

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA: MELHORIA CONTÍNUA NA MANUFATURA DE BLOCOS DE METAL

Miguel da Costa Abreu

Graduando de Engenharia de Produção - UNIFACP, Certificado Green Belt – UNICAMP, Técnico em Logística - ETEC Jaraguá

Saulo Neres de Souza

Graduando de Engenharia de Produção – UNIFACP, Técnico Papel e Celulose - PRONATEC

José Vicente Zarneta Pinto

Docente de Engenharia de Produção – UNIFACP, Engenheiro Eletricista – UNISAL, MBA Gestão Estratégica de Negócios, Administração, Negócios e Marketing – UNISAL

RESUMO

O tema do presente trabalho foca na importância e necessidade da melhoria contínua no cenário atual das organizações e seu impacto positivo através da aplicação da metodologia seis sigma. A metodologia foi aplicada em um processo de manufatura de blocos de metal buscando estabilizar a produção, evitar desperdícios, melhorar a qualidade e atingir as especificações do cliente para manter a competitividade da empresa, utilizando como *roadmap* o ciclo DMAIC.

Palavras Chave: Seis Sigma, melhoria contínua, DMAIC.

1 – INTRODUÇÃO

A melhoria contínua de processos, produtos e serviços é uma necessidade permanente de qualquer organização, independentemente de sua área de atuação, seja ela de manufatura, serviços, saúde, educação ou governo. Todos precisam de métodos e técnicas que possam ser aplicadas no cotidiano produzindo impactos positivos, relevantes e duradouros no desempenho da organização.

Para o sucesso de qualquer esforço de melhoria, é fundamental entender que melhoria requer mudança, porém, nem toda mudança resulta em melhoria. É importante ressaltar que a melhoria contínua vai além dos métodos e técnicas aplicáveis, mas sim uma mudança na cultura organizacional da empresa, suas estratégias, modos de operação e integração do todo, conseguindo atender cada vez melhor as necessidades dos clientes.

Existem dois tipos de conhecimentos necessários para a melhoria, o conhecimento específico do assunto, que diz sobre o sistema em estudo e o conhecimento da ciência da melhoria que descreve as interações das teorias de sistemas, variação, conhecimento e psicologia. Ambos conhecimentos combinados da maneira correta e criativa, resulta em melhoria.

O presente artigo tem como finalidade apresentar a importância da melhoria contínua através de um estudo de caso em um processo de manufatura de blocos de metal

utilizando a metodologia seis sigma, com objetivo de entregar ao cliente final o produto com qualidade, atendendo todas as características, demandas e exigências. Portanto assim, unindo o conhecimento específico e da ciência da melhoria, analisando o produto e o processo para atingir uma ação positiva, duradoura, relevante e planejada.

2 – Referencial Teórico

2.1 – metodologia seis sigma

Segundo Pande et al. (2001), o Seis Sigma é um método compreensível e flexível para alcance, manutenção e maximização do sucesso nos negócios ao compreender as necessidades dos clientes, efetuar análises baseadas em fatos e dados e direcionar atenção à gestão, melhoria e reinvenção de processos. Essa metodologia é uma nova abordagem para pensar o negócio, valorizar o cliente e planejar o futuro, não é uma tendência temporária, vai além de uma simples medição quantitativa dos processos.

Para Rotondaro (2002), a expressão Sigma mede a capacidade do processo de operar sem falhas. O nível Seis Sigma, caracterizado pela contenção da variabilidade a uma taxa de apenas 3,4 defeitos por milhão de oportunidades, ou 99,99966% de conformidade, define um alto padrão de qualidade. Esse método é singular e altamente eficaz devido à sua estruturação e foco na redução da variabilidade do processo.

2.2 – Ciclo PDCA

Conforme Deming (1990), o método de controle PDCA é composto por quatro fases que garantem o desempenho esperado de um processo. As etapas são:

Planejamento (*Plan*): define o objetivo a ser alcançado e desenvolve o plano necessário para atingir essa meta.

Execução (*Do*): coloca o plano em prática, assegurando que todos os envolvidos compreendam e estejam alinhados com as ações definidas.

Verificação (*Check*): durante e após a execução, monitora os resultados e compara com o objetivo inicial para identificar desvios e ajustar o curso, se necessário.

Ação (*Action*): implementar as soluções que funcionaram de forma eficiente como padrão para as operações futuras.

Shiba (1997) reforça que o PDCA é uma ferramenta eficaz para a resolução sistemática de problemas, sendo repetido ciclicamente para promover a melhoria contínua de processos.

2.3 – Controle estatístico de processo (CEP)

O Controle Estatístico de Processo segundo Peinado e Graeml (2007) é uma abordagem preventiva que utiliza dados estatísticos para identificar tendências e variações significativas em um processo. O método envolve a comparação contínua dos resultados do processo com os padrões estabelecidos, visando controlar, reduzir e eliminar variações antes que elas resultem em problemas fora dos limites de qualidade aceitáveis (causas comuns e especiais). Em vez de focar diretamente na resolução de problemas, o CEP se concentra em detectá-los e avaliar sua extensão, facilitando a busca por soluções mais eficazes. Pode se utilizar diferentes gráficos dependendo do objetivo de estudo e tipo do dado, na área da qualidade, os dados são classificados principalmente como contínuo, contagem ou classificatório, existem também diversos tipos de gráficos de controle, sendo os mais comuns o X-Barra, R (amplitude), S (desvio padrão), P (proporção de defeitos), NP (número de defeitos) e U (defeitos por unidade).

2.4 – voice of the customer (VOC)

VOC (*Voice of the Customer*), ou Voz do Cliente, é um conceito essencial em gestão da qualidade e desenvolvimento de produtos que visa entender as necessidades, expectativas, desejos e percepções dos clientes sobre um produto ou serviço. Slack et al. (2018) destacam que, no contexto empresarial, os clientes são fundamentais para o crescimento e a evolução das empresas. Observa ainda que os clientes compram conceitos, ou seja, ao fazer uma compra, eles estão adquirindo um conjunto de benefícios que atendem às suas necessidades e expectativas. Esses requisitos dos clientes são utilizados como base para definir as especificações de um produto ou serviço.

2.5 – CRITICAL TO QUALITY (CTQ)

As CTQs (*Critical to Quality*), ou Crítico para Qualidade, são atributos críticos que determinam a qualidade de um produto ou serviço, conforme percebido pelo cliente. Esses parâmetros são fundamentais para assegurar que as expectativas em termos de desempenho, confiabilidade e outros aspectos importantes sejam atendidas.

De acordo com Filho et al. (2019), no contexto dos projetos Seis Sigma, é crucial identificar o que é crítico para a qualidade para garantir a alocação eficiente dos recursos. Após a identificação dessas características, a empresa deve promover projetos Seis Sigma focados em atingir um desempenho de classe mundial nas CTQs, reduzindo consistentemente a variabilidade dos processos relacionados.

2.6 – Gráfico de gantt

O Gráfico de Gantt de acordo com Mattos (2010) enfatiza diversos benefícios, como sua apresentação simplificada e de fácil interpretação, que agiliza o entendimento geral. O gráfico também se destaca por oferecer uma base sólida para a alocação eficiente de recursos, permitir a visualização clara das folgas no cronograma e auxiliar na elaboração do cronograma físico-financeiro. Além disso, é uma ferramenta robusta para o controle e gestão eficaz de projetos.

2.7 – gráfico de pareto

Segundo Filho (2019), o Gráfico de Pareto é composto por barras que apresentam as informações de forma a tornar evidente a priorização de temas. Esse gráfico facilita a visualização das ocorrências, permitindo que os problemas sejam organizados em uma ordem que favoreça uma resolução mais eficiente e rápida.

Vergueiro (2002) acrescenta que Pareto observou uma distribuição desigual de riqueza na sociedade, análise que ele realizou no século XIX. Ele identificou que 80% da riqueza estava concentrada nas mãos de apenas 20% da população. Posteriormente, essa ideia foi aplicada na indústria, onde foi constatado um padrão semelhante: uma pequena parcela de causas (geralmente 20%) é responsável pela maior parte dos problemas (80%). A partir dessa observação, a metodologia passou a ser amplamente utilizada em diversas áreas da administração, ajudando a identificar os problemas prioritários.

2.8 – histograma

O histograma é uma ferramenta de análise de dados quantitativos, que os agrupa em classes de frequência, permitindo identificar aspectos como a forma, o ponto central e a variação da distribuição. Além disso, o histograma revela informações importantes

sobre a amplitude e a simetria dos dados, evidenciando o grau de variação existente em um processo. Vieira (1999) destaca que o histograma proporciona uma visão rápida e objetiva de grandes volumes de dados, facilitando a análise em comparação com tabelas extensas de distribuição de frequências.

Oliveira Chamon (2008) afirma que a interpretação do histograma considera a forma da distribuição e a sua relação com as especificações. Essa relação permite determinar se um produto está fora dos padrões, se atende às especificações e como a média dos dados está posicionada em relação aos limites estabelecidos. Com essa análise, é possível avaliar se o processo está dentro dos padrões, identificar a necessidade de melhorias, verificar a capacidade de atender às especificações e determinar se as causas de não conformidade estão ligadas à média ou à dispersão dos dados.

2.9 – gráfico Q-Q (quantil-quantil)

Um gráfico Q-Q (quantil-quantil), comumente denominado gráfico de probabilidade, é uma ferramenta estatística projetada para comparar a distribuição de um conjunto de dados com uma distribuição teórica específica, seu objetivo principal é avaliar se os dados se conformam a uma distribuição presumida (HOAGLIN; MOSTELLER; TUKEY, 2000).

2.10 – DMAIC

A ferramenta DMAIC é uma metodologia estruturada que expande o conceito do ciclo PDCA. Cada etapa, identificada pelas iniciais correspondentes, segue uma sequência cronológica definida, conforme descrito por Werkema (2012): *Define* (Definir), *Measure* (Medir), *Analyze* (Analisar), *Improve* (Melhorar) e *Control* (Controlar).

O DMAIC, como parte do sistema Seis Sigma de qualidade, é projetado para otimizar processos, conforme Carpinetti (2017), por meio da identificação e definição das causas raízes dos desvios, resultando em oportunidades de melhoria baseadas na análise de dados coletados.

A fase inicial da metodologia DMAIC (Definir) é dedicada à definição do projeto, estabelecendo claramente o que será aprimorado ou eliminado no processo em questão (ROTONDARO, 2002). Nesta etapa, é fundamental identificar os clientes/consumidores e suas respectivas necessidades e expectativas relacionadas ao projeto em desenvolvimento. Essas demandas são capturadas pela voz do cliente (VOC), que é obtida por meio de reclamações, pesquisas e outros métodos de coleta de feedback. Os requisitos de qualidade, por sua vez, são estabelecidos pelas características críticas para a qualidade (CTQ) (WERKEMA, 2012).

A segunda etapa (Medir), conforme descrito por Carpinetti (2017), visa coletar dados que auxiliarão na investigação das características do problema, fornecendo informações essenciais para a análise das causas subjacentes. Ele ressalta que, embora a coleta de dados tenha começado na etapa anterior, ela será aprofundada nesta fase.

