

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**Aplicação de ferramentas da qualidade para melhoria de  
capabilidade de processo em uma empresa de manufatura**

**Lucas Rodrigues de Souza**  
Orientador: Prof. Dr. Luiz Cesar Ribeiro Carpinetti

SÃO CARLOS  
2017

**Lucas Rodrigues de Souza**

**Aplicação de ferramentas da qualidade para melhoria de  
capabilidade de processo em uma empresa manufatureira**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Escola de Engenharia de  
São Carlos da Universidade de São  
Paulo para a obtenção do título de  
Engenheiro de Produção Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Cesar Ribeiro  
Carpinetti.

São Carlos  
2017

## RESUMO

SOUZA, L. R. **Aplicação de ferramentas da qualidade para melhoria de capacidade de processo em uma empresa manufatureira.** 2017. 53 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2017.

Em um ambiente cada vez mais competitivo, melhorar continuamente produtos e processos é uma prática essencial que as empresas que desejam manter e conquistar novos consumidores devem fazer. O presente trabalho traz a definição e ressalta a importância da utilização de algumas das chamadas “Sete Ferramentas Básicas da Qualidade”, FMEA e de conceitos do *Six Sigma* na identificação e solução de problemas relacionados a qualidade de produtos e/ou serviços. Além disso, destaca a importância da utilização do Ciclo PDCA para melhorar continuamente produtos e processos. A utilização conjunta das ferramentas da qualidade e do ciclo PDCA permite visualizar o sequenciamento e a lógica das ações a serem realizadas para eliminar um problema e garantir a padronização das medidas adotadas. Através de um estudo de caso, a eficácia e importância da utilização conjunta dos conceitos supracitados será avaliada.

**Palavras-chave:** Ferramentas da Qualidade. Ciclo PDCA. FMEA. Melhoria Contínua. Capacidade de Processo.

## **ABSTRACT**

SOUZA, L. R. **Application of quality tools for process capability improvement in a manufacturing company**. 2017. 53 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2017.

In an increasingly competitive environment, continually improving products and processes is an essential practice that companies who want to keep and gain new consumers must do. The present work brings the definition and emphasizes the importance of using some of the so-called "Seven Basic Quality Tools" and Six Sigma concepts in the identification and solution of problems related to the quality of products and / or services. In addition, it highlights the importance of using the PDCA Cycle to continuously improve products and processes. The joint use of quality tools and the PDCA cycle allows visualizing the sequencing and the logic of the actions to be taken to eliminate a problem and ensure the standardization of the measures adopted. Through a case study, the effectiveness and importance of the joint use of the above concepts will be evaluated.

**Keywords:** Quality Tools. PDCA Cycle. *FMEA*. Continuous Improvement. Process Capability.

**“Se você pode sonhar, você pode fazer”**

**Walt Disney**

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Método FMEA. ....	21
Figura 2.2 - Etapas do FMEA. ....	21
Figura 2.3 - As etapas do PDCA. ....	23
Figura 2.4 - Fluxo de ações do PDCA. ....	23
Figura 2.5 - Diagrama de causa e efeito. ....	25
Figura 4.1 - Produto estudado. ....	32
Figura 4.2 - Exemplo do sistema de facas. ....	33
Figura 5.1 - FMEA do processo de conversão do item estudado. ....	35
Figura 5.2 - O Diagrama de Ishikawa do processo. ....	36
Figura 5.3 - Plano de ação do projeto. ....	37
Figura 5.4 - Carta CEP do "Produto 4". ....	38
Figura 5.5 - Teste de normalidade dos dados coletados do "Produto 4". ....	39
Figura 5.6 - Capabilidade dos produtos antes do projeto. ....	40
Figura 5.7 - Capabilidade no primeiro turno. ....	42
Figura 5.8 - Capabilidade no segundo turno. ....	43
Figura 5.9 - Carta CEP do "Produto 1" em julho. ....	44
Figura 5.10 - Carta CEP "Produto 1" em agosto. ....	44
Figura 5.11 - Capabilidade do "Produto 1" em julho. ....	45
Figura 5.12 - Capabilidade do "Produto 1" em agosto. ....	46
Figura 6.1 - Variação de capabilidade obtida. ....	48

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Classificação do processo em relação à sua capacidade. ....	18
Quadro 2.2 - Classificação do desempenho do processo. ....	19
Quadro 2.3 - Modelo padrão do FMEA. ....	21
Quadro 2.4 - Relação entre o tamanho da amostra e o número de intervalos. ....	27
Quadro 2.5 - As perguntas do 5W1H. ....	30
Quadro 5.1 - 5W1H da situação atual do processo. ....	34
Quadro 5.2 - Especificações dos produtos. ....	40
Quadro 5.3 - Quantidade de leituras em cada produto. ....	41

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 - Representação de um histograma.....	27
Gráfico 2.2 - Gráfico de controle da média.....	28
Gráfico 2.3 - Gráfico de controle da amplitude.....	29



## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Cálculo do $C_p$ .....	18
Equação 2 - Cálculo do $C_{pk}$ .....	18
Equação 3 - Cálculo de $P_p$ .....	19
Equação 4 - Cálculo de $P_{pk}$ .....	19

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO .....	11
1.2	OBJETIVOS.....	15
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	17
2.1	CAPABILIDADE .....	17
2.2	ÍNDICES DE CAPABILIDADE .....	17
2.2.1	Índices de capacidade de processo .....	17
2.2.2	Índices de desempenho do processo .....	19
2.3	FMEA .....	20
2.4	CICLO PDCA .....	22
2.5	FERRAMENTAS DA QUALIDADE .....	24
2.5.1	Diagrama de causa e efeito .....	24
2.5.2	Histogramas.....	26
2.5.3	Gráficos de controle.....	27
2.5.4	5W1H.....	29
3	MÉTODO DE DESENVOLVIMENTO .....	31
4	ESTUDO DE CASO.....	32
4.1	DESCRIÇÃO DA EMPRESA .....	32
4.2	DESCRIÇÃO DO CASO .....	32
5	APLICAÇÃO E RESULTADOS.....	34
6	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	48
7	CONCLUSÃO .....	49
8	REFERÊNCIAS .....	51

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização

O conceito da palavra qualidade não é algo de fácil verbalização. Cada pessoa conhece e o interpreta de uma forma, não havendo um consenso em sua definição. Segundo Malik (1992, p. 33):

Qualidade é palavra de domínio público, trabalhada dentro de amplos limites daquilo que se considera senso comum. Afinal, mesmo se poucos sabem o que o termo significa, todo mundo sabe reconhecê-la quando se está diante dela ou todo mundo sabe quando ela está ausente de determinado produto ou serviço.

Para Ribeiro (2004), a capacidade de atingir as especificações técnicas exigidas para um produto está relacionada com o conceito da qualidade. Ou seja, um processo ou produto que atenda aos requisitos desejados possui qualidade.

Segundo Brandolese<sup>1</sup> (1994, p. 330 apud SILVA, 2007, p. 22), apresenta a seguinte definição:

A palavra qualidade virtualmente inclui tudo: competitividade, tempo de entrega, custos, excelência, política corporativa, produtividade, lucros, qualidade do produto, volumes, resultados, serviços, segurança, conscientização ambiental, focalização nos acionistas.

Para Campos (1992), a capacidade de atender às necessidades do cliente com confiabilidade, segurança e no tempo correto, demonstra que há qualidade no processo. Dessa forma, a qualidade pode ser definida como “[...] a satisfação do cliente com o produto ou serviço adquirido” (SILVA, 2007, p.23).

Segundo Carpinetti (2016), a conceituação de qualidade como a satisfação dos clientes com um produto ou serviço tem sido empregada nos últimos anos e é uma tendência para o futuro.

Todavia, entre os séculos XVIII e XIX, a forma de produção era artesanal e cabia ao artesão realizar todo o ciclo produtivo. O artesão era responsável por ouvir os requisitos dos clientes e transformá-los em requisitos ou características do produto, gerando um elevado nível de customização entres os produtos,

---

<sup>1</sup> BRANDOLESE, A. The problems of total quality. *Production Planning of Control*, v. 5, n. 4, p. 330-336, 1996.

satisfazendo as necessidades expostas pelos clientes. Dessa forma, através da satisfação dos clientes, era possível que se mantivesse o comércio. Segundo Carvalho (2005, p. 2), “[...] o artesão [...] sabia que a comercialização de seus produtos dependia muito da reputação de qualidade, que, naquele tempo, era comunicada boca a boca pelos clientes satisfeitos”. Ainda segundo Carvalho (2005), o controle da qualidade era feito pelo artesão através da inspeção dos produtos, não havendo foco para a qualidade do processo.

Com o advento da Revolução Industrial, estabeleceu-se a produção em larga escala de produtos padronizados, ou seja, a possibilidade de customização dos produtos foi quase descartada. “As necessidades dos clientes não eram direcionadoras da concepção do produto” (CARVALHO, 2005).

Nesse cenário de grandes volumes de produção, fez-se necessária a intensificação dos mecanismos de inspeção para garantir a qualidade dos produtos. “Com o desenvolvimento do sistema de produção, as medições tornaram-se mais refinadas e a inspeção passou a ser mais importante ainda”. (SILVA, 2007, p. 26). Esse período ficou conhecido como a Era da Inspeção.

No início do século XX, houve uma evolução no conceito do controle da qualidade. Shewhart inseriu elementos estatísticos para melhorar as análises e publicou a obra *Economic Control of Quality of Manufactured Product* que, segundo Silva (2007), explicava o conceito de controle de fabricação, introduziu técnicas para análises diárias da produção e propunha formas para se obter melhor qualidade.

Técnicas de amostragem foram desenvolvidas e houve a aceitação da variabilidade como parte do processo. Nesse momento, o mais importante era ser capaz de separar as variações aceitáveis inerentes ao processo de problemas que realmente pudessem estar ocorrendo (GARVIN, 1992). Através de seus gráficos de controle e da definição de limites de controle, Shewhart produziu uma forma de análise para verificar se as variações que ocorriam no processo eram aceitáveis ou se o processo deveria parar e se realizar uma inspeção mais detalhada.

A maior difusão e utilização desses conceitos se deu durante a Segunda Guerra Mundial. Esse período, na evolução da qualidade, ficou conhecido como a Era do Controle Estatístico da Qualidade.

No período pós-guerra, inicia-se a Era da Garantia da Qualidade. “Possui conceitos específicos de prevenção dos problemas da qualidade, com a expansão dos instrumentos muito além da estatística” (SILVA, 2007, p. 28).

Nos Estados Unidos surge, em 1946, a ASQC (*American Society for Quality Control*) e, no Japão, em 1950, a JUSE (*Japan Union of Scientist and Engineers*), que eram associações de profissionais da qualidade. Juran, membro fundador da ASQC (atual ASQ), em sua publicação, de 1950, *Manual do Controle da Qualidade*, determina que todas as atividades pertencentes às diversas etapas do ciclo produtivo, do desenvolvimento do produto ao pós-venda, formam uma nova dimensão no controle da qualidade (CARPINETTI, 2016).

Armand Feigenbaum, buscando sistematizar a forma com que a qualidade era tratada, trouxe o conceito de controle total da qualidade (TQC – *Total Quality Control*). Segundo Silva (2007, p. 29):

*Armand Feigenbaum propôs o controle total da qualidade, argumentando que produtos de alta qualidade não teriam probabilidade de serem produzidos se o departamento de fabricação fosse obrigado a trabalhar isoladamente. Portanto equipes interfuncionais tornavam-se essenciais, assegurando a representação de pontos de vista variados e que departamentos até então autônomos, trabalhassem juntos. A alta gerência era a responsável final pela eficácia do sistema; era importante uma minuciosa mensuração e elaboração de relatórios dos custos da qualidade.*

Tentando reestabelecer o Japão no período, a JUSE convida Willian Edwards Deming para realizar uma palestra sobre os conceitos do controle da qualidade para palestrar para os líderes. Durante seu período no Japão, Deming auxiliou na criação do modelo de controle da qualidade japonês e aprendeu a importância de se aliar os trabalhadores e a alta gerência para que haja uma boa gestão da qualidade. Uma das maiores contribuições de Deming para a qualidade foi o desenvolvimento, junto a Walter Schewhart, do Ciclo PDCA, que é uma ferramenta importante para o processo de melhoria contínua. “Melhorar um processo significa estabelecer uma nova meta e permanecer nela” (FONSECA; MIYAKE, 2006). O ciclo possui as etapas seguintes:

**P:** *Plan* – Planejar;

**D:** *Do* – Executar;

**C:** *Check* – Checar; e

**A:** *Act* – Agir.

A melhoria contínua é obtida seguindo as etapas do PDCA. Na etapa “planejar”, a oportunidade de melhoria, as metas, as tarefas e a forma pela qual elas serão obtidas são definidas. Na etapa “executar”, é feita a verificação do processo através da coleta de dados das tarefas levantadas na etapa anterior. Na etapa “cheçar”, é realizada a comparação do resultado obtido, através dos dados coletados, e as metas estabelecidas. Na etapa “agir”, são feitas as correções para os desvios detectados. Após isso, novas ações de melhorias são levantadas e o ciclo é reiniciado.

Kaoru Ishikawa foi outro importante nome no modelo japonês. Sua contribuição é o desenvolvimento da visão ampla da qualidade, a ênfase no seu lado humano, no desenvolvimento e o uso de ferramentas da qualidade. Um grupo das ferramentas da qualidade ficou conhecido como as Sete Ferramentas Básicas da Qualidade. Elas são:

- Gráfico de Pareto;
- Diagrama de Causa e Efeito;
- Histograma;
- Cartas de Controle;
- Folha de Verificação;
- Gráfico de Dispersão; e
- Estratificação.

Segundo Carpinetti (2016, p. 21), “O [...] grupo é formado pelas sete ferramentas que requerem um conhecimento por todos da companhia e podem ser usadas na análise e resolução de 90% dos problemas de qualidade”.

