para alcançar resultados satisfatórios num curto espaço de tempo. A atuação em cada etapa possibilitou o aprofundamento técnico no processo. As análises separadas das possíveis causas possibilitaram identificar os pontos no processo que influenciaram para ocorrência da falha, facilitando a decisão referente as mudanças necessárias nas operações. Através desta metodologia, foi possível eliminar as ocorrências de fenda durante teste de nitrato mercurioso.

Com a aplicação da metodologia, foram eliminadas as suposições e soluções intuitivas, onde os fatos relevantes foram analisados e discutidos com a equipe, resultando em soluções mensuráveis e sustentáveis mediante a aplicação das melhorias. O presente estudo de caso demonstrou que a implementação do Seis Sigma através do ciclo DMAIC é excelente para aplicar em organizações modernas e promover a melhoria da qualidade alinhadas aos objetivos estratégicos da empresa, melhorando significativamente o processo produtivo e garantindo a satisfação do cliente.

6. AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por sua grandeza e amor incondicional.

A minha família que foi companheira em todos os momentos, em especial aos meus pais Nivaldo e Celina, e irmão Gabriel, que sempre acreditaram no meu potencial, incentivando meus estudos e sempre me apoiando em qualquer decisão que tomei em busca dos meus sonhos.

Agradeço a minha esposa Roberta por estar sempre me incentivando na busca de novos desafios e por todo apoio e cumplicidade por estar sempre ao meu lado.

Agradeço ao meu orientador Prof. Alexandre Tavares e ao Prof. Conrad Elber Pinheiro, por todo apoio, sabedoria e comprometimento em me proporcionar esta experiência e conhecimento na jornada acadêmica, me ajudando a amadurecer e crescer na vida profissional.

Por fim, agradeço aos meus gestores Engº Renan Matias e Engº Oldemar Fonseca, por permitirem e ajudarem no estudo aqui apresentado.

7. REFERÊNCIAS

ANTONY, J. **Six sigma for service processes**. Business Process Management Journal, 12(2), pp. 234–248, 2006.

BEN, ANIS. **The Six Sigma Method: Boost quality and consistency in your business**. United States of America: 50Minutes.com Publisher, 2023.

CARMEN, C. CAROLINE D. **A DMAIC project to improve warranty billing's operations: a case study in a Portuguese car dealer**. Procedia Computer Science pp. 885 – 893, 2015.

CHENG, C. CHANG, P. **Implementation of the Lean Six Sigma framework in non-profit organisations: A case study**. Total Quality Management & Business Excellence, 2012.

DA FONTE, Mariana. **O Lean Sigma Aplicado a uma Industria Automobilística. Tese de Doutorado**. UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA, 2008.

GIL, A. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3ª edição, São Paulo. Editora Atlas, 1991.

KUAN, CHI-MING. **Research on product reliability improvement by using DMAIC process: A case study of cold cathode fluorescent lamp**. Asian Journal on Quality, Vol. 13 Issue: 1, pp. 67-76, 2012.

MATOS, J. **Implementação de um projeto de melhorias em um processo de reação**

química em batelada utilizando o método DMAIC. Dissertação (Mestrado). UFRGS, 2003.

MEHRJERDI, Z. **Six-Sigma: Methodology, tools and its future.** Assembly Automation, 31(1), Proceedings of the 4th ICQEM Conference, University of Minho, Portugal, 2020 57 pp. 79–88, 2011.

MIM, P. REYES, J. KUMAR, V. LIM, M. **A Six Sigma and DMAIC application for the reduction of defects in a rubber gloves manufacturing process.** International Journal of Lean Six Sigma, Vol. 5 Iss 1 pp. 2 – 21, 2014.

NATO STANDARD AEP-97. **MULTI-CALIBRE MANUAL OF PROOF AND INSPECTION (M-CMOPI) FOR NATO SMALL ARMS AMMUNITION.** Edition A Version 1, 2020

SHANKAR, Rama. **Process Improvement Using Six Sigma: a DMAIC guide.** United States of America, 2009.

SILVA, Q. LOURENÇO, E. MARTINS, C. **Application of DMAIC method in an industrial case study.** Proceedings of the 4th ICQEM Conference, University of Minho, Portugal, 2020.

SMETKOWSKA, M. MRUGALSKA, B. **Using Six Sigma DMAIC to Improve the Quality of the Production Process: A Case Study.** Procedia - Social and Behavioral Sciences. The Author(s), 238, pp. 590–596, 2018.

ROTONDARO, Roberto. **Seis Sigma - Estratégia Gerencial para a Melhoria de processos, Produtos e Serviços.** São Paulo: Editora Atlas, 2002.

WERKEMA, Cristina. **Criando a cultura Seis Sigma. Série Seis Sigma. Vol. 1.** Nova Lima, MG: Werkema, 2004

WERKEMA, Cristina. **Métodos PDCA e DMAIC e Suas Ferramentas Analíticas.** Rio de Janeiro: GEN Atlas, 2012.