A terceira etapa (Analisar), de acordo com Carpinetti (2017), envolve a revisão e análise detalhada de todos os dados coletados na etapa anterior. O objetivo é identificar e interpretar as causas raízes dos problemas identificados.

A quarta etapa (Melhorar), é dedicada a implementação das melhorias, Werkema (2012) explica que nesta etapa são geradas as soluções para as causas fundamentais identificadas anteriormente. Portanto, o plano de ação é desenvolvido com base nos dados coletados nas fases anteriores, documentando as ações necessárias para alcançar a meta estabelecida do projeto.

A quinta etapa (Controlar), Segundo Carpinetti (2017), é crucial para assegurar que as melhorias implementadas sejam preservadas e não sejam negligenciadas na organização.

2.11 – SIPOC

De acordo com Pande et al. (2001), SIPOC é um acrônimo de *Suppliers* (fornecedores), que são entidades ou indivíduos que fornecem os insumos necessários ao processo, *Input* (entradas) são os recursos, materiais ou informações que são utilizados pelo processo, *Process* (processo) é o conjunto organizado de atividades que convertem as entradas fornecidas em saídas, *Output* (saídas) são os produtos, serviços ou dados gerados pelo processo e entregues aos clientes e *Clients* (clientes) são os destinatários finais das saídas, podendo ser indivíduos, grupos ou processos subsequentes. Esse diagrama se concentra nas atividades principais do processo, sem detalhar decisões ou retrabalhos, que são abordados em uma análise mais aprofundada na fase de análise.

2.12 – MINITAB

O Minitab é um software estatístico robusto, amplamente empregado em análises de dados e melhoria de processos, com aplicação nas áreas de qualidade e manufatura. Ele integra métodos estatísticos e ferramentas como análise gráfica, testes de hipóteses, análise de variância (ANOVA), regressão, controle estatístico de processos (CEP) e design de experimentos (DOE). Essa combinação torna o Minitab especialmente útil em projetos de qualidade, como aqueles baseados nas metodologias Seis Sigma, e o coloca como uma ferramenta essencial para monitorar e otimizar processos industriais (MINITAB, 2024).

A interface do Minitab, projetada para ser intuitiva, facilita o uso por profissionais com diferentes níveis de conhecimento estatístico, permitindo que mesmo iniciantes extraiam insights acionáveis e criem relatórios detalhados. É amplamente utilizado em setores de engenharia, produção, saúde, finanças e pesquisa para identificar variáveis-chave que influenciam a qualidade e o desempenho, apoiando a tomada de decisões baseadas em dados (MINITAB, 2024).

2.13 – Measurement System Analysis (MSA)

Harry et al. (2006) descrevem a Análise do Sistema de Medição (*Measurement System Analysis - MSA*) como um conjunto de ferramentas e metodologias destinadas a avaliar a qualidade e a confiabilidade dos sistemas de medição empregados nos processos industriais. Dentre os estudos que compõem o MSA, destaca-se a análise de R&R (*Repeatability and Reproducibility*), que investiga a consistência das medições realizadas, assegurando que tanto a repetitividade quanto a reprodutibilidade dos resultados sejam adequadamente entendidas. Uma das métricas importantes em estudos R&R é o número de categorias distintas, que indica a capacidade do sistema de medição de distinguir variações na característica medida. Em geral, considera-se que sistemas de medição que identificam cinco ou mais categorias apresentam uma capacidade de distinção aceitável.

2.14 – Capabilidade

Segundo Montgomery (2012), a capacidade de processo representa a capacidade de um processo produzir resultados dentro das especificações estabelecidas, de forma consistente e repetitiva. Esse conceito é quantificado através de índices como C_p e C_{pk} ,

que avaliam se a variabilidade do processo está adequadamente controlada e se os resultados se mantêm dentro dos limites de especificação.

Montgomery (2012), afirma que um processo é considerado "capaz" quando os valores de C_p e C_{pk} são iguais ou superiores a 1,33, o que indica que o processo não apenas opera dentro das especificações, mas também apresenta uma variabilidade controlada, garantindo desempenho consistente ao longo do tempo. Esses conceitos são essenciais para a melhoria contínua e para o Controle Estatístico de Processos (CEP), que visa manter e aprimorar a qualidade nos sistemas de produção.

2.15 – Capacidade do processo (CP)

O C_p (Capacidade de Processo) quantifica o potencial de um processo em operar dentro dos limites de especificação, avaliando a relação entre a variabilidade do processo e os limites de tolerância definidos no projeto. No entanto, ele não considera se o processo está centrado na média. De acordo com Oliveira et al. (2011), o índice C_p assume que o processo está centralizado no valor nominal das especificações e compara a variabilidade permitida com a variabilidade natural do processo. Quanto maior o C_p , maior a capacidade do processo de atender às especificações, desde que a média esteja devidamente ajustada ao alvo. No entanto, é fundamental lembrar que o C_p não considera a localização da média do processo, focando apenas na relação entre os limites de especificação e a variabilidade. Como resultado, um mesmo valor de C_p pode levar a diferentes percentuais de itens fora das especificações, dependendo de onde a média do processo está posicionada. Portanto, o C_p é uma estimativa do potencial do processo de produzir dentro dos limites projetados, mas não garante que isso esteja ocorrendo na prática.

2.16 – Índice de capacidade do processo (CPK)

O C_{pk} (Índice de Capacidade de Processo) aprimora a análise realizada pelo C_p , ao levar em consideração o alinhamento do processo com os limites de especificação. Ele avalia não apenas a capacidade do processo, mas também se a média está bem ajustada em relação ao valor nominal das especificações. Como na prática os processos frequentemente não estão centralizados, o uso exclusivo do C_p pode resultar em conclusões equivocadas. Se o processo estiver perfeitamente centrado no valor nominal, os valores de C_p e C_{pk} serão iguais. No entanto, quando o C_{pk} é menor que o C_p , isso indica que o processo está descentrado, ou seja, a média não coincide com o valor nominal das especificações. A interpretação do índice C_{pk} segue os mesmos princípios usados para o C_p , já que ambos são usados em conjunto para avaliar a capacidade do processo (Oliveira et al., 2011).

2.17 – Design of experiments (DOE)

Segundo Montgomery (2012), *Design of Experiments* (DOE) ou Planejamento de Experimentos é uma metodologia científica e estatística que permite explorar e entender como diferentes variáveis de entrada (ou fatores) afetam um processo, produto ou sistema. Em suas palavras, o DOE é uma abordagem estruturada para projetar e conduzir experimentos de modo a extrair o máximo de informações relevantes com o menor número possível de testes.

2.18 – 5W2H

O 5W2H é uma ferramenta de gestão desenvolvida para solucionar problemas nos processos metodológicos das empresas. Conforme Lucinda (2016), ele atua como um checklist que lista atividades claras e bem definidas a serem executadas em um projeto. A ferramenta organiza as tarefas diárias, auxiliando no planejamento e na distribuição de responsabilidades, além de definir os itens de um plano de ação e estabelecer prazos para sua conclusão, também esclarece que o nome 5W2H é derivado das iniciais de sete perguntas em inglês, que servem para aprofundar todas as dúvidas sobre o que precisa ser feito. Dessa forma, a ferramenta identifica quem é responsável, o que deve ser realizado, o tempo disponível, o custo envolvido, o motivo da ação e o prazo para sua execução, sendo elas:

What? (O que será feito?) - Definir claramente a ação a ser realizada, essencial para o sucesso.

Why? (Por que será feito?) - Comunicar o motivo da ação, motivando a equipe e justificando esforços.

Where? (Onde será feito?) - Determinar o local de implementação, facilitando logística e recursos.

When? (Quando será feito?) - Estabelecer prazos realistas para execução eficiente.

Who? (Quem fará?) - Identificar responsáveis, garantindo clareza e cobrança de resultados.

How? (Como será feito?) - Descrever o método, evitando erros e padronizando ações.

How much? (Quanto vai custar?) - Estimar custos, assegurando a viabilidade financeira do projeto.

2.19 – Procedimento operacional padrão (POP)

O Procedimento Operacional Padrão (POP) é uma ferramenta de qualidade amplamente adotada para aprimorar o desempenho dos envolvidos no processo. Ele oferece uma sequência detalhada das atividades, assegurando a padronização e o alcance dos resultados desejados. Segundo Falconi (2014), a padronização é fundamental para o cotidiano dos colaboradores, permitindo que o planejamento e a rotina de trabalho sejam organizados com base nas tarefas prioritárias, o que contribui para o cumprimento de metas e a obtenção de resultados.

3 – METODOLOGIA

Este artigo utilizou a abordagem como sendo combinada, ou seja, a junção das abordagens quantitativa e qualitativa, sendo que “a pesquisa qualitativa proporciona uma melhor visão e compreensão do contexto do problema, enquanto a pesquisa quantitativa procura quantificar os dados e aplicar alguma forma da análise estatística” (MALHOTRA, 2001, p.155).

Sobre o método, pode ser caracterizado como um estudo de caso que de acordo com Yin “é uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos” (YIN, 2001, p.32).

De acordo com Severino (2013), a investigação experimental implica o objeto em sua totalidade, submetendo-o a condições técnicas de manipulação e observação. O pesquisador determina variáveis a serem analisadas e estuda suas relações funcionais, utilizando como controle métodos e ferramentas.

Segundo Barros e Lehfeld (2007), quanto aos objetivos, pode ser classificado como descritivo, por permitir a análise e a interpretação dos fatos do mundo físico.

Para realização do estudo foi utilizado como *roadmap* o ciclo DMAIC, seguindo suas etapas. A coleta de dados foi realizada a partir de amostras diretamente da produção, já para a análise de dados foi utilizado o software Minitab e diversas ferramentas para analisar as CTQs definidas. Sendo o Minitab uma poderosa ferramenta de análise de dados amplamente utilizada em estatísticas e controle de qualidade, foi evidenciado através de gráficos e tabelas os estudos realizados. Portanto assim, foi possível um melhor aprofundamento no processo e suas variáveis, contribuindo diretamente para a melhoria.

4 – RESULTADOS

O estudo de caso foi realizado em uma empresa de manufatura de blocos de metal que estava com alto índice de reclamações dos clientes em relação as suas especificações e uma baixa produção, apresentando diversas consequências para o negócio e para o cliente.

Para realizar o projeto, foi necessário métodos de melhoria, ou seja, uma sequência estruturada de etapas em conjunto com ferramentas.

4.1 – Aplicação DMAIC

4.1.1 – DEFINE

Nesta etapa foi definido o escopo e meta do projeto, esclarecendo o foco e indicadores analisados. Como primeiro passo, no contrato de melhoria é comunicado para todas as partes interessadas o objetivo do projeto, sendo alcançar no produto as CTQ's esperadas pelo cliente e estabilizar a produção, estabelecendo suas restrições de máquinas, equipe e investimento conforme especificados na figura 1.