Na década de 80, a Motorola desenvolveu o *Six Sigma* (Seis Sigma), que foi uma inovação para o programa de Gestão da Qualidade. Segundo Carpinetti (2016, p. 143):

*O Seis Sigma é um programa de melhoria que tem por objetivo a redução de desperdícios da não qualidade e consequentemente a redução de custos e a melhoria no atendimento de requisitos dos clientes, como qualidade de produto e confiabilidade da entrega.*

Seis Sigma está relacionado com o nível de variabilidade de um processo. O desvio-padrão de uma distribuição é representado por Sigma ( $\sigma$ ). Dada uma especificação para o processo, quanto menor for o desvio-padrão, um maior número de unidades de desvios-padrão será aceito nela (DONADEL, 2008).

Carpinetti (2016) define um processo como Seis Sigma quando o valor do desvio-padrão obtido é igual a um duodécimo da tolerância determinada na especificação do produto. Ou seja, são aceitas 12 unidades do desvio-padrão no intervalo determinado pela tolerância da especificação do produto.

## **1.2 Objetivos**

O objetivo deste trabalho é mostrar a importância da utilização do ciclo PDCA, algumas das Sete Ferramentas Básicas da Qualidade e FMEA para obter melhora da capacidade de um processo produtivo.

A aplicação dos conceitos supracitados, através do caso prático apresentado no presente trabalho, exemplificará como obter uma melhoria significativa de processo.

## **1.3 Estrutura do trabalho**

A metodologia escolhida para o desenvolvimento deste trabalho foi em um primeiro momento, realizar a revisão bibliográfica, principalmente em livros, artigos e estudos de caso, buscando bases sólidas para compreensão e entendimento dos conceitos do ciclo PDCA, algumas das Sete Ferramentas Básicas da Qualidade, FMEA e capacidade de processo.

Em um segundo momento, o autor aplica os conceitos obtidos na revisão bibliográfica em um projeto de melhoria da capacidade de um dos processos produtivos de uma empresa de manufatura.

A estrutura do presente trabalho foi definida da seguinte forma:

O capítulo 1 faz a contextualização do surgimento e aumento da preocupação em desenvolver bons mecanismos e ferramentas para garantia e controle da qualidade dos produtos. Além disso, descreve o objetivo da elaboração do trabalho e a lógica e sequência escolhida para o desenvolvimento do trabalho.

O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica dos conceitos de ferramentas de gestão e qualidade, além da metodologia *Six-Sigma*, que são fundamentais em projetos de melhoria de processo, visando melhorar a compreensão do tema.

O capítulo 3 apresenta a descrição da empresa, do processo que será estudado no presente trabalho e das metas que serão buscadas. Será respeitado o sigilo de informações solicitado pela empresa.

O capítulo 4 contém as diretrizes para a execução do projeto, definição da forma de condução do projeto, coleta de informações e dados, a execução de melhorias, a análise das melhorias e a criação de mecanismos para garantir que as mudanças sejam permanentes.

O capítulo 5 apresenta uma discussão dos resultados, analisando a efetividade e a importância das ferramentas e metodologias aplicadas no projeto.

O capítulo 6 traz uma conclusão sobre o tema e o projeto executado.



## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Capabilidade**

Capabilidade pode ser definida como a capacidade de um processo estável gerar produtos dentro dos limites de especificação estabelecido para eles. Ou seja, quanto maior a capabilidade do processo, menor será o número de produtos não-conformes (fora das especificações) que ele produzirá.

Para Carpinetti (2016), analisar a capabilidade é avaliar a dispersão dos dados obtidos de um processo em relação a um valor central e compará-la com a variação máxima aceitável determinada para um parâmetro. Ou seja, compara-se a variabilidade inspecionada nos produtos com os valores determinados por sua especificação.

### **2.2 Índices de capabilidade**

Os índices de capabilidade são o meio pelo qual a capabilidade do processo é medida. “Os índices [...] são parâmetros adimensionais que indiretamente medem o quanto o processo consegue atender às especificações” (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2013, p.124).

Segundo Carvalho (2005), o índice de capabilidade está diretamente relacionado às especificações determinadas. Qualquer erro no processo de definição da especificação pode resultar em uma conclusão incorreta sobre a capabilidade do processo.

“A capacidade do processo pode ser definida com índices estatísticos de Capabilidade do Processo ( $C_p$ ) e Desempenho do Processo ( $P_p$ )” (GONÇALVEZ, 2011. p.32).

#### **2.2.1 Índices de capabilidade de processo**

Os índices  $C_p$ 's ( $C_p$  e  $C_{pk}$ ) representam o melhor desempenho que o processo pode obter, caso esteja isento de causas especiais. A variação que ocorre entre os subgrupos racionais é utilizada para o cálculo deles.

De acordo com Carpinetti (2016), “A diferença fundamental entre  $C_p$  e  $C_{pk}$  é que  $C_{pk}$  é sensível a desvios da média do processo em relação ao centro

da faixa de tolerância, enquanto  $C_p$  considera apenas a variabilidade do processo”.

As equações (1) e (2) mostram as fórmulas utilizadas para o cálculo de  $C_p$  e  $C_{pk}$ :

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (1)$$

$$C_{pk} = \text{mínimo} \left( \frac{USL - \mu}{3\sigma}; \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right) \quad (2)$$

Onde,

USL – Limite superior de especificação;

LSL – Limite inferior de especificação;

$\mu$  – Média dos resultados; e

$\sigma$  – Desvio padrão dos resultados.

A classificação do processo, pela análise dos valores de  $C_p$  e  $C_{pk}$ , estão ilustradas no Quadro 2.1:

Quadro 2.1 - Classificação do processo em relação à sua capacidade.

Classificação	Valor de $C_{pk}$	Itens fora das especificações (ppm)	
		Especificação bilateral e processo centrado (ICP apropriado: $C_p = C_{pk}$ )	Processo não centrado e/ou especificação unilateral (ICP apropriado: $C_{pk}$ )
Capaz	$\geq 1,33$	70	35
Razoavelmente capaz	$1 \leq C_{pk} < 1,33$	entre 70 e 2700	entre 35 e 1350
Incapaz	$< 1$	mais de 2700	mais de 1350

Fonte: Costa, Epprecht e Carpinetti, 2013.

### 2.2.2 Índices de desempenho do processo

Os índices Pp's (Pp e Ppk) representam o desempenho real do processo em relação aos limites de especificação. Nesse caso, o desvio padrão global do processo é utilizado para o cálculo dos índices.

Da mesma forma que Cp e Cpk, a diferença principal entre Pp e Ppk é que o primeiro não reflete desvios da média em relação ao centro da faixa de tolerância. Já o segundo, sim.

As equações (3) e (4) mostram as fórmulas utilizadas para o cálculo de Pp e Ppk:

$$Pp = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (3)$$

$$Ppk = \text{mínimo} \left( \frac{USL - \mu}{3\sigma}; \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right) \quad (4)$$

Onde,

USL – Limite superior de especificação;

LSL – Limite inferior de especificação;

$\mu$  – Média dos resultados; e

$\sigma$  – Desvio padrão dos resultados.

O Quadro 2.2 traz a classificação do processo, segundo os valores de Pp e Ppk.

Quadro 2.2 - Classificação do desempenho do processo.

Classificação	Valor de Ppk	Valor de Pp
Capaz	$\geq 1,33$	$\geq 1,33$
Razoavelmente capaz	$1 \leq Ppk < 1,33$	$1 \leq Pp < 1,33$
Incapaz	$< 1$	$< 1$

Fonte: elaborado pelo autor.

## 2.3 FMEA

Para Ferreira (2008), uma etapa importante de um projeto é a análise de riscos, que serve para evidenciar os riscos ou as chances de que ocorra alguma falha de processo que possa comprometer as etapas seguintes ou afete o usuário final. O FMEA é bem útil para realizar essa análise.

“O FMEA [...], é um método usado no desenvolvimento de produto e processo para o desenvolvimento de ações de melhoria contínua para a minimização ou eliminação de falhas consideradas mais críticas” (CARPINETTI, 2016, p. 130).

Ferreira (2008), diz que é fundamental a utilização de uma equipe multifuncional composta de membros de diversas áreas da empresa, como processo, produto, produção, qualidade, manutenção, segurança, entre outras. Esses profissionais, em geral, possuem conhecimentos, experiências, vivência e ideias diferentes. Esse fato faz com que fique mais fácil definir os principais modos de falha para o produto ou processo e permite que se encontrem soluções para eles.

Para a elaboração do FMEA é preciso determinar os modos de falha que o processo ou produto poderá apresentar, avaliar quais serão os efeitos desses modos de falha e levantar fatores que possam estar causando esses modos de falha. Após isso, serão atribuídas notas para os quesitos de severidade, ocorrência e detecção. A severidade do efeito indica com qual intensidade ele será sentido no usuário. A ocorrência ilustra com qual frequência aquele modo de falha acontece. A detecção representa a probabilidade de se detectar a ocorrência da falha antes que ela gere o efeito no usuário. A multiplicação das notas atribuídas aos três quesitos dá o *Risk Priority Number* (RPN), que permite priorizar quais falhas serão atacadas e quais ações serão implementadas.

O Quadro 2.3 apresenta um formato bastante utilizado para a elaboração do FMEA.

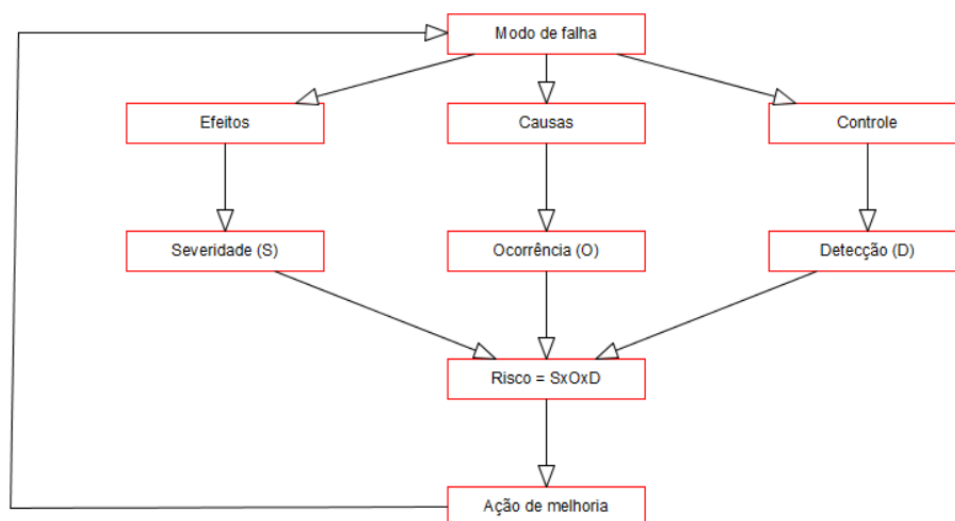
Quadro 2.3 - Modelo padrão do FMEA.

Função do produto ou requisitos do processo	Modo de falha potencial	Efeito potencial da falha	S	Causa potencial da falha	O	Controles atuais do processo	D	RPN	Ações recomendadas	Responsável e prazo	Resultado das ações				
											Ações tomadas	S	O	D	RPN

Fonte: adaptado de Carpinetti (2016).

A Figura 2.1 ilustra um raciocínio para a utilização do método FMEA.

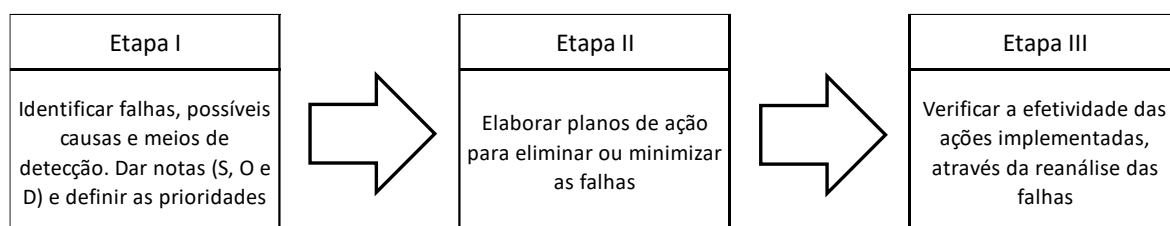
Figura 2.1 - Método FMEA.



Fonte: adaptado de Carpinetti (2016).

De maneira geral, podem ser destacados três passos a serem seguidos para a elaboração do FMEA. A Figura 2.2 traz, de forma prática e resumida, esses passos.

Figura 2.2 - Etapas do FMEA.



Fonte: adaptada de Carpinetti (2016)

## 2.4 Ciclo PDCA

Para Carpinetti (2016), deve-se identificar os problemas, priorizá-los, realizar a coleta dos dados, analisar suas causas raízes, levantar e implementar ações e verificar os resultados para que haja de fato a melhoria contínua.

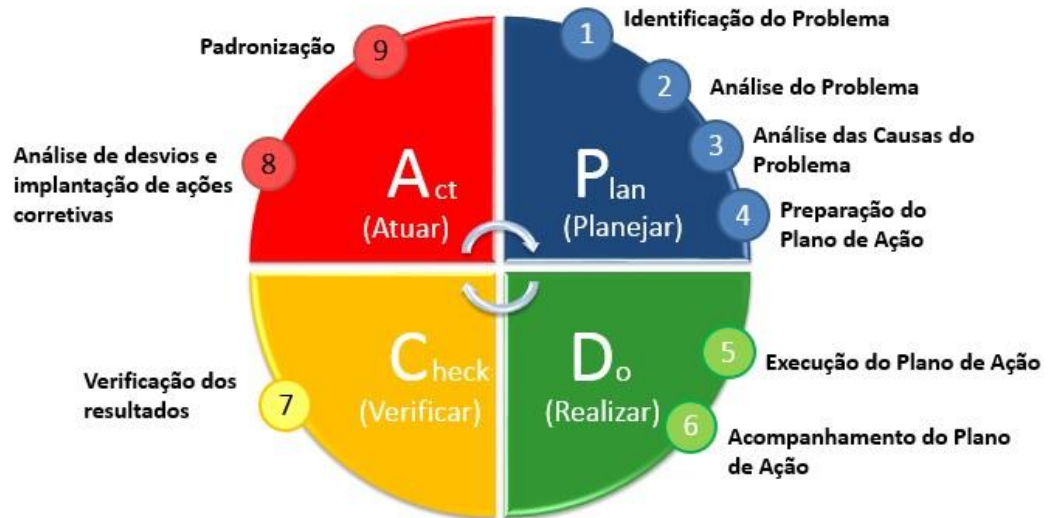
O Ciclo PDCA (ou ciclo de Deming) é um método de gestão que permite obter a melhoria contínua de processos e a prática do controle gerencial. Segundo Werkema (2006), “O Ciclo PDCA é um método gerencial de tomada de ações para garantir o alcance das metas necessárias à sobrevivência de uma organização”. A ideia é que o método seja usado de forma cíclica, ou seja, cada vez que se conclua a última etapa, deve-se iniciá-lo novamente.