Figura 1 – Contrato de Melhoria

Descrição do problema	Consequência do problema
Qualidade: Alto índice de reclamação dos clientes. Produção: Baixa produção.	Para o negócio: prejuízo elevado (alto refugo/retrabalho). Para o cliente: baixa qualidade e produto defeituoso (não atende a VOC). Longo prazo: a empresa não se consolidará podendo ocasionar a falência.
Indicadores esperados	Restrições
Rugosidade: < 250. Comprimento: 4,00cm (+/- 0,03). Riscos: 0. Rebarba: 0. Produção: 400 blocos/dia.	Fronteira: apenas na máquina 01. Mudança: sem mudança na equipe. Recursos: sem verba. Indicadores: produção < 0.
Resultados esperados	Equipe de melhoria
O que: atingir as especificações (VOC), em acordo que as peças com rugosidade acima da especificação não serão devolvidas, mas o cliente estabeleceu um prazo para que os problemas sejam definitivamente corrigidos. Quanto: atingir a produção total com alta qualidade. Quando: dezembro 2023.	Cliente: fábrica de manufatura de blocos de metal. Líder: patrocinador do projeto. Equipe: time de melhoria. Membros: colaborador.

Fonte : Autores (2024)

O cronograma definido para realização do projeto de melhoria utilizou como base de suas etapas o ciclo DMAIC, destacado através do gráfico na figura 2.

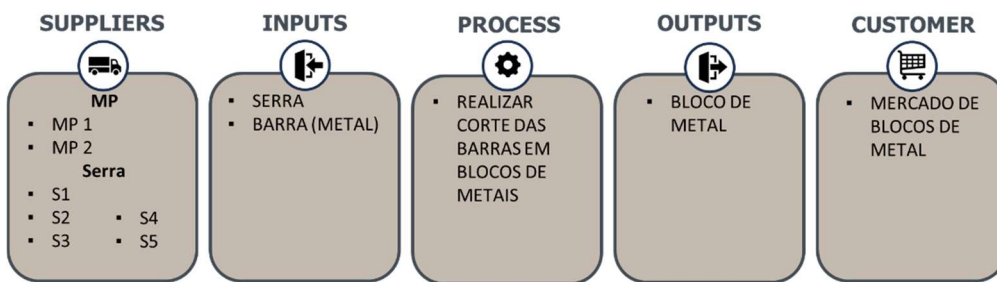
Figura 2 - Cronograma



Fonte : Autores (2024)

Para obter uma visão macro e um aprofundamento do processo foi realizado o SIPOC atual conforme a figura 3, podendo observar os elementos relevantes do processo.

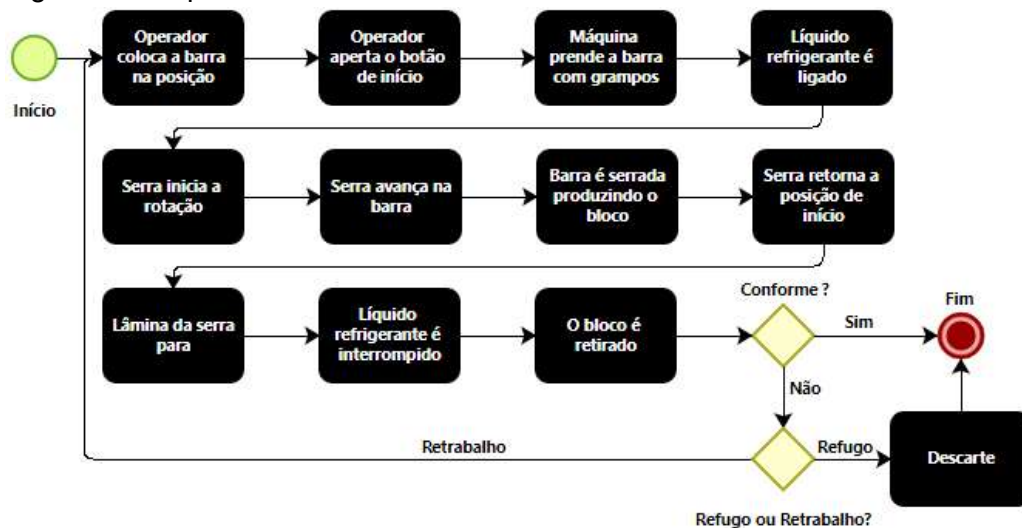
Figura 3 – SIPOC



Fonte : Autores (2024)

Também foi realizado o mapeamento do processo através do fluxograma na figura 4, que fica explícito o fluxo caso o bloco esteja não conforme, podendo ser classificado como refugo (< 3,97cm) e ser destinado ao descarte ou ser classificado como retrabalho (> 4,03cm) e voltar para o início do processo, aumentando o custo.

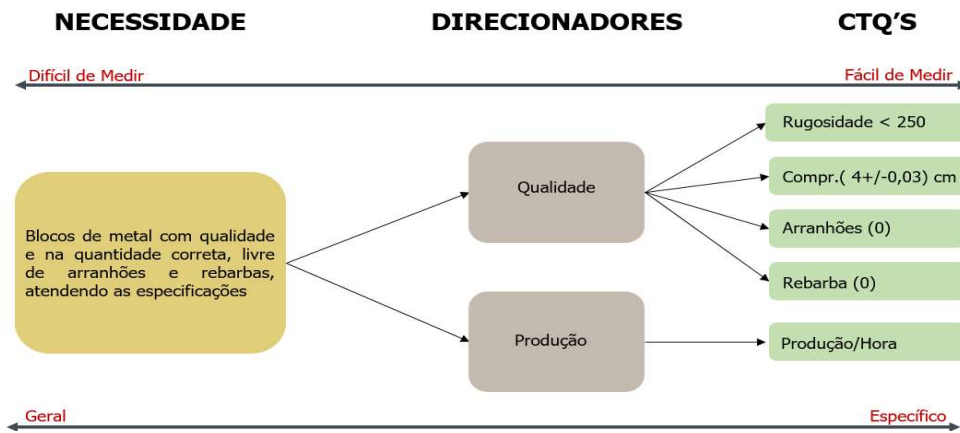
Figura 4 – Mapeamento do Processo



Fonte : Autores (2024)

As necessidades do cliente (VOC) são cruciais para esclarecer o que agrega valor no produto, proporcionando a visão do que é necessário entender e controlar nos processos internos da empresa. Conforme a figura 5, as necessidades são amplas e difíceis de mensurar, então é transformado em direcionadores e posteriormente em especificações (CTQ's), tornando o controle específico e fácil de mensurar.

Figura 5 – VOC e Árvore de CTQ's



Fonte : Autores (2024)

4.1.2 – Measure

O objetivo dessa etapa é conhecer o processo em detalhes, avaliando a situação atual através de dados. Sendo assim, um marco importante no projeto é a definição do plano de coleta de dados, seguindo as CTQ's, especificando o tipo das variáveis, especificações e amostras conforme a tabela 1.

Tabela 1 – Plano de coleta de dados

CTQ	Tipo de dado		Especificação	Amostra
Comprimento	Contínuo	Nominal melhor	4,0 (+/- 0,03)	5 pçs/h
Rugosidade	Contínuo	Quanto menor melhor	< 250	5 pçs/h
Risco	Contagem	Quanto menor melhor	0	5 pçs/h
Rebarba	Classificatório	Quanto menor melhor	0	Total/h
Produção	Contagem	Quando maior melhor	Total	Total/h

Fonte : Autores (2024)

Realizado o plano de coleta de dados, passamos para a análise dos dados conforme a tabela 2, definindo para cada CTQ o tipo de gráfico usado e a capacidade analisada.

Tabela 2 – Análise dos dados

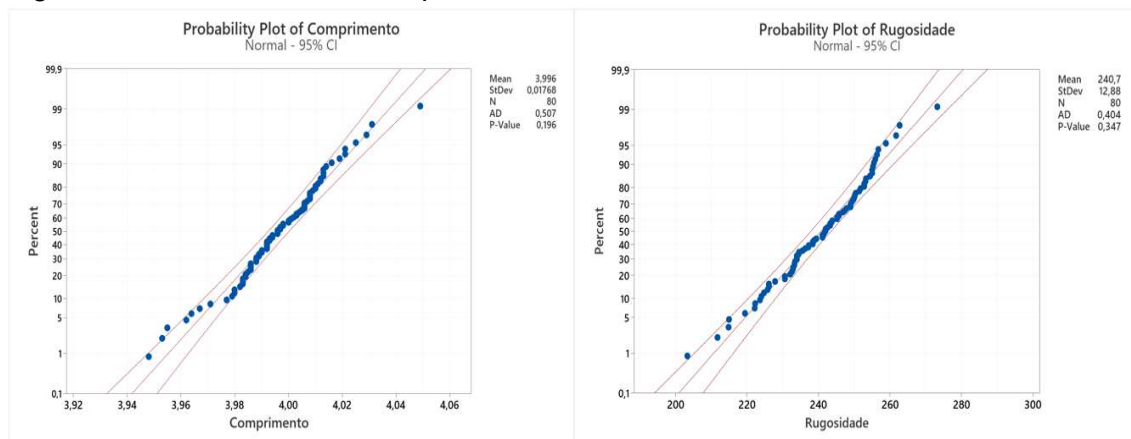
CTQ	Normalidade Gráfico de probabilidade	Estabilidade Gráfico de Controle	Capabilidade
Comprimento	Probabilidade	X- BAR R	CP, CPk, Sigma, DPM
Rugosidade	Probabilidade	X- BAR R	CP, CPk, Sigma, DPM
Risco	-	Gráfico U	%NC DPU - VOC
Rebarba	-	Gráfico P	%NC DPU - VOC
Produção	-	Gráfico U	Estabilidade, Quantidade

Fonte : Autores (2024)

Iniciando o estudo com o PDCA 1, com objetivo de medir a capacidade da produção, foram coletadas 5 peças por hora ao longo de dois dias, com o operador da máquina 01 utilizando o instrumento de medição F1 (CTQ comprimento), F2 (CTQ rugosidade), com a matéria prima MP 1 e a serra S1 durante apenas 1 turno.

Através da figura 6, os processos são considerados estáveis de acordo com os gráficos de probabilidade devido ao agrupamento dos dados.

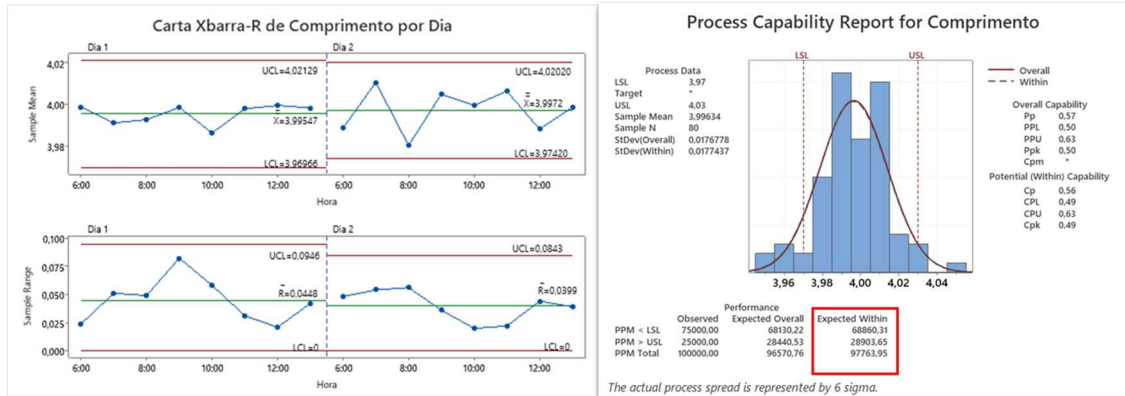
Figura 6 – PDCA 1 Gráficos de probabilidade



Fonte : Autores (2024)

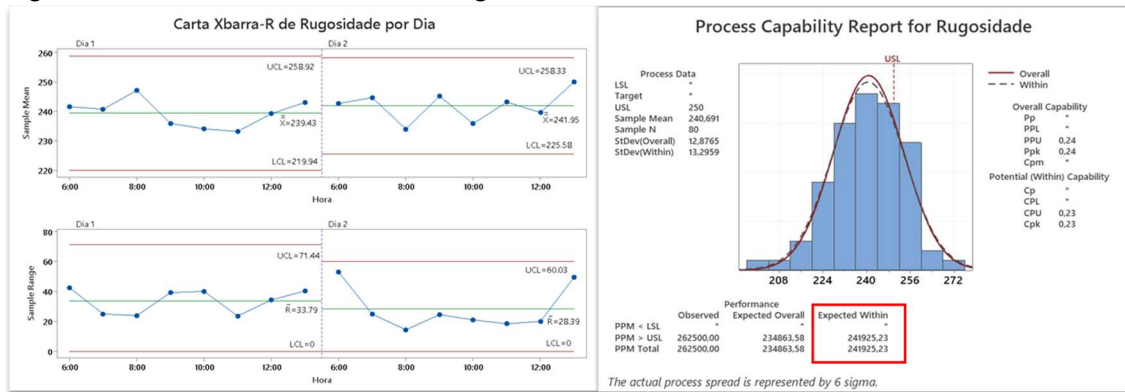
Analisando as figura 7 e 8, as CTQ's comprimento e rugosidade não possuem causas especiais. A CTQ comprimento apresenta um Cp de 0,56 e um CPk de 0,49, existindo no processo 6,89% de refugo e 2,89% de retrabalho. Já a CTQ rugosidade apresenta um Cpk de 0,23, existindo no processo 24,19% de refugo.

Figura 7 – PDCA 1 Análises CTQ comprimento



Fonte: Autores (2024)

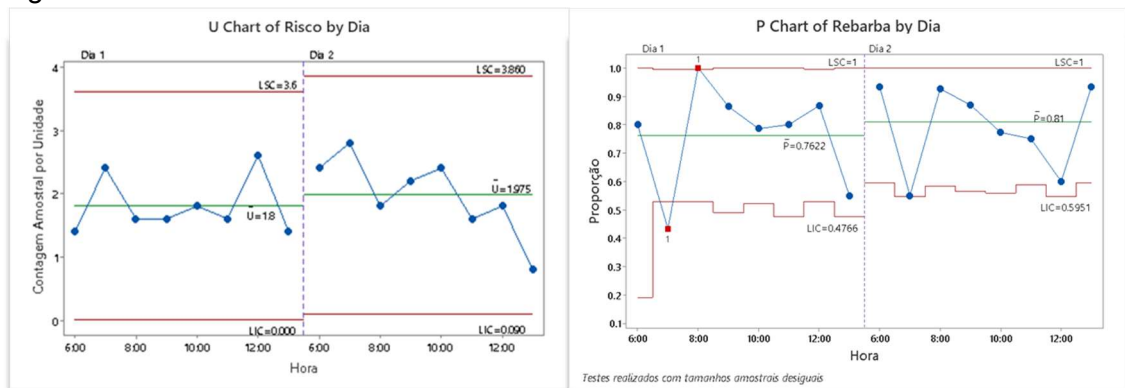
Figura 8 – PDCA 1 Análises CTQ rugosidade



Fonte: Autores (2024)

Conforme exposto na figura 9, a CTQ risco apresenta uma média de 1,89 riscos, já a CTQ rebarba apresenta uma média de 78,61% nos dois dias analisados, ambas CTQ's não atendendo a VOC.

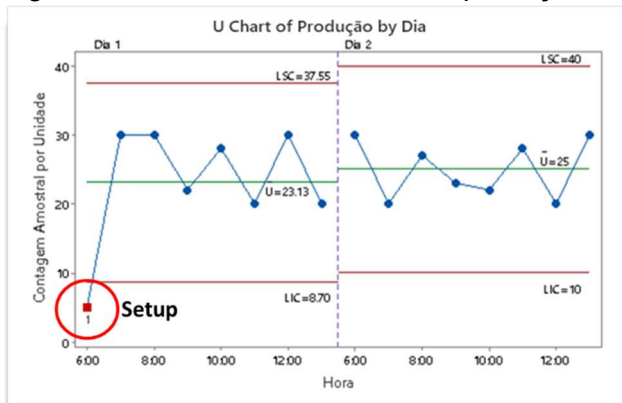
Figura 9 – PDCA 1 Análises CTQ's risco e rebarba



Fonte: Autores (2024)

Analisando a CTQ produção na figura 10, se destaca uma causa especial, sendo devido ao momento de setup de máquina às 06:00 no início da jornada de trabalho, o gráfico também apresenta uma média de produção de aproximadamente 24 blocos por dia. Também é possível observar um padrão de queda de produção, sendo 3 quedas no dia 1 e 4 quedas no dia 2, possivelmente causadas pela quebra da serra.

Figura 10 – PDCA 1 Análises CTQ produção



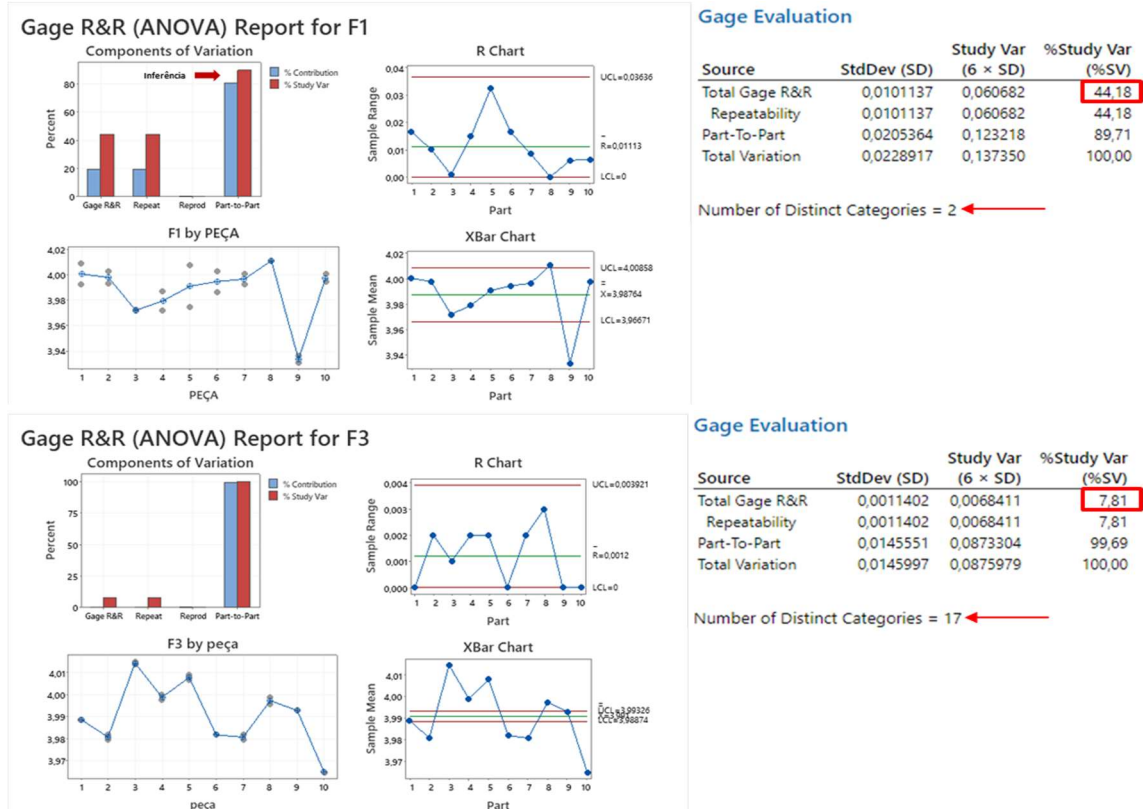
Fonte : Autores (2024)

Com o estudo realizado no PDCA 1, além das análises citadas, também é possível identificar uma possível influência da matéria prima na rugosidade e o aumento de rebarba com a quebra da serra.

Sendo assim, o instrumento de medição, a matéria prima e a serra de corte serão avaliadas, portanto se inicia o PDCA 2 com objetivo de avaliar os instrumentos de medição para as CTQ's comprimento e rugosidade, buscando entender se o instrumento é estável e se possui repetibilidade.

Com resultado da análise conforme a figura 11, a ferramenta F1 é ineficiente para medição da CTQ comprimento, pois possui um número de 2 distintas categorias, uma inferência de 19,6% e o sistema de medição é responsável por 44,18% da variação dos dados, causando problemas na reprodutibilidade do sistema, porém a ferramenta F3 apresenta boas condições para medição, com um número de 17 distintas categorias e responsável por 7,81% da variação dos dados.

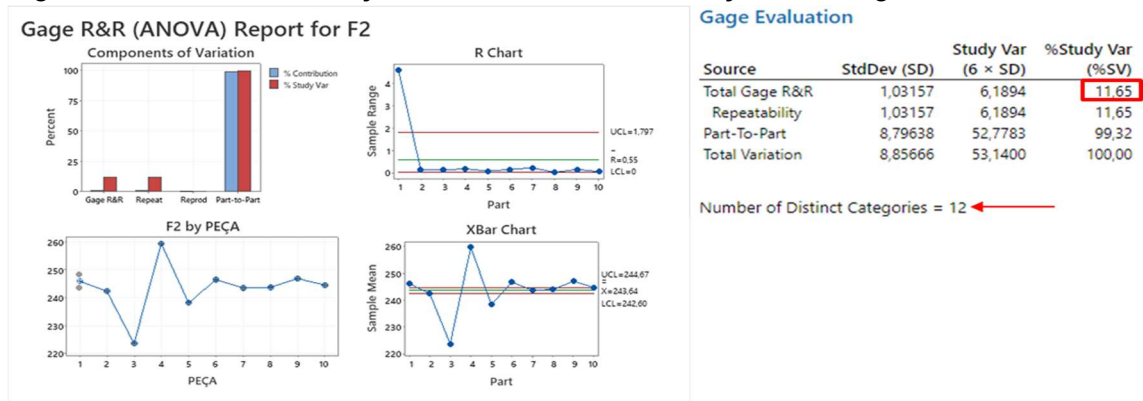
Figura 11 – PDCA 2 Avaliação dos instrumentos de medição CTQ comprimento



Fonte: Autores (2024)

Já para CTQ rugosidade, a ferramenta F2 atende a especificação, com um número de 12 distintas categorias e o sistema de medição é responsável por 11,65% da variação dos dados conforme a figura 12.