O ciclo é formado por quatro etapas: planejar (*plan*), executar (*do*), checar (*check*) e agir (*act*). Cada etapa pode ser definida como:

- (P) – Planejar: o problema é identificado, as metas, a forma para atingi-las e os objetivos são estabelecidos, os riscos e custos são levantados.
- (D) – Executar: são realizadas as tarefas estabelecidas no planejamento e coletam-se os dados.
- (C) – Checar: a análise de dados é realizada e faz-se a comparação dos resultados obtidos com o que foi planejado nas metas.
- (A) – Agir: as ações de correção definitiva são realizadas e padronizadas para que problema não ocorra novamente.

A Figura 2.3 ilustra o ciclo com suas etapas.

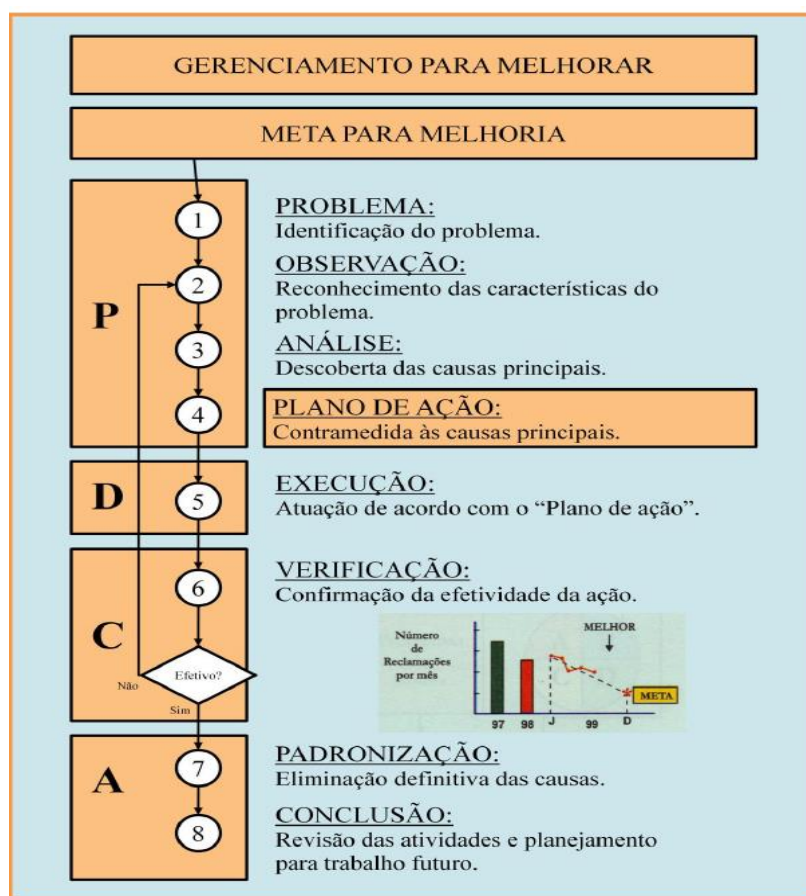
Figura 2.3 - As etapas do PDCA.



Fonte: Civilização Engenharia (2017).

A Figura 2.4 traz uma representação, em formato de fluxograma, das etapas para a utilização do ciclo.

Figura 2.4 - Fluxo de ações do PDCA.



Fonte: Campos (1994, p. 269).

## 2.5 Ferramentas da qualidade

As ferramentas da qualidade são técnicas utilizadas para resolver problemas ou na busca pela melhoria contínua. Elas possibilitam medir e analisar as características atuais do processo ou produto e propor soluções para problemas que afetam o desempenho planejado.

Nesse capítulo, serão revisados os conceitos de algumas das “Sete Ferramentas Básicas da Qualidade” e outras ferramentas que serão utilizadas no caso prático do presente projeto.

### 2.5.1 Diagrama de causa e efeito

Para Carpinetti (2016, p. 87):

*O diagrama de causa e efeito foi desenvolvido para representar as relações existentes entre um problema ou efeito indesejável do resultado de um processo e todas as possíveis causas desse problema, atuando como um guia para a identificação da causa fundamental desse problema e para a determinação das medidas corretivas que deverão ser adotadas.*

O diagrama, que foi desenvolvido por Kaoru Ishikawa, é estruturado para que seja possível a identificação das diversas causas que podem estar ocasionando um problema. Sua forma lembra a espinha de um peixe. O eixo principal remete ao problema e, as espinhas, representam as causas que geram o efeito sentido.

Uma forma de categorizar as causas que afetam processos ou produtos é através da utilização dos 6M's (Método, Máquina, Medida, Meio Ambiente, Mão-de-Obra, Material). Estão definidos a seguir, segundo Sabino (2015), os significados de cada M.

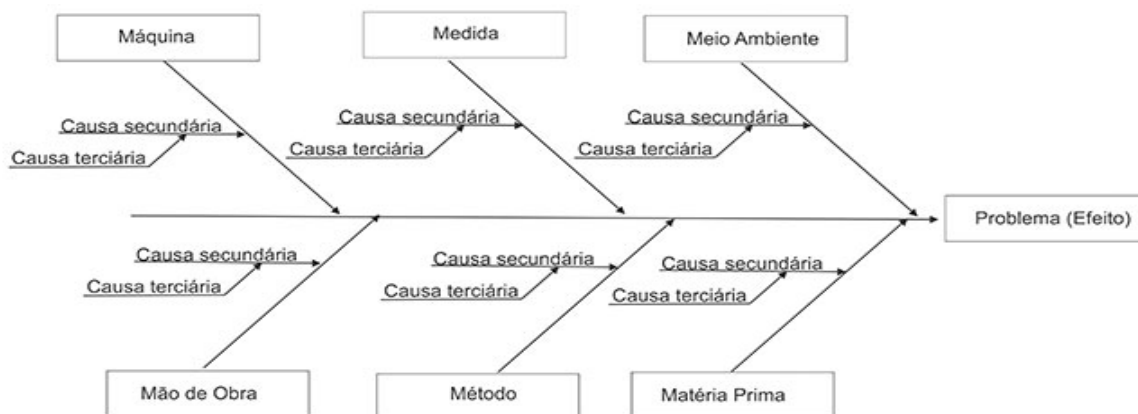
- **Método:** devem ser levantadas as causas que tenham relação com os procedimentos padrões estabelecidos para a execução das tarefas e os trabalhos. A aplicação incorreta dos métodos de trabalho pode gerar problemas.
- **Matéria prima:** todas as causas envolvendo a qualidade do material utilizado no processo, devem ser colocadas nesta categoria. Inconformidades técnicas ou baixa qualidade do material utilizado podem ocasionar problemas.



- **Mão de obra:** todas as causas potencialmente geradoras de problemas relacionadas aos operadores como pressa, imprudência, ato inseguro, desleixo, falta de qualificação, dentre outras, devem ser inseridas nessa categoria.
- **Máquinas:** todas as causas relacionadas as máquinas e equipamentos utilizados no processo integram essa categoria. Falta de manutenção preventiva, operação incorreta e problemas técnicos, podem ser fonte de geração de problemas.
- **Medida:** todas as causas relacionadas aos equipamentos responsáveis pela medição devem ser inseridas nesta categoria. Problemas podem aparecer quando a resolução, calibração ou uso incorreto do equipamento ocorrem.
- **Meio ambiente:** todas as causas que possuem relação com o ambiente em que o trabalho é realizado (como umidade, temperatura, poluição, poeira, pouco espaço, dimensionamento inadequado dos equipamentos, dentre outros) devem estar nesta categoria. O ambiente pode favorecer a ocorrências de problemas.

A Figura 2.5 ilustra o diagrama com as categorias 6M's.

Figura 2.5 - Diagrama de causa e efeito.



Fonte: Marcondes (2016).

Para Carpinetti (2016), é preciso que o maior número de pessoas que estejam envolvidas com os processos participe das seções de *brainstorming*. Esse fato possibilitará o levantamento de várias causas que possam gerar o

problema investigado. Após o levantamento das causas, elas são classificadas nas categorias do diagrama. Após isso, são levantadas as causas que se ramificam a partir da causa anterior.

### **2.5.2 Histogramas**

“O histograma é um gráfico de barras no qual o eixo horizontal, subdividido em vários pequenos intervalos, apresenta os valores assumidos por uma variável de interesse” (CARPINETTI, 2016. p. 91).

Deve-se construir barras verticais com áreas proporcionais ao número de vezes que um determinado valor é observado na amostra. Ou seja, deve-se considerar pequenos valores de resultados possíveis e, cada vez que uma observação que possua um valor pertencente ao intervalo definido aparecer, deve-se adicionar uma barra àquele intervalo determinado.

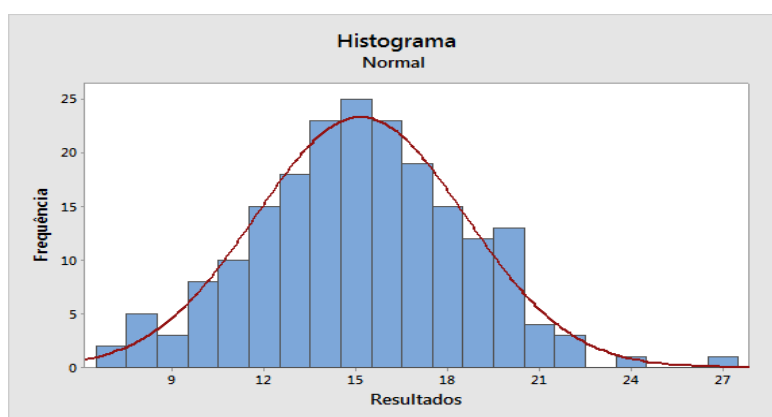
Essa ferramenta possibilita visualizar como está a distribuição dos dados observados e comparar com o valor nominal estabelecido para o processo ou produto. Além disso, permite que se perceba como está a dispersão (variabilidade).

Carpinetti (2016), afirma que, através da utilização do histograma, associado aos limites de especificação, será possível responder às seguintes questões:

- O processo é capaz de atender às especificações?
- A média da distribuição das medidas da característica da qualidade está próxima do centro da faixa de especificação (valor nominal)?
- É necessário adotar alguma medida para reduzir a variabilidade do processo?

O Gráfico 2.1 traz a representação de um histograma. A distribuição dos dados é normal. Devido a esse fato, o histograma possui forma de sino (histograma simétrico).

Gráfico 2.1 - Representação de um histograma.



Fonte: elaborado pelo autor.

O Quadro 2.4 define o número de intervalos necessários de acordo com o tamanho da amostra escolhido.

Quadro 2.4 - Relação entre o tamanho da amostra e o número de intervalos.

Tamanho da amostra (n)	Número de intervalos (k)
< 50	5 - 7
50 - 100	6 - 10
100 - 250	7 - 12
> 250	10 - 20

Fonte: Carpinetti (2016, p. 91).

### 2.5.3 Gráficos de controle

São gráficos utilizados para monitorar o processo produtivo ou características do produto. Para Carpinetti (2016, p. 97), “o objetivo do uso de gráficos de controle é garantir que o processo opere na sua melhor condição”. Werkema (2006), diz que os gráficos (ou cartas) de controle servem para avaliar a estabilidade do processo, através do monitoramento da variabilidade.

De forma geral, há dois tipos de causas de variabilidade em processos. As causas comuns (ou aleatórias) são inerentes ao processo e estarão presentes mesmo em processos que sejam bem controlados e projetados. Consequentemente, não podem ser eliminadas. Essas causas são responsáveis pelas pequenas diferenças percebidas entre as unidades produzidas, porém a variabilidade do processo se mantém estável ao longo do tempo. “Quando o processo apresenta apenas a variabilidade natural, devida às causas aleatórias,

diz-se que ele está no estado de controle estatístico, ou simplesmente em controle” (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2013, p.25).

As causas especiais, segundo Trivellato (2010), “[...] aparecem esporadicamente, decorrentes de algum evento particular que gera um comportamento diferente do usual, o que pode interferir negativamente na qualidade do produto”. Costa, Epprecht e Carpinetti (2013) definem uma causa especial como algo passível de eliminação, sendo originado de um modo de operação anormal do processo. Elas são capazes de aumentar a dispersão dos resultados obtidos e, até mesmo, deslocar a média do processo. Quando o processo está sujeito às causas especiais, diz-se que ele não está em controle estatístico.