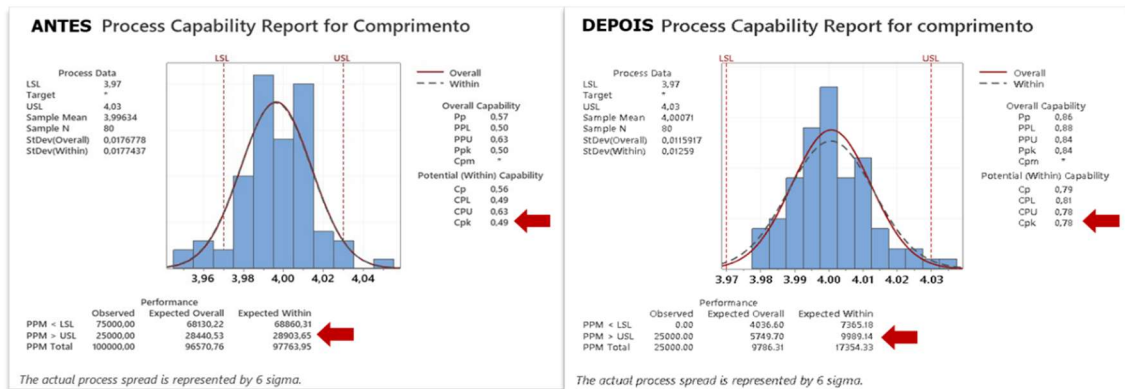
Figura 12 – PDCA 2 Avaliação do instrumento de medição CTQ rugosidade



Fonte : Autores (2024)

A partir do resultado apresentado, é realizado o PDCA 3 para validar a ferramenta F3 como nova ferramenta de medição padrão para o processo. O Cp da CTQ comprimento aumentou de 0,56 para 0,79 e o Cpk aumentou de 0,49 para 0,78, diminuindo o refugo de 6,89% para 0,73% e o retrabalho de 2,89% para 1%, conforme a figura 13.

Figura 13 – PDCA 3 Validação da substituição da ferramenta de medição

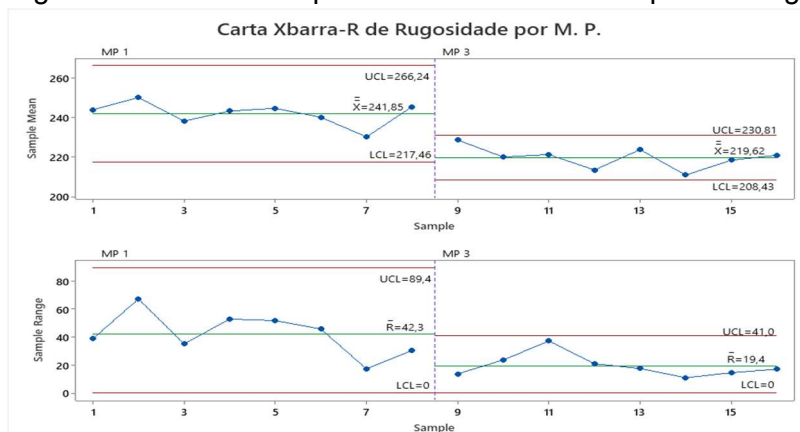


Fonte : Autores (2024)

4.1.3 – ANALYSE AND IMPROVE

Para iniciar esta fase, é avaliado o comportamento de diferentes matérias primas através do PDCA 4, que conforme apresentado na figura 14, a CTQ rugosidade é diretamente impactada, sendo identificado que a matéria prima MP 3 possui menor rugosidade em comparação a MP 1. As demais CTQ's não são impactadas significativamente pela troca de matéria prima.

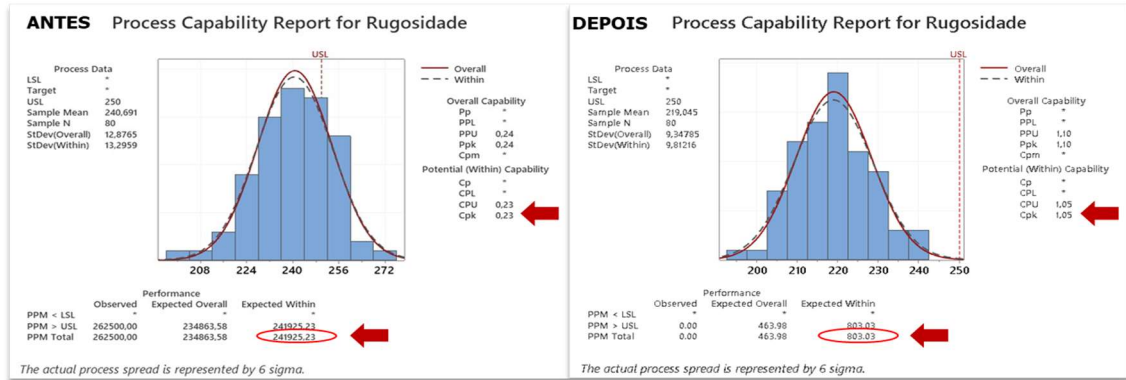
Figura 14 – PDCA 4 Impacto diferentes matérias primas Rugosidade



Fonte : Autores (2024)

Contudo, é realizado um experimento confirmatório com a matéria prima MP 3 representado no PDCA 5, confirmando a mesma como melhor para o processo. Conforme a figura 15, pode-se observar que para a CTQ rugosidade, o Cpk aumentou de 0,23 para 1,05, e o refugo diminuiu de 24,19% para 0,08%.

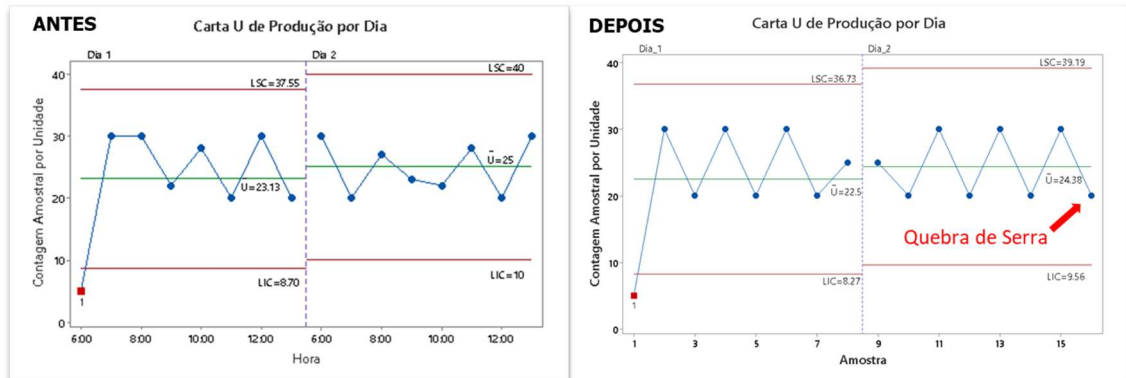
Figura 15 – PDCA 5 Experimento confirmatório das matérias primas CTQ rugosidade



Fonte : Autores (2024)

A matéria prima MP 3 apresenta também uma maior estabilidade e uma durabilidade de 30 peças/serra conforme a figura 16, melhorando a produção. Portanto fica evidente que a MP 3 é mais eficiente que a MP 1, além de ser mais barata (R\$ 26,00 x R\$ 19,00).

Figura 16 – PDCA 5 Experimento confirmatório das matérias primas CTQ produção

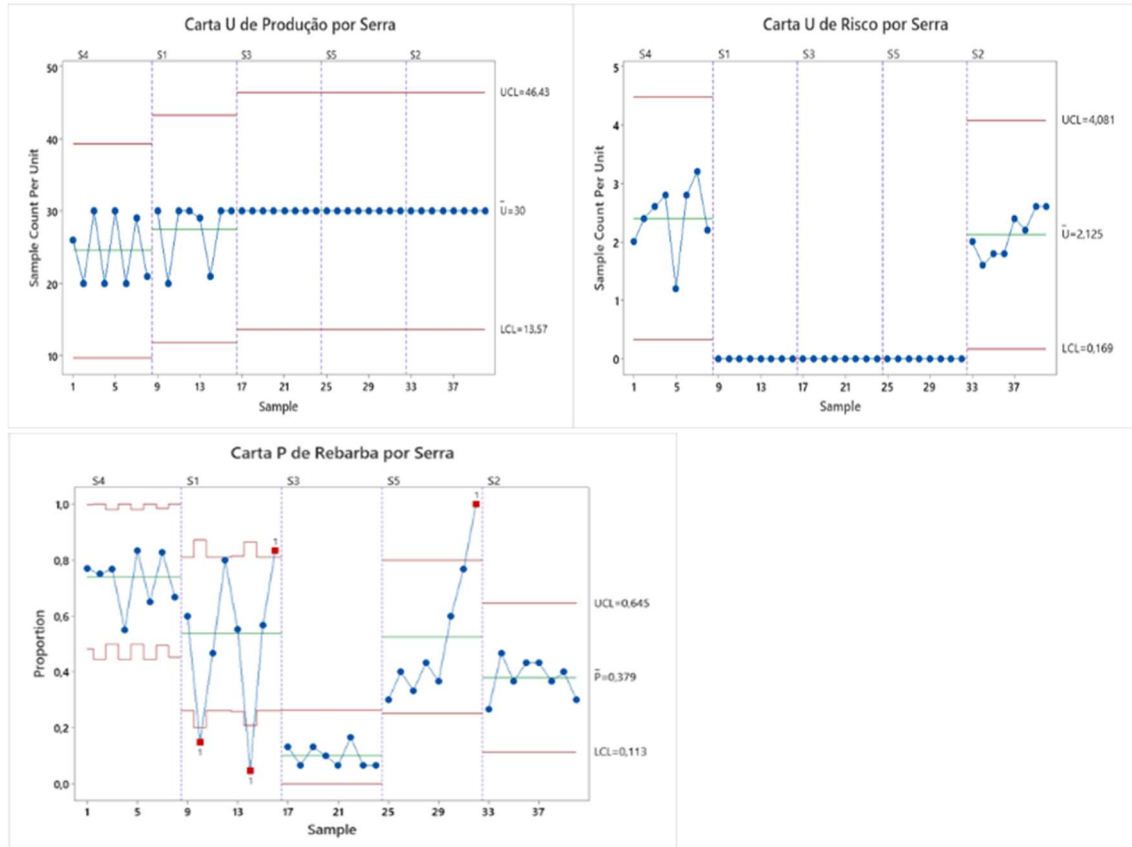


Fonte : Autores (2024)

Sendo assim, fica explícito que quanto mais rígida a matéria prima, mais estável é a produção, se confirmando as previsões do PDCA 4, portanto a matéria prima MP 3 será homologada devido a sua melhor eficiência e custo.

Analisando então a serra de corte, outra variável impactante no processo, é utilizado o PDCA 6 com objetivo de entender o comportamento de diferentes serras em relação a nova matéria prima (MP 3), que diante do estudo realizado com 1 serra por dia durante 5 dias de coleta representado na figura 17, a serra S3 apresenta maior eficiência para atender o processo, com menor variação e melhor estabilidade por CTQ.

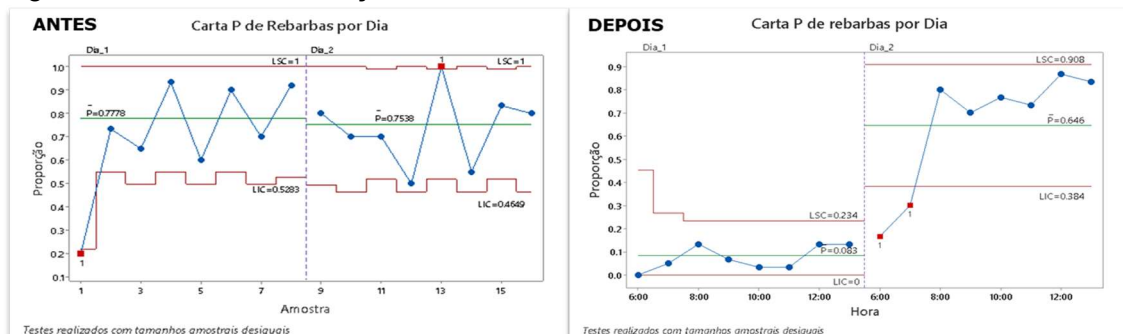
Figura 17 – PDCA 6 Comportamento das diferentes serras



Fonte : Autores (2024)

Partindo para o PDCA 7, visando comprovar a eficiência da serra S3 demonstrada na figura 18, a nova serra de corte apresenta um menor número de rebarbas em comparação a antiga S1, porém no segundo dia do experimento ocorreu um aumento significativo no número de rebarbas, que ocorre proveniente da serra ser mais resistente a quebras, a mesma se desgasta e perde o fio de corte.

Figura 18 – PDCA 7 Validação da nova serra de corte

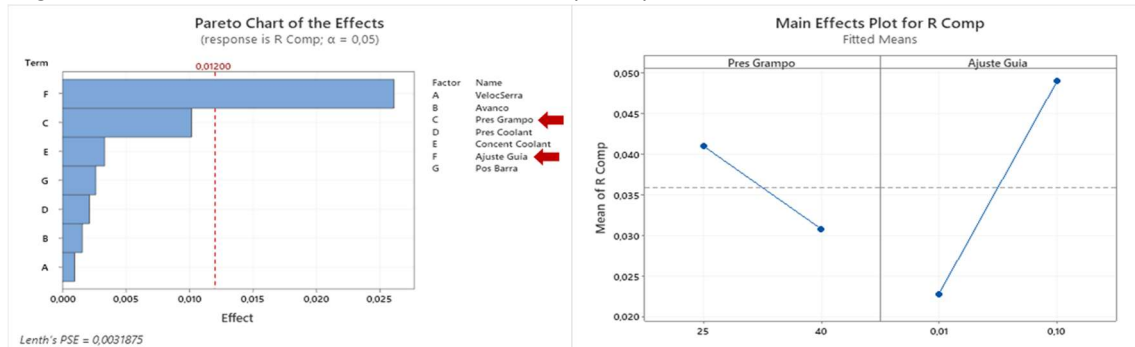


Fonte : Autores (2024)

Portanto, a partir do estudo realizado se confirmam as previsões do PDCA 6, então a serra de corte S3 será homologada e o horário do operador será alterado para entrar 30 minutos mais cedo para realizar o setup da máquina e sair 30 minutos antes do expediente atual, podendo assim ter um aproveitamento de 100% da produção, realizando também a troca da serra de corte 1 vez ao dia (222 vezes/ano).

Para entender as variáveis de máquina que impactam diretamente no processo e sua melhor configuração (receita campeã) é realizado a DOE, que conforme a figura 19, a CTQ comprimento é fortemente afetada pelo ajuste da guia e moderadamente pela pressão do grampo.

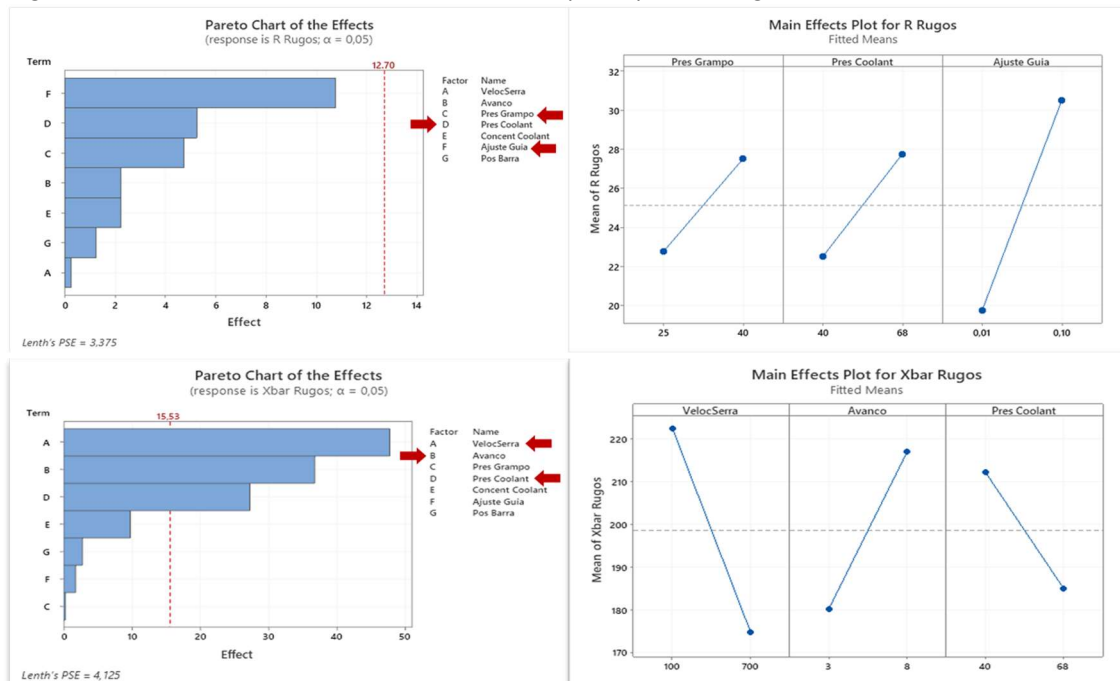
Figura 19 – PDCA 8 Melhoria do processo (DOE) CTQ comprimento



Fonte : Autores (2024)

Conforme a figura 20, a CTQ rugosidade foi analisada tanto pela variabilidade do processo (gráfico R), quanto pela média do processo (gráfico x-bar), sendo assim, a variabilidade da CTQ rugosidade é fortemente afetada pelo ajuste de guia e moderadamente pela pressão do grampo e pela pressão do líquido refrigerante, já a média do processo é fortemente afetada pela velocidade da serra e moderadamente pelo avanço da serra e pela pressão do líquido refrigerante.

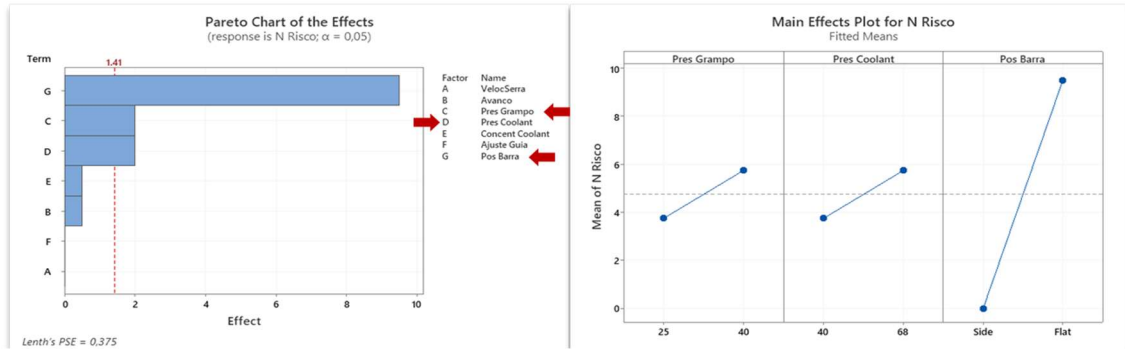
Figura 20 – PDCA 8 Melhoria do processo (DOE) CTQ rugosidade



Fonte : Autores (2024)

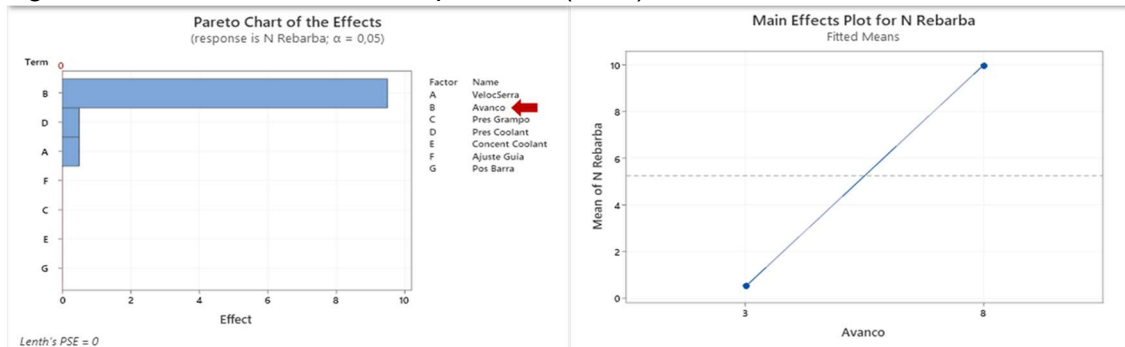
Conforme as figuras 21 e 22, a CTQ riscos é fortemente impactada pela posição da barra e moderadamente pela pressão do grampo e do líquido refrigerante, já a CTQ rebarba é fortemente impactada pelo avanço da serra.

Figura 21 – PDCA 8 Melhoria do processo (DOE) CTQ riscos



Fonte : Autores (2024)

Figura 22 – PDCA 8 Melhoria do processo (DOE) CTQ rebarba



Fonte : Autores (2024)

Diante do estudo realizado, ajustando as configurações de máquina para uma maior eficiência do processo de acordo com a interferência em cada CTQ, chegamos na receita campeã apresentada na figura 23.

Figura 23 – PDCA 8 Receita Campeã (DOE)

Variáveis	Comprimento	R Rugosidade	Med Rugosidade	Rebarba	Riscos	Receita Campeã
Velocidade da serra	700	100	700	100	-	700
Avanço da serra	8	3	3	3	8	3
Pressão do grampo	40	25	25	-	25	25
Pressão do líquido	40	40	68	68	40	40
Concentração do líquido	0,5	8	8	-	8	8
Ajuste da guia	0,01	0,01	0,01	-	-	0,01
Posição da barra	Side	Flat	Side	-	Side	Side

■ Impacto forte
 ■ Impacto moderado
 ■ Sem impacto
 ■ Receita Campeã

Fonte : Autores (2024)

Contudo, a nova configuração do procedimento é validada no PDCA 09, que conforme o teste, o novo procedimento é superior ao antigo sendo capaz de atender a VOC. Ambas propostas do PDCA 7 impactaram em melhoria, a ação de trocar a serra de corte uma vez ao dia obteve uma melhora positiva na CTQ rebarba, reduzindo a variabilidade e estabilizando o processo e a ação de alteração do horário do operador obteve um impacto positivo na CTQ produção, estabilizando em 30 peças/h.