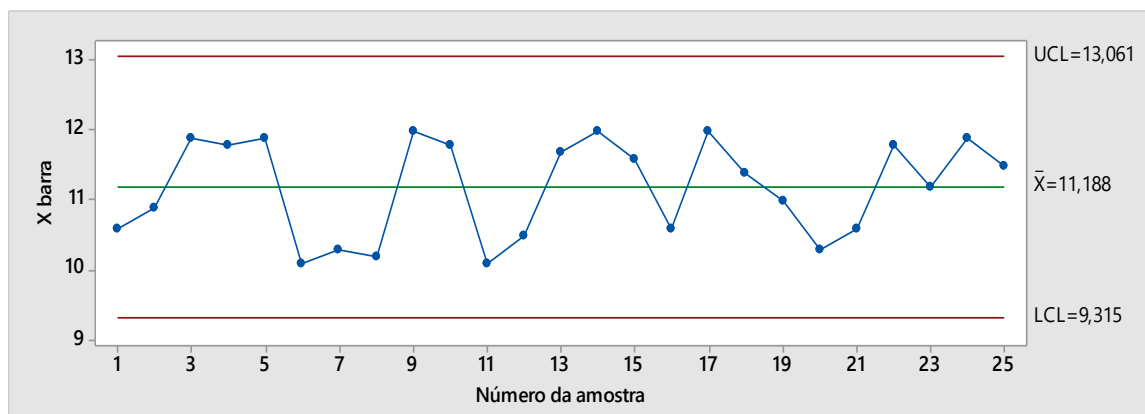
Os gráficos de controle permitem que se perceba a presença ou não de causas especiais. Entretanto, não é função deles identificar quais causas especiais estão interferindo no processo.

Em um gráfico de controle, tipicamente, os elementos presentes são a linha média, os limites de controle (inferior e superior). Os gráficos de controle para variáveis mais utilizados são:

- Gráfico da média; e
- Gráfico da amplitude.

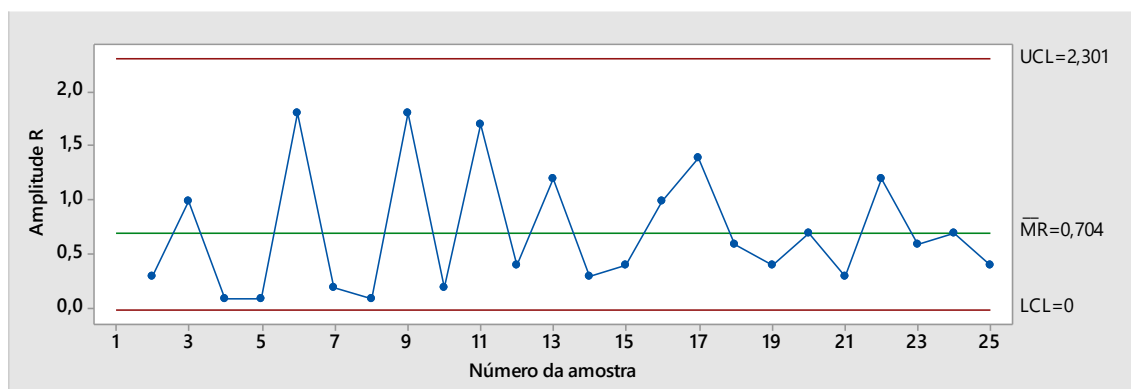
Os Gráficos 2.2 e 2.3 mostram, respectivamente, os gráficos da média e da amplitude.

Gráfico 2.2 - Gráfico de controle da média.



Fonte: elaborado pelo autor.

Gráfico 2.3 - Gráfico de controle da amplitude.



Fonte: elaborado pelo autor.

Segundo Trivellato (2010), a média do processo é monitorada através do uso do gráfico de controle da média e a variabilidade do processo pode ser monitorada através da utilização de um gráfico de controle da amplitude. “O ideal é que os dois gráficos sejam utilizados em conjunto” (TRIVELLATO, 2010, p. 47).

#### 2.5.4 5W1H

“O 5W1H é um tipo de lista de verificação utilizada para informar e assegurar o cumprimento de um conjunto de planos de ação, diagnosticar um problema e planejar soluções” (PRADO FILHO, 2009).

Deve-se descrever o problema, como ele afeta o processo, se há interferência de operador, máquina ou condições climáticas, quando e onde ele ocorre e como ele ocorre.

Algumas empresas acabam utilizando o 5W1H de acordo com as suas necessidades. O Quadro 2.5 traz a representação e quais informações são necessárias para que se utilize o 5W1H, de acordo com a real utilização dele na empresa em que foi aplicado o estudo de caso do presente trabalho.

Quadro 2.5 - As perguntas do 5W1H.

5W1H
<b>1. O que?</b>
O que acontece ou aconteceu? Cite o problema.
<b>2. Onde?</b>
Onde você está vendo o problema? (Local/ Máquina/ Linha)
<b>3. Quando?</b>
Quando você está vendo o problema? (Momento em que ocorre). Este problema já vinha acontecendo?
<b>4. Quem?</b>
O problema é relacionado a habilidade e em quê?
<b>5. Qual?</b>
De que modo a tendência está se desenvolvendo? Aleatório ou há um padrão?
<b>6 – Como?</b>
Como aconteceu? Como o estado atual está mudado a partir do Normal (Ótimo)?
<b>Problema</b>
Descrever o problema da forma mais clara possível.
<b>Contramedida</b>
Descrever a contramedida atual a ser realizada quando o problema ocorrer.

Fonte: do autor.

### 3 MÉTODO DE DESENVOLVIMENTO

Segundo Silva e Meneses (2005, p. 20):

Pesquisa é um conjunto de ações, propostas para encontrar a solução para um problema, que têm por base procedimentos racionais e sistemáticos. A pesquisa é realizada quando se tem um problema e não se têm informações para solucioná-lo.

Para o presente trabalho foi escolhido como procedimento o estudo de caso. Yin (2001) defini o estudo de caso como sendo a melhor forma de se direcionar projetos que buscam a compreensão de fenômenos ou eventos da vida real. Além disso, ele ressalta que, através do estudo de caso, é possível verificar e examinar eventos sem que o pesquisador manipule comportamentos que são relevantes para a pesquisa.

Para Yin (2001, p. 27):

*O estudo de caso conta com muitas das técnicas utilizadas pelas pesquisas históricas, mas acrescenta duas fontes de evidência que usualmente não são incluídas no repertório de um historiador: observação direta e série sistemática de entrevistas.*

Einserhardt (1989) diz que para que se obtenham resultados que possam ser considerados satisfatórios é recomendada, na coleta de dados, a utilização de múltiplos instrumentos.

O estudo de caso do presente trabalho “objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigidos à solução de problemas específicos” (SILVA; MENEZES, p.20, 2005) e possui uma abordagem quantitativa, uma vez que busca o aumento da capacidade de um processo na empresa estudada.

## 4 ESTUDO DE CASO

### 4.1 Descrição da empresa

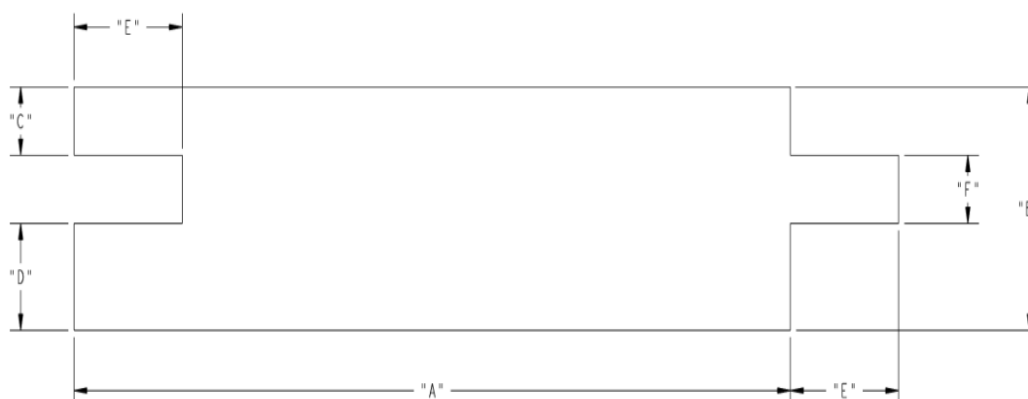
O presente projeto foi desenvolvido em uma empresa manufatureira de grande porte. A empresa é segmentada em diversas unidades de negócios, foi eleita como uma das melhores para se trabalhar e é reconhecida pela qualidade dos seus produtos. Além disso, a empresa possui certificação ISO 9001:2008, ISO 14001 e ISO/TS 16949.

### 4.2 Descrição do caso

Um dos produtos vendido pela empresa é utilizado principalmente pela indústria automobilística. Atualmente na empresa, o produto é importado sob a forma de jumbo (rolo do material com elevadas dimensões de largura e comprimento) e, após o processo de conversão, ganha o formato definido para o produto. Essa conversão é realizada por meio do processo de estampagem que consiste no corte do material através operação de prensagem utilizando um sistema de facas.

A Figura 4.1 traz o desenho do produto em questão

Figura 4.1 - Produto estudado.

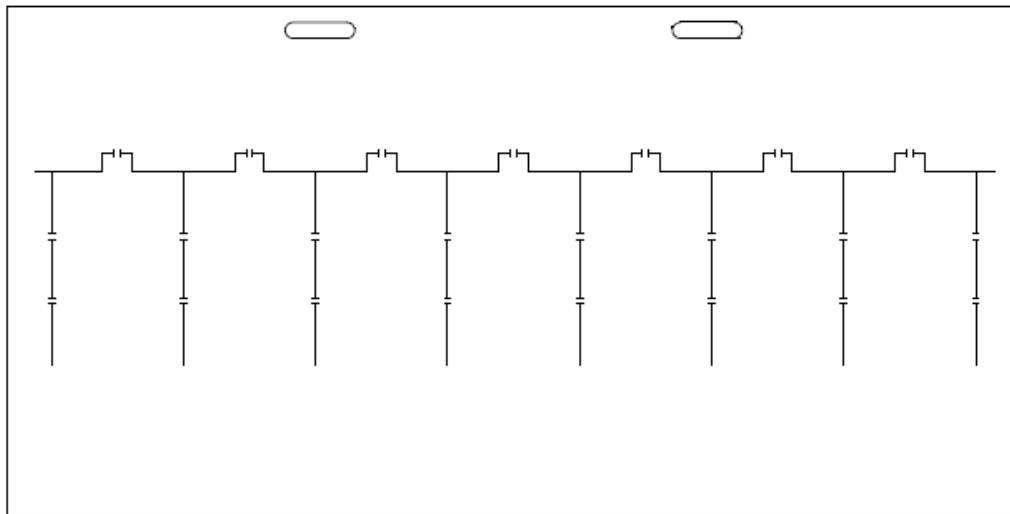


Fonte: empresa estudada.

A Figura 4.2 ilustra um dos sistemas de facas utilizado pela empresa.



Figura 4.2 - Exemplo do sistema de facas.



Fonte: empresa estudada.

Atualmente, a capacidade do processo encontra-se com valores inadequados à política da empresa. Deseja-se que o processo tenha uma capacidade maior para garantir uma menor quantidade de itens considerados não-conformes. Assim, o projeto desenvolvido terá como meta aumentar a capacidade de forma a atingir um Cpk, ao menos, no nível de razoavelmente capaz.

## 5 APLICAÇÃO E RESULTADOS

### Planejar (P)

Com a meta para o aumento da capacidade traçada e a definição da equipe responsável, o projeto iniciou-se pela etapa **P** do PDCA. O problema informado para a realização do projeto é o produto estar fora das especificações do cliente em relação a largura. Dessa forma, elaborou-se um 5W1H para conhecer melhor sobre o problema em questão. O Quadro 4.1 traz o 5W1H com as informações reunidas.

Quadro 5.1 - 5W1H da situação atual do processo.

5W1H
<b>1. O que?</b>
A largura dos produtos está fora das especificações.
<b>2. Onde?</b>
Na prensa de corte.
<b>3. Quando?</b>
Durante o processo de inspeção de produtos para liberação.
<b>4. Quem?</b>
Ocorre independentemente do operador. Há registro do problema nos dois turnos de trabalho.
<b>5. Qual?</b>
É aleatório.
<b>6 – Como?</b>
Através da medição da largura do item.
<b>Problema</b>
A largura dos produtos analisados está acima dos limites especificados pelos clientes, tornando a capacidade do processo baixa. Ocorre na empresa e é percebido durante o processo de inspeção de produto. Além disso, o problema independe do operador.
<b>Contramedida</b>
Reajuste dos sistema de facas.

Fonte: do autor.

Além do 5W1H, a equipe resolveu elaborar um FMEA para entender mais a fundo quais falhas poderiam ocorrer e de quais causas elas seriam decorrentes. Entretanto, o FMEA foi utilizado como uma forma de explicar melhor o processo aos envolvidos, sem necessariamente nortear as ações que seriam tomadas no projeto. Dessa forma, ele foi elaborado apenas até o **NPR**, sem gerar ações a serem tomadas e seus responsáveis.

A Figura 5.1 traz o FMEA elaborado.