4.1.4 – Control

Para garantir esta fase, será padronizado as novas mudanças identificadas durante o estudo. Partindo de ferramentas de medição, matéria prima, serra de corte, configuração de máquina, além de investir na cultura da melhoria contínua, realizando treinamentos e capacitações periódicas para os colaboradores, mantendo o acompanhamento dos processos através do CEP e realizando checklists com frequência.

A figura 24 representa como foi implementada as mudanças definidas no estudo.

Figura 24 – 5W2H das mudanças

What?(o que?)	Why? (Por que?)	Where? (Onde?)	When? (quando?)	Who? (Quem?)	How? (Como?)
Descontinuar antigo e homologar novo instrumento de medição	Garantir a medição sem impacto da variação do instrumento	Área de Produção	jul/23	Responsável da área em conjunto com Eng. Processos	Implementando em toda Empresa
Descontinuar antiga e homologar nova M.P.	Estabilizar a produção e diminuir perdas por conta da rugosidade	Área de Produção	ago/23	Responsável da área em conjunto com Suprimentos	Substituindo no estoque
Descontinuar antiga e homologar nova Serra de corte	Estabilizar a produção, zerar os riscos e diminuir as rebarbas	Área de Produção	ago/23	Responsável da área em conjunto com Suprimentos	Implementando na máquina
Padronizar a Receita Campeã	Atingir as CTQ'S	Área de Produção	set/23	Responsáveis pela Área de Eng. Processos e Produção	Criando o POP
Treinar os Operadores	Adequar os funcionários aos novos equipamentos e processos implementados	Área de Produção	nov/23	Responsáveis pela área de Treinamento, Eng. Processos e Produção	Integrando todos os funcionários com os novos padrões adotados

Fonte : Autores (2024)

O novo procedimento foi realizado e descrito seguindo o passo a passo e as novas especificações do processo conforme o POP na figura 25.

Figura 25 – Procedimento operacional padrão

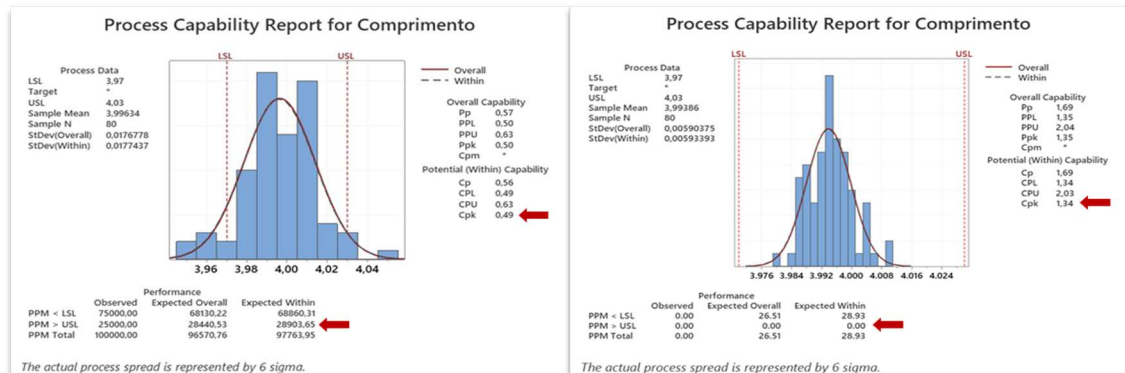
Procedimento Operacional			
Local: Empresa - Ala Operacional		Padrão Nº A-01	
Tarefa: Produção de Blocos De Metal		Data 03/12/2023	
Responsável: Operador de Produção		Nº Revisão: 0	
Matérial Necessário			
Barra de metal	-	-	-
Serra	-	-	-
Líquido Refrigerante	-	-	-
Procedimento			
1 - Operador coloca barra na máquina na posição a ser serrada (Posição Side);			
2 - Operador aperta o botão da máquina para iniciar a operação (ajuste da guia 0,01);			
3 - Máquina prende a barra com grampos (pressão do grampo 25);			
4 - O líquido refrigerante começa a lubrificar a barra no local que vai ser serrada (Pressão do líquido 40 e concentração do líquido 8);			
5 - Alâmina da serra inicia a rotação (Velocidade da Serra 700);			
6 - A serra avança na barra (Avanço da Serra 3);			
7 - A barra é serrada produzindo um bloco;			
8 - Alâmina da serra retorna a posição de início;			
9 - Alâmina da serra para;			
10 - O líquido refrigerante é interrompido;			
11 - O bloco produzido é retirado da máquina;			
12 - O bloco produzido é avaliado.			
Ações Corretivas			
Caso a máquina apresente falhas de funcionamento, interromper o processo e solicitar a manutenção e regulação			
Caso o bloco não atenda as especificações desejadas, encaminhar a mesma para área de refugo ou retrabalho			
Aprovação:			
Executor	Executor	Executor	Supervisor Direção
Revisão: Anual			

Fonte : Autores (2024)

4.2 – Ganhos

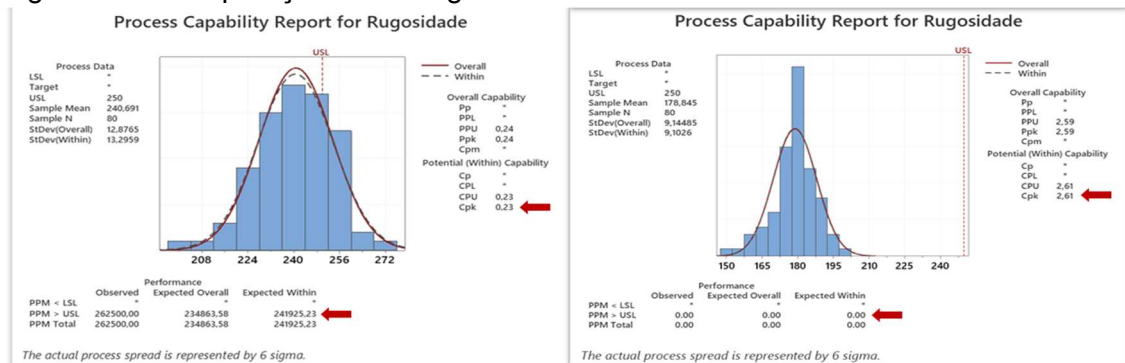
De acordo com as figuras 26 e 27, o processo obteve uma grande melhoria, a CTQ comprimento obteve uma evolução no Cp de 0,56 para 1,69 e um aumento no Cpk de 0,49 para 1,34, diminuindo o refugo de 6,89% para 0,003% e o retrabalho de 2,89% para 0%. A CTQ rugosidade obteve uma evolução no Cpk de 0,23 para 2,61, diminuindo o refugo de 24,19% para 0%.

Figura 26 – Comparação CTQ comprimento PDCA 01 e 09



Fonte : Autores (2024)

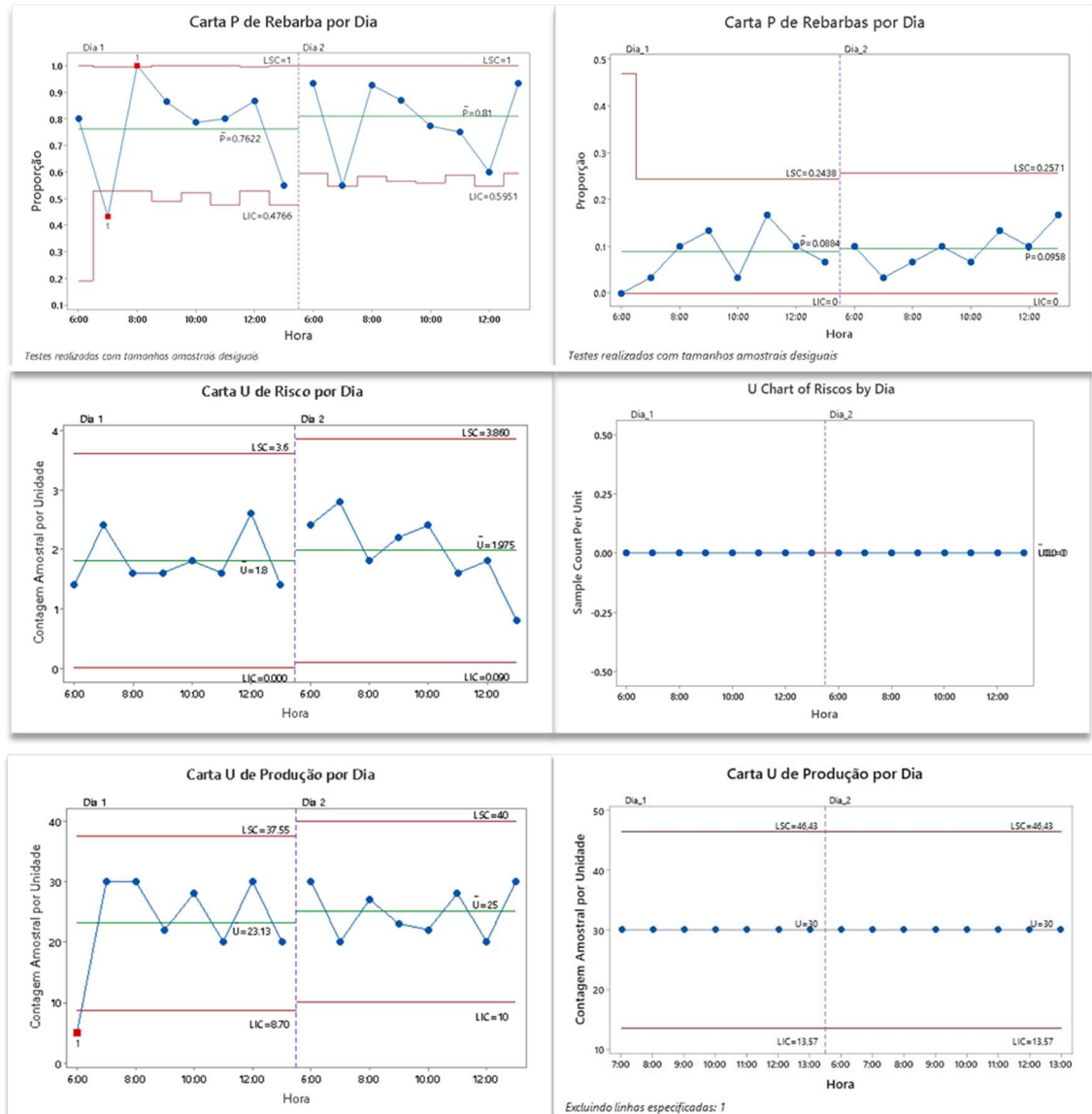
Figura 27 – Comparação CTQ rugosidade PDCA 01 e 09



Fonte : Autores (2024)

A CTQ rebarba também obteve uma grande evolução após as mudanças conforme demonstrada na figura 27, diminuindo muito sua variação, favorecendo também a ausência de riscos no processo e uma estabilidade da produção em 30 peças/h.