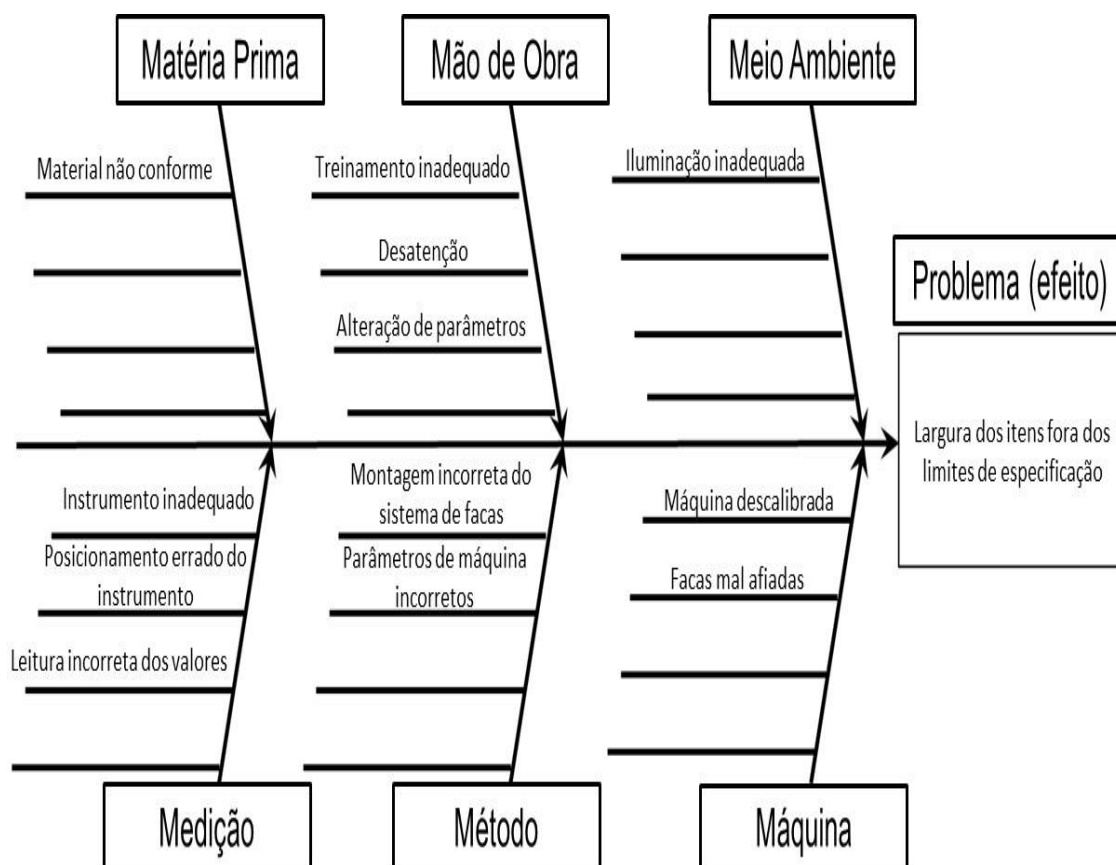
Figura 5.1 - FMEA do processo de conversão do item estudado.

Função & Requisitos do Processo	Modo de Falha Potencial	Efeito da Falha	Sever	Causa / Mecanismo Potencial de Falha	Ocorr	Controles Atuais do Processo		Detec	N P R
						Prevenção	Deteção		
Passagem da Manta na Prensa	Rasgamento da Manta	Aumento da Perda	2	Material Frágil e Dificuldade/Interferência durante a passagem.	3		Visual	8	48
Colocação da Faca na Prensa	Faca Desalinhada	Diferença de Comprimento e/ou das Peças ao longo das Cavidades da Faca	3	Falha Operacional durante Processo de Colocação e Alinhamento da Faca	1		Inspeção com Gabarito (min 3 peças) e/ou medição com paquímetro (3 pontos por peça)	5	15
Alimentação da Manta para Corte (Index)	Esmagamento do material nas Regiões onde a Pinça pressiona a Manta	Danificação do produto na Região Esmagada	3	Excesso de Pressão nos Pistões da Pinça que faz a Alimentação do item	2		Inspeção Visual	8	48
Corte da Manta	Comprimento da Peça Fora do Especificado	Cliente não monta o Conjunto Final	7	Passo da Esteira Mal Regulado	2		Gabarito PNP / Inspeção Visual	5	70
				Encoder com Defeito (Não lê valor correto)	1		Gabarito PNP / Inspeção Visual	5	35
	Largura da Peça Fora do Especificado	Cliente não monta o Conjunto Final / Perda da Eficiência do Catalisador	7	Ferramental de Corte (Faca) construída erroneamente	4	Homologação do Ferramental	Medição com paquímetro	5	140
				Faca com má afiação			Medição com paquímetro		
	Embalagem / Peças Danificadas	Cliente não utiliza o Produto	5	Utilização de Embalagem de Papelão. Manuseio Incorreto e Avarias Durante o Transporte.	3		Inspeção Visual	8	120
	Quantidade de Peças Menor/Maior do que o pedido	Diferença de Inventário	5	Ajuste da Quantidade de Peças por Ciclo Incorreta ou Falha do Sistema da Prensa	1		Inspeção Visual	8	40

Fonte: do autor.

Para finalizar a etapa, a equipe se reuniu novamente e elaborou um Diagrama de Ishikawa visando estabelecer possíveis causas de não conformidade em relação à largura dos itens convertidos. A Figura 5.2 traz o diagrama.

Figura 5.2 - O Diagrama de Ishikawa do processo.



Fonte: do autor.

Após toda essa análise, a equipe se reuniu novamente para definir o plano de ação que nortearia o projeto de melhoria. Foram analisadas e discutidas as informações levantadas e, a partir disso, decidiu-se quais ações seriam tomadas, bem como quem estaria envolvido no projeto. É importante ressaltar que algumas causas levantadas no Ishikawa não serão atacadas devido a não disponibilidade de recursos. A Figura 5.3 mostra o plano de ação definido e os prazos para a realização das atividades – é importante ressaltar que, nesse momento do projeto, a equipe havia preenchido apenas o campo “Planejado” do prazo, porém, devido ao fato de o projeto ter sido finalizado antes da conclusão do presente trabalho, o campo “Executado” também aparece preenchido.

Figura 5.3 - Plano de ação do projeto.

Plano de ação		Prazo	Março				Abril				Maio				Junho			
Ação	Responsável		S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Calibrar uma trena milimétrica e disponibilizá-la para os operadores	Metrologia	Planejado																
		Executado																
Treinar operadores na medição da largura dos itens com a trena	Equipe de melhoria	Planejado																
		Executado																
Coletar dados para análise da situação atual do processo	Equipe de melhoria e operadores	Planejado																
		Executado																
Realizar manutenção preventiva e limpeza da máquina	Equipe de manutenção	Planejado																
		Executado																
Enviar os sistemas de facas para serem afiados	Equipe de melhoria	Planejado																
		Executado																
Treinar operadores na montagem do sistema de facas	Técnico especialista	Planejado																
		Executado																

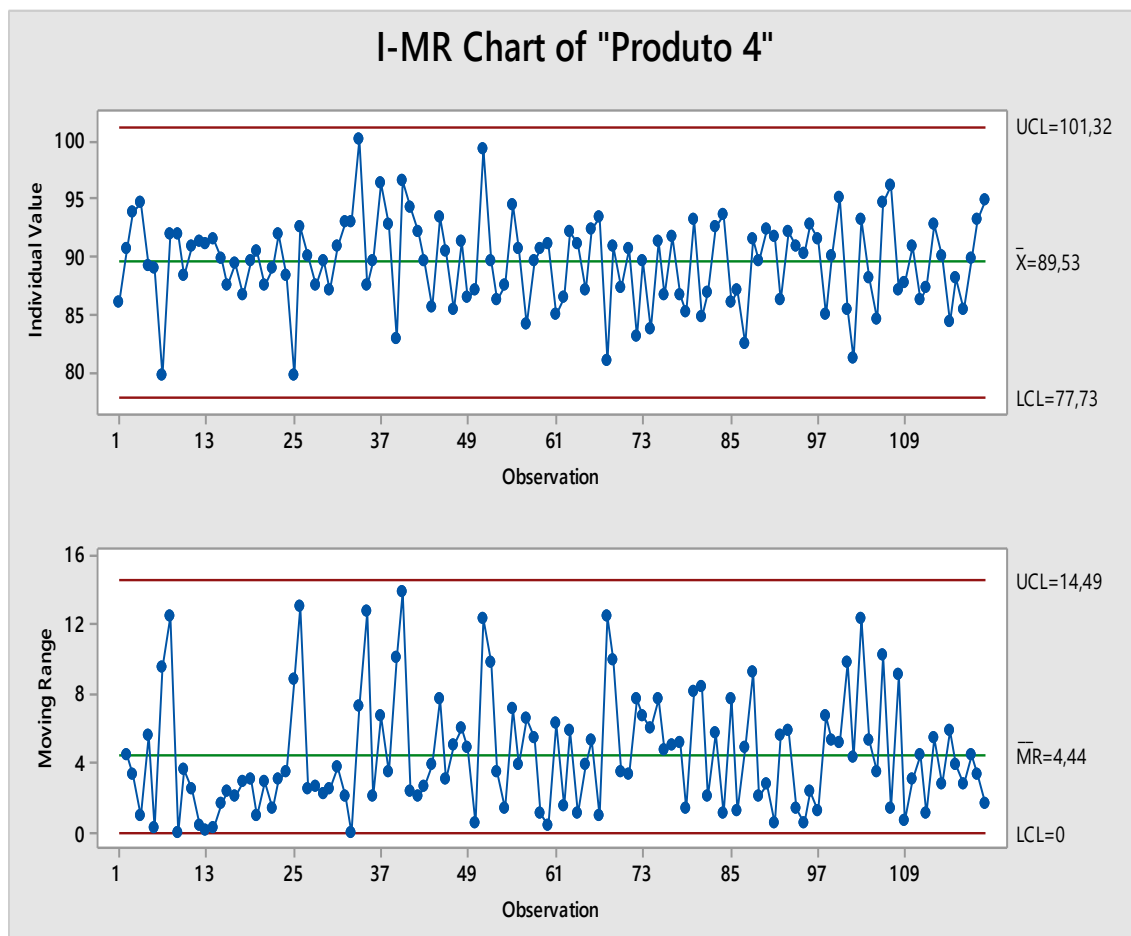
Fonte: do autor.

Definido plano de ação, iniciou-se a execução das ações nele estabelecidas.

### Executar (D)

Por se tratar de um produto maleável quando submetido a pressão de compressão ou tração, a equipe decidiu alterar a forma de se realizar a medição. Dessa forma, o paquímetro analógico foi substituído por uma trena milimétrica devidamente calibrada. Após treinamento e capacitação dos operadores com o novo instrumento de medição, uma das primeiras atividades realizadas foi a coleta dos dados para análise da estabilidade do processo para checar se há a presença de causas especiais de variabilidade interferindo nele. Foram coletadas 40 amostras do item que, neste trabalho, será chamado de “Produto 4”, ao longo de uma semana e em diferentes turnos, e mediu-se a largura delas em três pontos diferentes. A Figura 5.4 elaborada com o auxílio da ferramenta computacional Minitab®, traz a Carta CEP para os resultados obtidos.

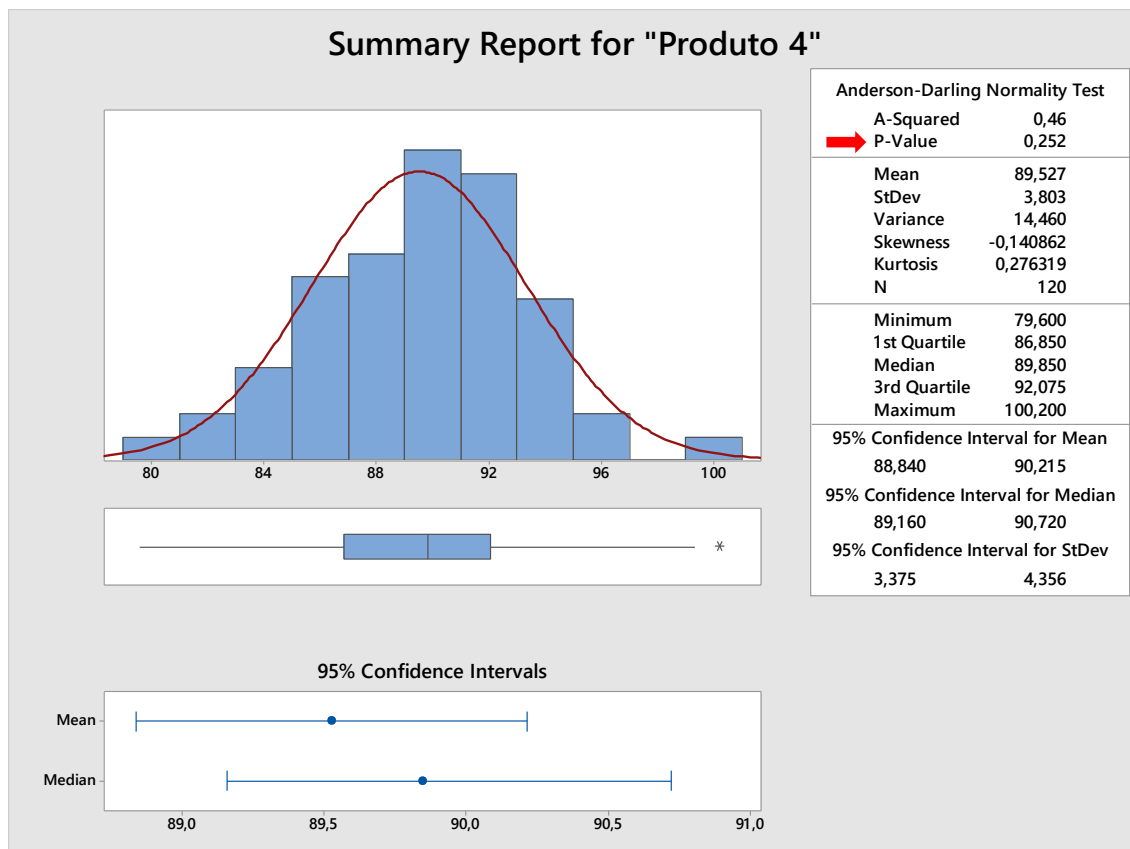
Figura 5.4 - Carta CEP do "Produto 4".



Fonte: do autor.

Conforme pode ser observado na Carta CEP, não há pontos fora dos limites de controle. Dessa forma, foi possível considerar o processo estável e o projeto pôde continuar. Ainda com os resultados encontrados para a largura das amostras coletadas, foi feita a análise para checar se os dados obtidos possuíam distribuição normal ou não. A Figura 5.5 traz o Histograma dos dados e o resultado do teste de Anderson-Darling de normalidade.

Figura 5.5 - Teste de normalidade dos dados coletados do “Produto 4”.



Fonte: do autor.

Para uma distribuição de dados ser considerada “normal”, o valor do “*P-Value*”, do teste de Anderson-Darling, deve ser maior do que 0,05. Conforme pode ser visto na Figura 5.5, o “*P-Value*” resultou em 0,252. Logo, pode-se afirmar que os dados são normais. A equipe decidiu então que, para os outros três produtos a serem considerados para a análise da capacidade, os processos também se encontram sob controle estatístico e os dados obtidos para suas larguras e apresentam distribuição normal.

A próxima etapa foi analisar capacidade do processo atual em relação a largura das peças. Foram selecionados quatro produtos com diferentes especificações e foram realizadas medições em três pontos de cada um dos produtos em cada cavidade do sistema de facas. O “Produto 4” presente neste estudo é o mesmo que foi utilizado para a análise da normalidade e estabilidade do processo. Para efeito ilustrativo, o Quadro 5.2 traz as especificações dos produtos e o número de cavidades do sistema de facas utilizado em sua conversão.

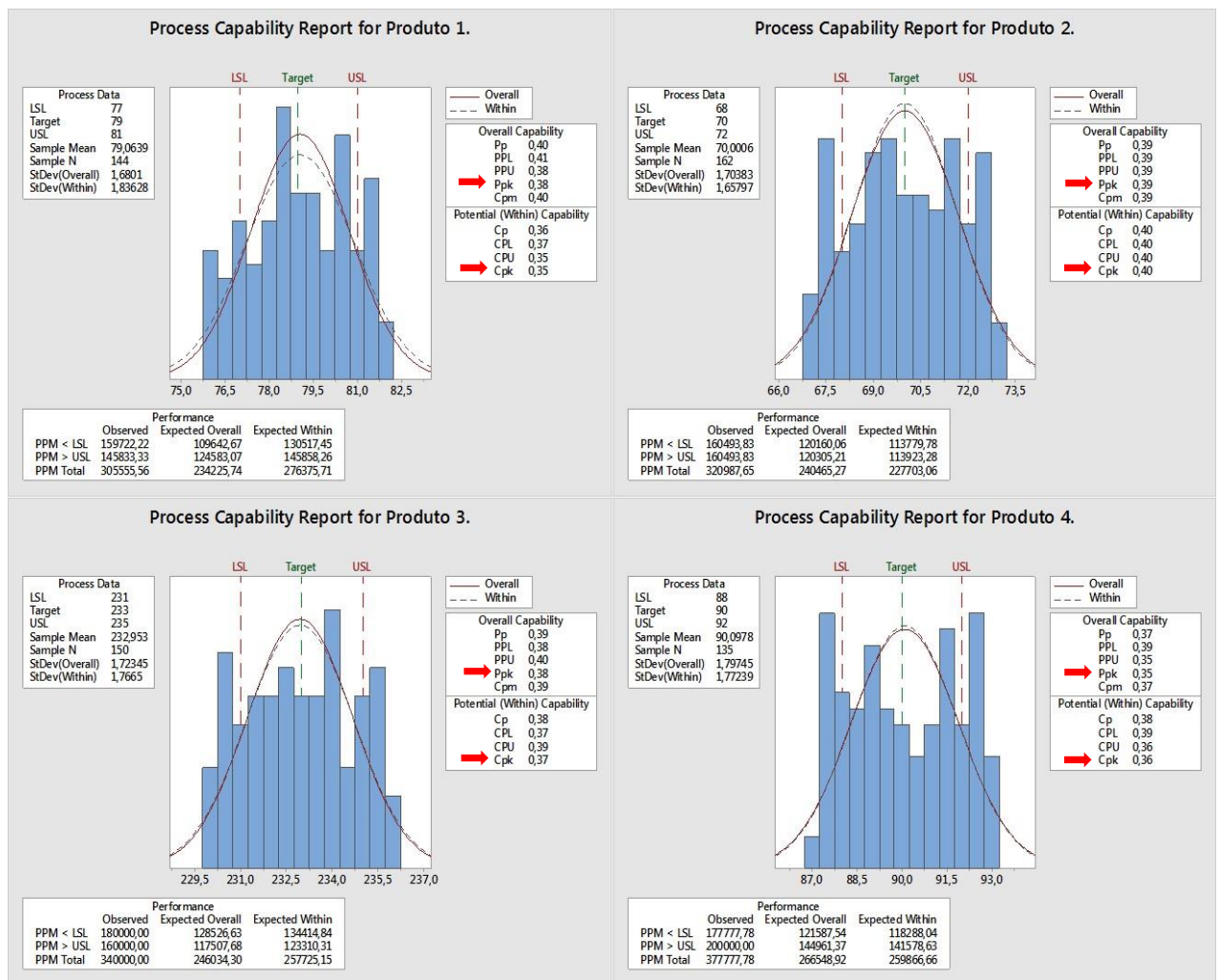
Quadro 5.2 - Especificações dos produtos.

Produto	Dimensional (mm)			Sistema de facas		Quantidade de leituras
	Mínimo	Nominal	Máximo	Número de cavidades	Número de amostras por cavidade	
1	77	79	81	16	3	144
2	68	70	72	18	3	162
3	231	233	235	5	10	150
4	88	90	92	15	3	135

Fonte: do autor.

Novamente, com o auxílio do Minitab, foi analisada a capacidade do processo para cada um dos produtos. A Figura 5.6 traz os resultados obtidos.

Figura 5.6 - Capacidade dos produtos antes do projeto.



Fonte: do autor.



Conforme pode ser observado, em todos os produtos estudados, tanto o Cpk, quanto o Ppk, apresentam valores bem inferiores a 1,00, o que classifica o processo como incapaz.

Seguindo o plano de ação, os sistemas de facas do equipamento foram enviados à uma empresa terceirizada que fez o processo de afiação nas lâminas para que o corte dos itens seja preciso. Além, disso a equipe de manutenção se encarregou de realizar a manutenção preventiva e a limpeza do equipamento.

Quando os sistemas de facas retornaram do processo de afiação, um especialista em sua montagem, instalação e regulagem na máquina veio até a empresa para realizar o treinamento dos operadores.

### Checar (C)

Após as atividades realizadas na etapa **D**, a equipe se empenhou em avaliar a eficiência, ou não, do que foi planejado e executado. Nessa etapa, a equipe utilizou os mesmos 4 produtos estudados anteriormente e coletou, ao longo do mês de junho, a mesma quantidade de amostras nos dois turnos, porém, dessa vez, a análise foi realizada separadamente para cada um deles.

O Quadro 5.3 traz a quantidade de amostras e leituras realizadas.

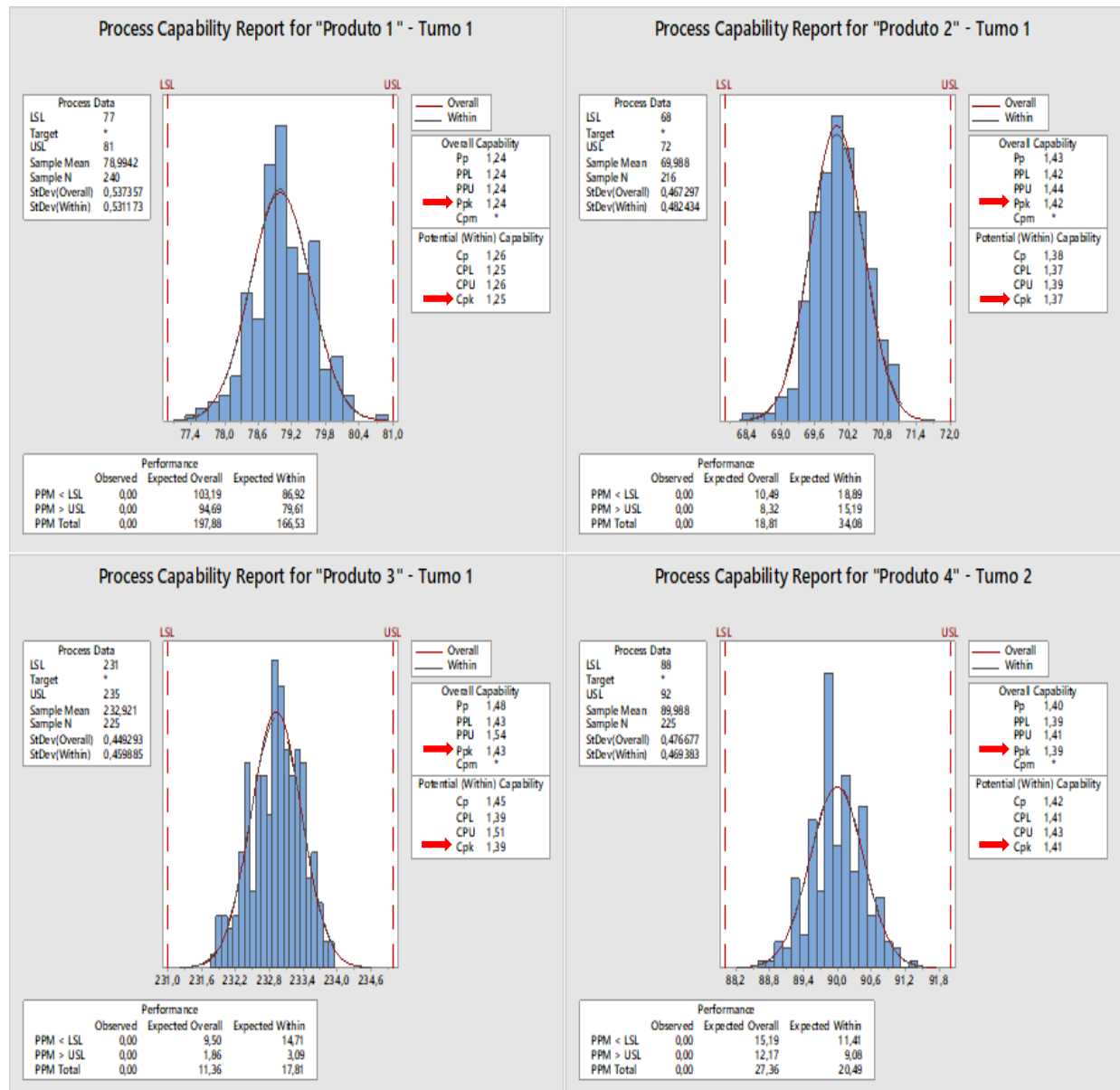
Quadro 5.3 - Quantidade de leituras em cada produto.

Produto	Dimensional (mm)			Sistema de facas		Quantidade de leituras	
	Mínimo	Nominal	Máximo	Número de cavidades	Número de amostras por cavidade	Turno 1	Turno 2
1	77	79	81	16	5	240	240
2	68	70	72	18	4	216	216
3	231	233	235	5	15	225	225
4	88	90	92	15	5	225	225

Fonte: do autor.

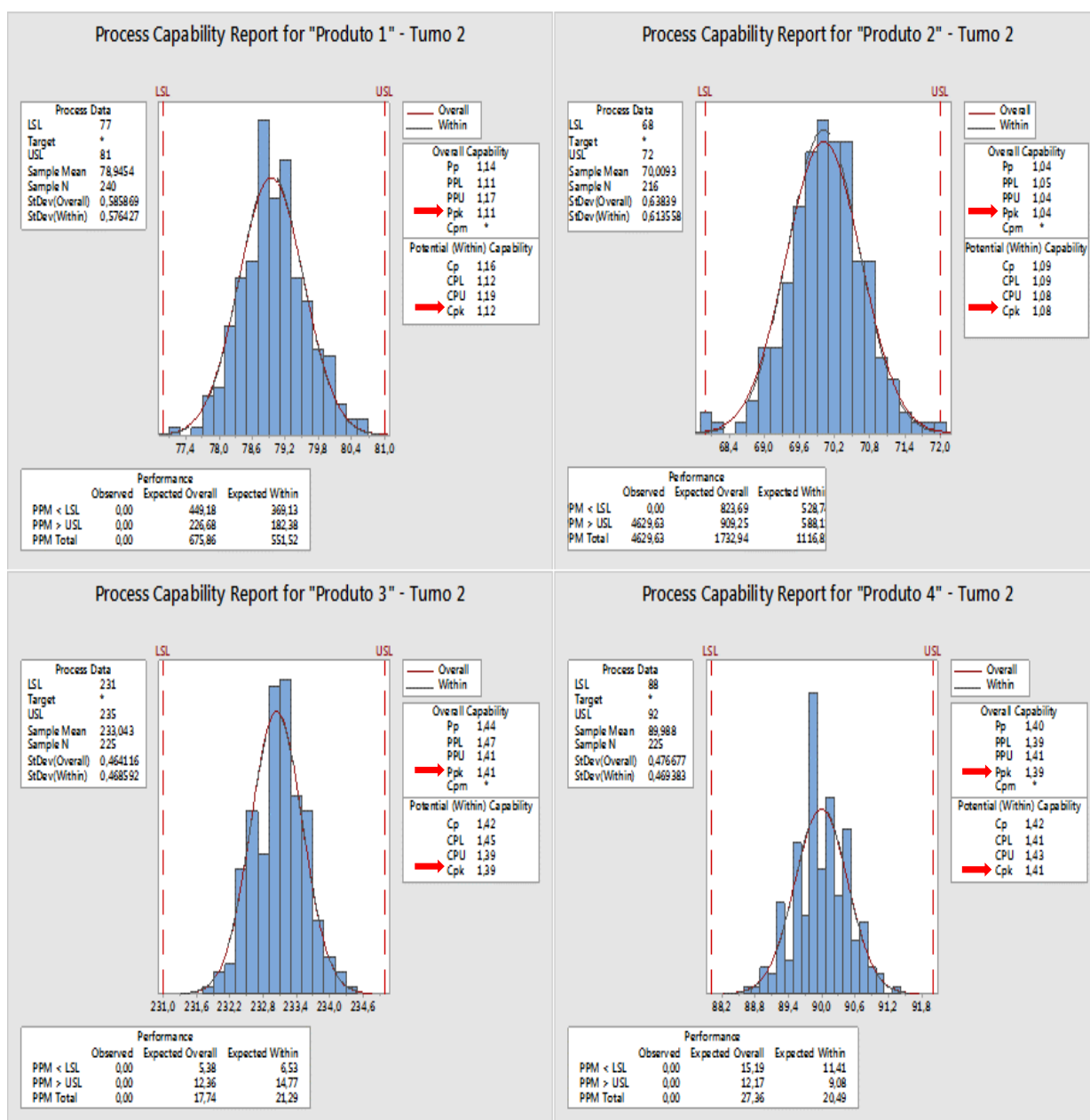
Após a coleta dos dados, foi realizado o estudo, novamente com o auxílio do Minitab, para a capacidade de cada um dos produtos em cada turno. As Figuras 5.7 e 5.8 trazem os resultados dos testes.

Figura 5.7 - Capacidade no primeiro turno.



Fonte: do autor.

Figura 5.8 - Capacidade no segundo turno.

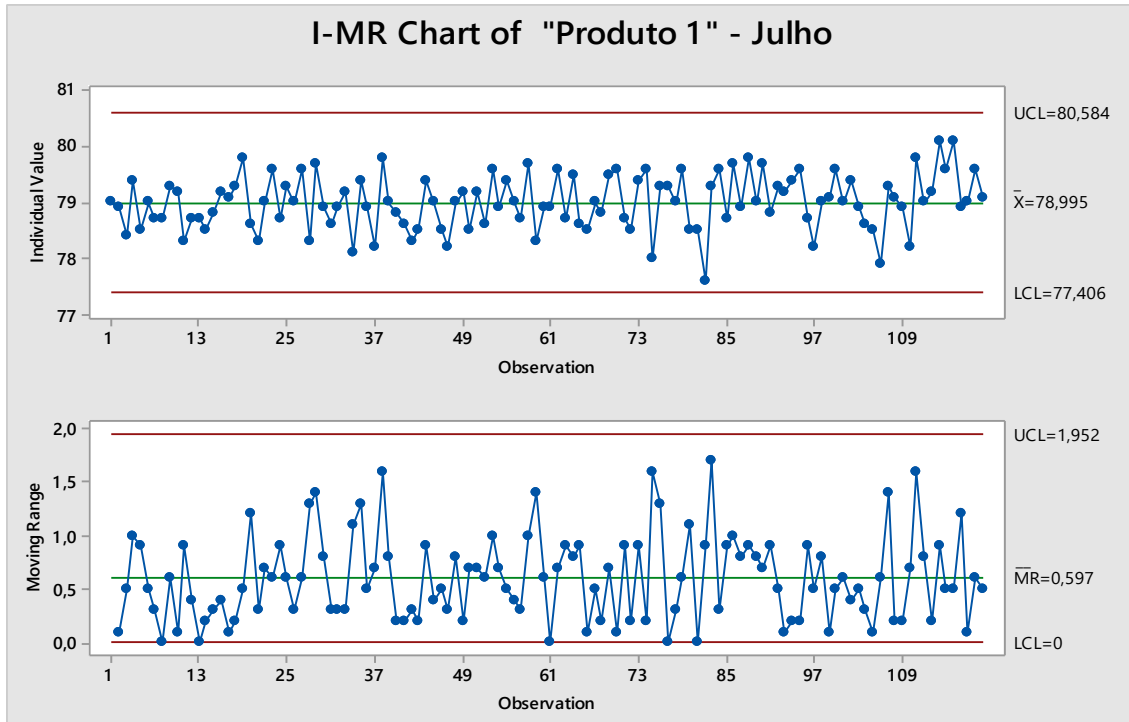


Fonte: do autor.

Conforme pode ser verificado, alguns valores de Cpk são inferiores ao valor de "1,33". Entretanto, as ações tomadas resultaram em um aumento expressivo na capacidade do processo – o que demonstra alta efetividade delas. Dessa maneira, a equipe decidiu coletar mais dados ao longo dos meses de julho e setembro para o monitoramento mensal da estabilidade de processo e da capacidade, como forma de garantir a efetividade das mudanças estabelecidas ao longo do tempo e a ausência de causas especiais interferindo no processo. Decidiu-se por utilizar o "Produto 1" para a realização dessas análises.

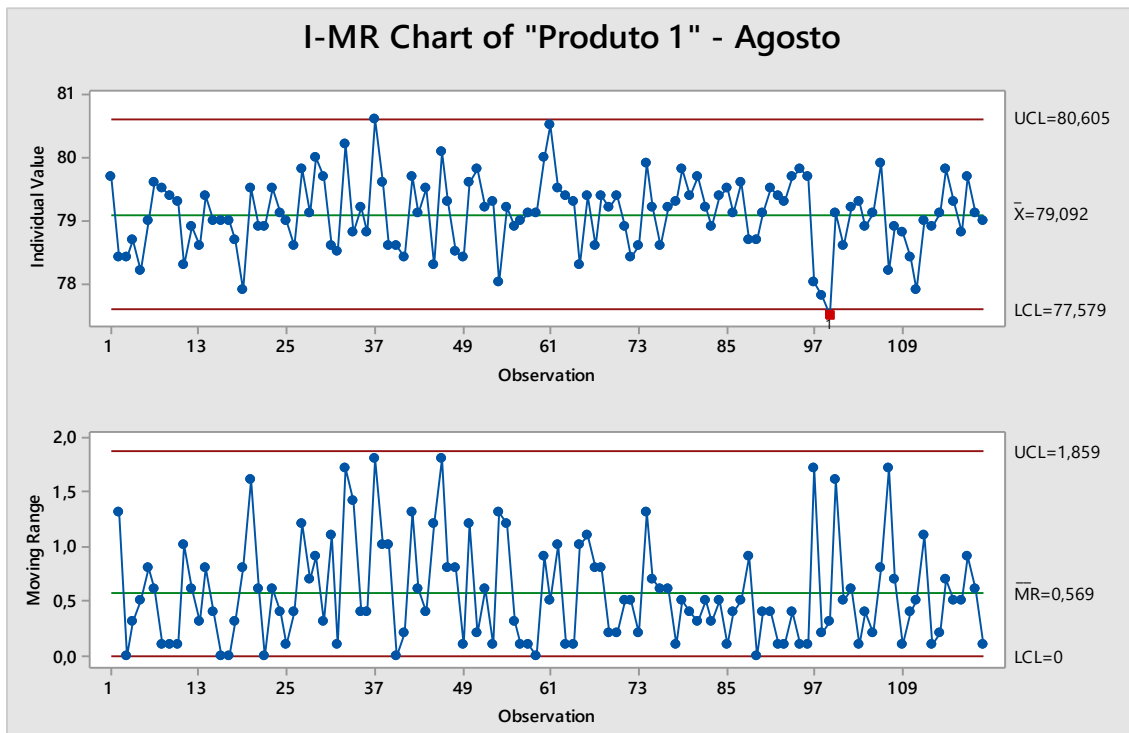
Foram realizadas 120 medições ao longo do mês de agosto e mais 120 ao longo do mês de setembro para análise da estabilidade do processo. A Figura 5.9 traz a carta CEP dos dados coletados em julho e a Figura 5.10, de setembro.

Figura 5.9 - Carta CEP do "Produto 1" em julho.



Fonte: do autor.

Figura 5.10 - Carta CEP "Produto 1" em agosto.

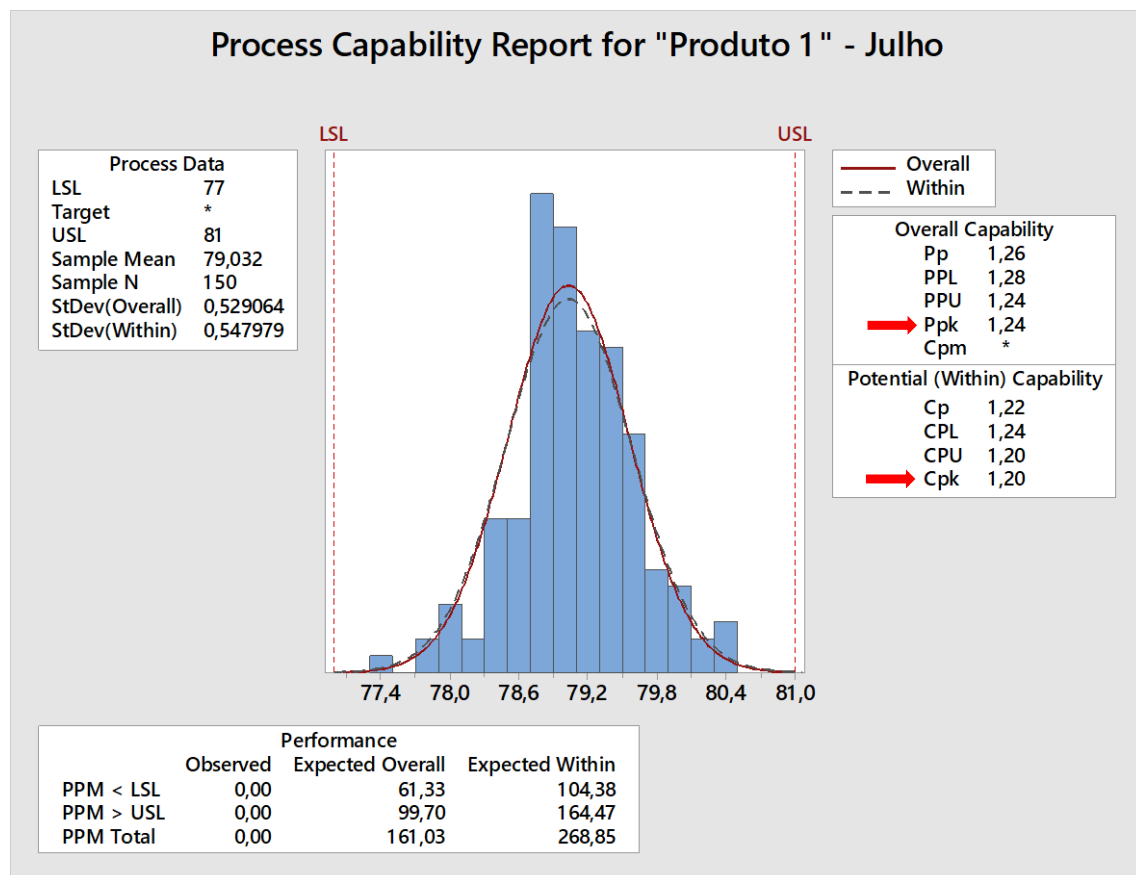


Fonte: do autor.

Conforme pode ser observado na Figura 5.10, no mês de agosto, foi encontrado um ponto fora dos limites de controle no gráfico referente aos valores. Esse ponto apresenta o valor de 77,5 e o limite inferior de controle está com o valor de 77,579. Porém, como o ponto está acima do valor do limite inferior de especificação de produto, o processo foi considerado como estável.

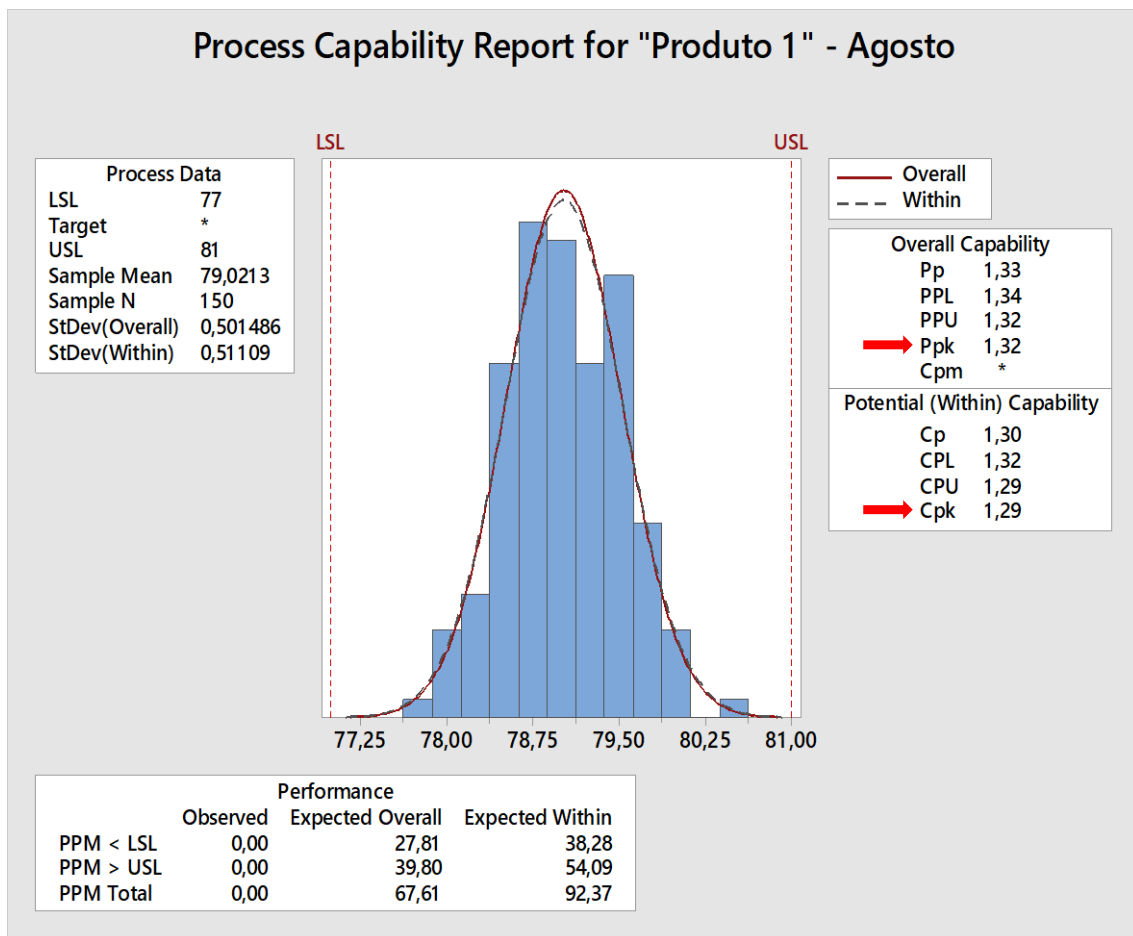
Além disso, a equipe coletou amostras para a realização da análise da capacidade. Foram obtidos 150 resultados no mês de julho e 150, no mês de agosto. As Figuras 5.11 e 5.12 trazem o estudo realizado.

Figura 5.11 - Capacidade do "Produto 1" em julho.



Fonte: do autor.

Figura 5.12 - Capacidade do "Produto 1" em agosto.



Fonte: do autor.

Pela análise das Figuras 5.11 e 5.12, o Cpk está bem próximo do valor necessário para o processo ser considerado capaz. Entretanto, o objetivo inicial do projeto, de elevar o processo, no mínimo, a classificação de razoavelmente capaz, foi atingido.

### Agir (A)

Nessa etapa do ciclo, busca-se a padronização das ações tomadas ao longo do projeto e ações corretivas no sentido de acertar algum problema que possa ter surgido. No projeto em questão, os resultados obtidos estão em consonância com o objetivo traçado na definição das metas – tornar o processo, no mínimo, razoavelmente capaz.

Dessa forma, a equipe se preocupou em padronizar as decisões tomadas para a resolução do problema. Além disso, novamente os operadores foram treinados e conscientizados sobre a importância da sua participação no projeto.

Outra atividade realizada, foi a criação de um documento padrão com o passo a passo para a troca e regulagem dos sistemas de faca – o intuito desse padrão é fazer com que uma pessoa externa ao processo seja capaz de efetuar a atividade de forma correta e sem grandes complicações.

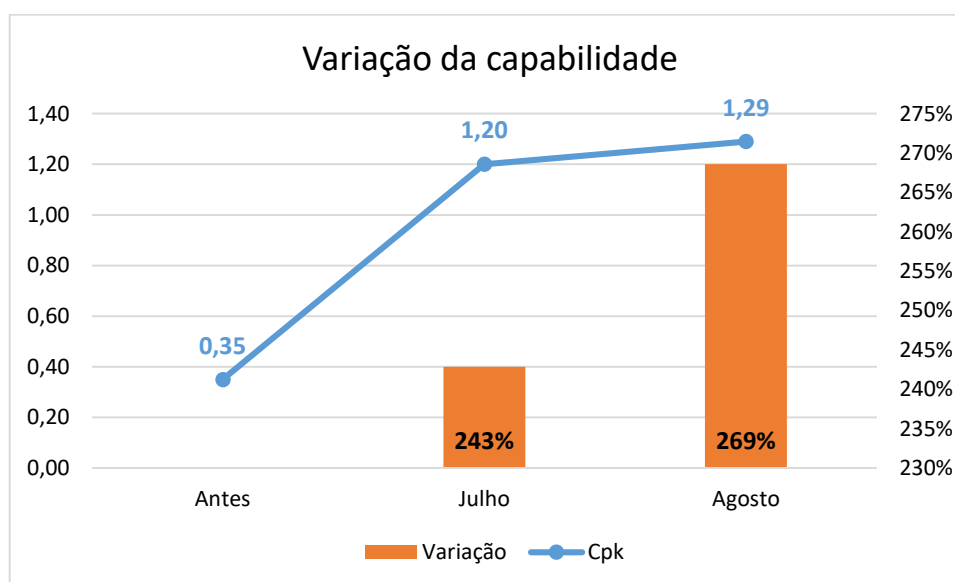
Ficou determinado que a afiação das facas deverá ser realizada ao menos uma vez no ano, os operadores deverão coletar, aproximadamente, 40 amostras por mês e medir a largura delas em três pontos distinto, resultando um total de 120 pontos e digitá-los em uma ficha de controle no computador. A análise mensal da capacidade do processo ficou sob responsabilidade do engenheiro e, caso haja diminuição, ele deverá providenciar as ações necessárias.

## 6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A aplicação do ciclo PDCA, em conjunto com algumas ferramentas da qualidade e de alguns conceitos de *Six Sigma*, mostrou-se eficiente e satisfatória na solução do problema de capacidade apresentado em um dos processos da empresa. As decisões tomadas pela equipe se mostraram bastante eficientes e conseguiram satisfazer a meta estabelecida na definição do projeto.

A Figura 6.1 traz uma comparação dos valores de capacidade do “Produto 1”, antes e depois do projeto, bem como o aumento percentual conseguido em relação ao valor da capacidade antes do projeto se iniciar.

Figura 6.1 - Variação de capacidade obtida.



Fonte: do autor.

Analisando o gráfico, fica nítida a melhora no valor do Cpk. Apesar dos dados coletados terem fornecido um Cpk inferior a 1,33, o aumento em seu valor, em relação ao valor encontrado antes do início do projeto, foi expressivo – 243% de aumento nos dados do mês de julho e 269%, dos dados do mês de agosto. Além disso, os valores de Cpk encontrados estão todos acima de 1,00, o que faz com que o processo seja classificado como razoavelmente capaz – que era o objetivo do projeto.



## 7 CONCLUSÃO

O presente trabalho traz uma evolução histórica do surgimento, desenvolvimento e mudanças de definições da qualidade. Através de definições de pensadores de diferentes épocas, foi mostrada como a preocupação e o entendimento do que é a qualidade se alteraram ao longo dos anos. Além disso, mostra-se a importância do controle da qualidade como forma conquistar o mercado – vide Japão no período que sucedeu a segunda guerra mundial.

A revisão bibliográfica trouxe a importância de se ter processos cada vez melhores e otimizados. Ou seja, as organizações devem sempre buscar a melhoria contínua de seus produtos e processos. Um dos assuntos abordados foi o Ciclo PDCA que é uma ferramenta muito útil para se conseguir a melhoria contínua. Além disso, traz a conceituação de algumas das chamadas Sete Ferramentas Básicas da Qualidade. São explicados, também, alguns conceitos do *Six Sigma* que é uma metodologia que tem como principal meta a redução da variabilidade do processo.

A seguir, foi descrita a empresa na qual o projeto seria aplicado e são dadas explicações a respeito do processo em si que seria estudado e alterado para que, ao final do projeto, seus indicadores de capacidade de processo estivessem em um nível determinado como mínimo para os padrões da organização.

Para a realização do trabalho a metodologia escolhida foi o Ciclo PDCA (*Plan, Do, Check e Act*), algumas das ferramentas da qualidade e de conceitos utilizados na metodologia *Six Sigma*. Através da utilização do Ciclo PDCA, é possível direcionar as ações a serem realizadas para que se consiga a melhoria contínua. A mentalidade da metodologia *Six Sigma* traz consigo a ideia de redução de variabilidade, de padronizações e de análise e controle da capacidade do processo em produzir itens considerados conformes em relação aos limites de especificação. As ferramentas da qualidade, associadas às etapas do PDCA, mostram-se bastante úteis por serem de fácil utilização, porém de grande eficiência – possibilitando entender melhor o processo, analisar potenciais fontes de causa de variabilidade e priorizar ações a serem tomadas.

Foi realizado um projeto visando a melhoria dos índices de capacidade de uma linha de produtos dessa empresa, através da aplicação do Ciclo PDCA.

As etapas do ciclo foram seguidas e, algumas das ferramentas da qualidade, foram aplicadas em determinadas etapas dele. Não foram utilizadas todas as ferramentas da qualidade, nem todos os conceitos do *Six Sigma*, porém os resultados obtidos foram bastante satisfatórios – o que revela a grande variedade de situações em que esses conceitos podem ser aplicados.

É importante ressaltar os resultados obtidos com a execução do projeto. A capacidade do processo aumentou de forma expressiva e o objetivo específico do projeto (tornar o processo, pelo menos, razoavelmente capaz) foi atingido.

A eficácia da manutenção das melhorias só pode ser garantida com a conscientização de todos os envolvidos sobre a real importância de todo esforço que foi empenhado ao longo do projeto e do real valor dos resultados obtidos. A organização possui uma cultura muito focada em gerar e manter melhorias. Por isso, o autor acredita que, caso haja necessidade de um novo projeto para aumento de capacidade do mesmo processo, será para garantir valores ainda maiores de  $C_{pk}$  e não para corrigi-los.

## 8 REFERÊNCIAS

BROCKA, B.; BROCKA, M. S. **Gerenciamento da qualidade**: implementando TQM, passo a passo, através dos processos e ferramentas recomendadas por Juran, Deming, Crosby e outros mestres. São Paulo: Makron Books, 1995. 238 p.

CAMPOS, V. F. **Controle da qualidade total (no estilo japonês)**. 6ª ed. Belo Horizonte. Fundação Christiano Ottoni, 1992.

\_\_\_\_\_. **Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Universidade Federal de Minas Gerais, 1994.

CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da qualidade**: conceitos e técnicas. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2016.

CARVALHO, M.M., et al. **Gestão da qualidade**: teoria e casos. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

CIVILIZAÇÃO ENGENHEIRA. **A aplicação do método PDCA para resolução de problemas**. Disponível em: <<https://civilizacaoengenheira.wordpress.com/2017/04/07/a-aplicacao-do-metodo-pdca-para-resolucao-de-problemas/>>. Acesso em: 08 jun. 2017.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e operações**: Manufatura e serviços, uma abordagem estratégica. 3 ed. São Paula: Atlas, 2012.

COSTA, A. F. B.; EPPRECHIT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle Estatístico de Qualidade**: Métodos Estatísticos. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2013.

DONADEL, Daniel C. **Aplicação da metodologia DMAIC para redução de refugo em uma indústria de embalagens**. São Paulo, 2008.

DUARTE, D. R. **Aplicação da metodologia seis sigma - modelo DMAIC - na operação de uma empresa do setor ferroviário**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2011. Disponível em <[http://www.ufjf.br/ep/files/2014/07/2011\\_3\\_Douglas.pdf](http://www.ufjf.br/ep/files/2014/07/2011_3_Douglas.pdf)> . Acesso em 06 jun. 2017.

EINSERHARDT, M. ***Building theory from case study research***. 1989. Academy of Management Review.

FERREIRA, D. M. **Validação de processos de uma máquina embaladora na indústria de dispositivos médicos**. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2008. Disponível em: <[http://www.ufjf.br/ep/files/2014/07/2008\\_3\\_Danilo.pdf](http://www.ufjf.br/ep/files/2014/07/2008_3_Danilo.pdf)>. Acesso em: 08 jun. 2017.

FONSECA, A. V. M.; MIYAKE, D. I. **Uma análise sobre o Ciclo PDCA como um método para solução de problemas da qualidade**. In. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 26., 2006, Fortaleza. Disponível em <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2006\\_TR470319\\_8411.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2006_TR470319_8411.pdf)>. Acesso em 06 jun. 2017.

GARVIN, D. A. **Gerenciando a qualidade**: a visão estratégica e competitiva. Tradução de João Ferreira Bezerra de Souza. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1992.

GONÇALVES, T. V. A. **Controle estatístico do processo de usinagem de peças automotivas**: um estudo de caso em uma empresa do centro oeste de Minas Gerais. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso, Centro Universitário de Formiga, Formiga, 2011. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.uniformg.edu.br:21015/jspui/bitstream/123456789/118/1/ThiagoVictorAraujoGon%C3%A7alves-EP.pdf>>. Acesso em: 07 jun. 2017.

MALIK, A. M. **Desenvolvimento de recursos humanos, gerência de qualidade e cultura das organizações de saúde**. Revista Administração de Empresas, FAESP/FGV, São Paulo, p.32-41. Setembro / Outubro 1992.

MARCONDES, J. S. **Diagrama de causa e efeito**. 2016. Disponível em: <<https://www.gestaodesegurancaprivada.com.br/diagrama-de-causa-e-efeito-espinha-de-peixe/>>. Acesso em: 12 jun. 2017.

PRADO FILHO, H. R. **Dicas de qualidade**: diagrama de Pareto, Ishikawa e 5W1H, 2009. Disponível em: <<https://qualidadeonline.wordpress.com/2009/11/04/dicas-de-qualidade-diagrama-de-pareto-ishikawa-e-5w1h/>>. Acesso em: 13 jun. 2017.

RIBEIRO, A.C.E. **Afinal, o que é qualidade?**, 2004. Disponível em <<http://www.mbc.org.br/mbc/uploads/biblioteca/1164635822.4657A.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2017.

SABINO, G. **O que são os 6M no diagrama de causa e efeito?**. 2015. Disponível em: <<http://www.radardeprojetos.com.br/2015/10/o-que-sao-os-6m-no-diagrama-de-causa-e.html>>. Acesso em: 12 jun. 2017.

SILVA, A. Q. **Identificação do estágio da gestão da qualidade no setor madeireiro**. 2007. Mestrado em Engenharia de Produção – *campus* Ponta Grossa, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2007. Disponível em: <<http://www.pg.utfpr.edu.br/dirppg/ppgep/dissertacoes/arquivos/60/Dissertacao.pdf>>. Acesso em: 25 mai. 2017.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração da dissertação**. 2005. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância. Disponível em: [http://tccbiblio.paginas.ufsc.br/files/2010/09/024\\_Metodologia\\_de\\_pesquisa\\_e\\_elaboracao\\_de\\_teses\\_e\\_dissertacoes1.pdf](http://tccbiblio.paginas.ufsc.br/files/2010/09/024_Metodologia_de_pesquisa_e_elaboracao_de_teses_e_dissertacoes1.pdf). Acesso em: 01 dez. 2017.

SILVEIRA, C. B. **Diagrama de Ishikawa, causa e efeito ou espinha de peixe**. 2016. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/diagrama-de-causa-e-efeito-ishikawa-espinha-peixe/>>. Acesso em: 12 jun. 2017.

TRIVELLATO, A. A. **Aplicação das sete ferramentas básicas da qualidade no Ciclo PDCA para melhoria contínua: Estudo de caso numa empresa de autopeças**, 2010. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

WERKEMA, C. C. **As ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1995.

\_\_\_\_\_. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Werkema Editor Ltda, 2006.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2001. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.