Figura 27 – Comparação CTQ's rebarba, riscos e produção PDCA 01 e 09



Fonte : Autores (2024)

Realizando a análise econômica do início do processo e o atual, temos a seguinte situação representada na figura 28.

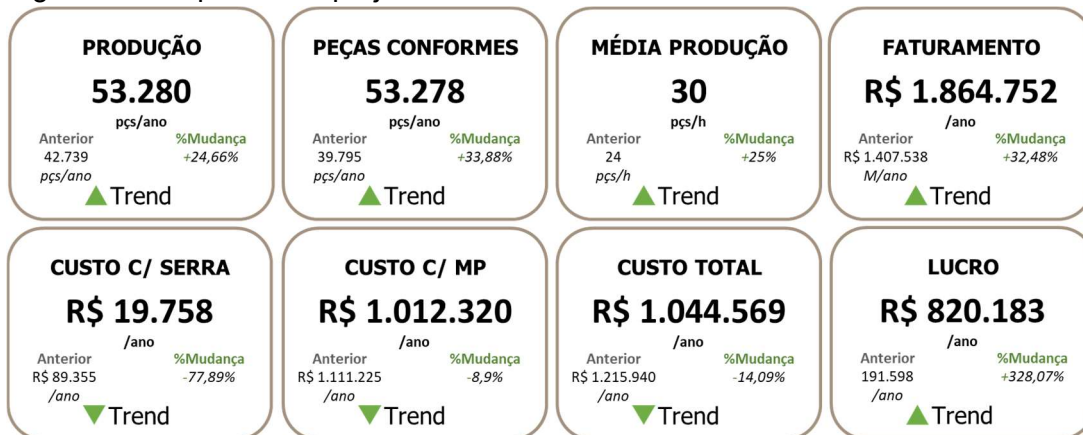
Figura 28 – Análise econômica

Análise Econômica Anual							
Considerando 222 dias trabalhados no ano/ 8h de trabalho diário							
Cenário inicial (PDCA 1)				Cenário após mudanças (PDCA 9)			
Volume de Produção				Volume de Produção			
Qtd. Produzida/hora	h/turno	Qtd. Produzida/dia	Qtd. Produzida/ano	Qtd. Produzida/hora	h/turno	Qtd. Produzida/dia	Qtd. Produzida/ano
24,065	8	192,52	42.739,44	30	8	240,00	53.280,00
Faturamento Anual							
Item	Qtd. Peças	Valor	Faturamento	Item	Qtd. Peças	Valor	Faturamento
1 Total peças produzidas	42.739,44	-	-	1 Total peças produzidas	53.280,00	-	-
2 Refugos por comprimento (%NC <= LIE) (6,89%)	2.944,75	R\$ 5,00	R\$ 14.723,74	2 Refugos por comprimento (%NC <= LIE) (0,003%)	1,60	R\$ 5,00	R\$ 7,99
3 Total de Peças Conformes	39.794,69	R\$ 35,00	R\$ 1.392.814,24	3 Total de Peças Conformes	53.278,40	R\$ 35,00	R\$ 1.864.744,06
Faturamento Total:			R\$ 1.407.537,98	Faturamento Total:			R\$ 1.864.752,05
Custo Anual							
	%NC	Valor reparo	Custo		%NC	Qtd. peças	Custo
1 Peças com rebarba	78,61%	R\$ 0,10	R\$ 3.359,75	1 Peças com rebarba	9,21%	53.280,00	R\$ 490,71
	Custo/und.				Custo/und.		
2 Medir Comprimento	R\$ 0,50	8.880	R\$ 4.440,00	2 Medir Comprimento	R\$ 0,50	8.880	R\$ 4.440,00
3 Medir Rugosidade	R\$ 0,50	8.880	R\$ 4.440,00	3 Medir Rugosidade	R\$ 0,50	8.880	R\$ 4.440,00
4 Medir Riscos	R\$ 0,25	8.880	R\$ 2.220,00	4 Medir Riscos	R\$ 0,25	8.880	R\$ 2.220,00
5 Inspeccionar Rebarba	-	-	-	5 Inspeccionar Rebarba	-	-	-
6 Ciclo Estudo (n° PDCA's)	R\$ 100,00	9	R\$ 900,00	6 Ciclo Estudo (n° PDCA's)	R\$ 100,00	9	R\$ 900,00
7 Matéria Prima MP 1	R\$ 26,00	42.739,44	R\$ 1.111.225,44	7 Matéria Prima MP 3	R\$ 19,00	53.280,00	R\$ 1.012.320,00
8 Serra S1 (3,5 serras por dia)	R\$ 115,00	777	R\$ 89.355,00	8 Serra S3 (1 serra ao dia)	R\$ 89,00	222	R\$ 19.758,00
Custo Total:			R\$ 1.215.940,19	Custo Total:			R\$ 1.044.568,71
Lucro Anual							
R\$ 191.597,79				R\$ 820.183,34			

Fonte : Autores (2024)

Gerando assim os diversos impactos em diferentes indicadores cruciais para a organização conforme demonstrado na figura 29.

Figura 29 – Impactos do projeto



Fonte : Autores (2024)

5 – CONCLUSÕES

O presente trabalho investigou a aplicação da metodologia Seis Sigma como uma estratégia eficaz para a melhoria contínua e redução da variabilidade no processo de manufatura, reconhecendo que, embora a variabilidade seja intrínseca aos processos, sua redução promove um aumento na qualidade. O objetivo central foi utilizar o Seis Sigma para elevar a eficiência operacional, a satisfação do cliente e diminuir as não conformidades no processo de produção de blocos de metal. A abordagem Seis Sigma, ao diminuir a variabilidade, trouxe maior previsibilidade aos processos, aumentando os índices de qualidade e incentivando uma cultura de aprimoramento constante.

Na fase *Define*, foi definido o escopo e as metas do projeto, com CTQs (*Critical to Quality*) ajustadas às necessidades dos clientes, mapeando-se o processo e identificando pontos críticos que impactavam na estabilidade e nos custos da produção.

Na fase *Measure*, foi identificada a necessidade da alteração no sistema de medição da CTQ comprimento devido a ferramenta F1 ser incapaz de medir, pois a mesma possuía uma alta inferência e variação causando problemas na reprodutibilidade da medição, sendo substituída pela ferramenta F3. A coleta e análise de dados demonstraram a necessidade de melhorias nas variáveis cruciais, como comprimento, rugosidade, riscos, rebarbas e produção, bem como os impactos causados por fatores como o setup e a quebra da serra de corte, para assim, conseguir atingir as especificações.

Durante as fases *Analyse* e *Improve*, a adoção de matérias-primas de maior desempenho (MP 3), a validação de novas ferramentas de medição (F3), serras de corte de maior qualidade (S3) e novas configurações em variáveis de máquina (DOE) contribuíram significativamente para a redução de refugos e retrabalhos, elevando a capacidade e a estabilidade do processo. Com essas mudanças, o Cpk da CTQ comprimento aumentou de 0,49 para 1,34 e o da rugosidade de 0,23 para 2,61, praticamente eliminando refugo e retrabalho e garantindo zero defeitos em riscos e uma redução no número de rebarbas. Ajustes operacionais, como a modificação do horário do operador para eliminar o tempo de setup e realizar a troca diária da serra de corte, estabilizaram a produção em 30 peças/hora.

Na fase *Control*, essas melhorias foram consolidadas com a padronização dos novos procedimentos por meio de um POP e o fortalecimento da cultura de melhoria contínua, com a utilização de ferramentas de Controle Estatístico de Processo (CEP) e treinamentos para os colaboradores. Os resultados mostraram um aumento de 24,66% na produção, uma elevação de 33,88% nas peças conformes, uma redução de 77,89% nos custos com serras de corte e um crescimento de 328,07% no lucro, evidenciando a eficiência do Seis Sigma na otimização de processos complexos e no atendimento rigoroso aos requisitos de qualidade.

Por fim, o Seis Sigma provou ser uma metodologia robusta e com impacto direto na qualidade e produtividade, fortalecendo uma cultura de excelência operacional que contribui de forma duradoura para a competitividade e sustentabilidade da organização. Para futuras pesquisas, recomenda-se a exploração da integração com metodologias complementares, como o *Lean*, para uma otimização ainda mais abrangente, além de investigar outras variáveis que possam afetar a estabilidade e os custos do processo.

REFERÊNCIAS

- BARROS, Aidil J. da S.; LEHFELD, Neide Aparecida de S. **Fundamentos de metodologia científica**. 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.
- CARPINETTI, Luiz Cesar R. **Gestão da qualidade: conceitos e técnicas**. 3. Ed. São Paulo, SP: Atlas S/A, 2017.
- DEMING, W. E. **Qualidade: a revolução da administração**. Rio de Janeiro: Marques-Saraiva, 1990.
- FALCONI CAMPOS, Vicente. **Qualidade Total: Padronização de Empresas**. 2. ed. Nova Lima, MG: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2014.
- FILHO, Geraldo V. **Gestão da Qualidade Total: Uma abordagem prática**. 6. ed. Campinas, SP: Alínea, 2019.
- FILHO, Manoel Gonçalves; DELBONI, Clóvis; DA SILVA, Reinaldo Gomes. Levantamento sobre a evolução da abordagem lean e six sigma. **Brazilian Journals of Business**, Curitiba PR, v. 2, n. 1, p. 473-489, 20 dez. 2019.

- HARRY, Mikel; SCHROEDER, Richard. **Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations**. 1. ed. New York, NY: Crown Publishing Group, 2006.
- HOAGLIN, David C.; MOSTELLER, Fredric L.; TUKEY, John W. **Understanding Robust and Exploratory Data Analysis**. 1. ed. Hoboken, NJ: Wiley-Interscience, 2000.
- LUCINDA, Marco A. **Análise e Melhoria de Processos: uma abordagem prática para micro e pequenas empresas**. 1. ed. Porto Alegre, RS: Simplíssimo, 2016.
- MALHOTRA, N. **Pesquisa de marketing**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- MATTOS, Aldo D. **Planejamento e controle de obras**. 1. ed. São Paulo, SP: Pini, 2010.
- MINITAB. **Minitab 20: Software for statistical analysis**. Version 20. Disponível em: <https://www.minitab.com/pt-br/>. Acesso em: 27 out. 2024.
- MONTGOMERY, Douglas C. **Design and Analysis of Experiments**. 8. ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2012.
- MONTGOMERY, Douglas C. **Statistical Quality Control**. 7. ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2012.
- OLIVEIRA CHAMON, Edna M. Q. **Gestão Integrada de Organizações**. 1. ed. São Paulo, SP: Brasport, 2008.
- Oliveira, Josenildo B.; SOUTO, Ricardo R.; MAIA, Rafaella D. A.; MEIRA, Julia A.; LIMA, Victor S. P. Análise da capacidade de um processo: Um estudo de caso baseado nos indicadores CP e CPK. **XXXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, Belo Horizonte, MG, p. 1-15, 7 out. 2011.
- PANDE, P. S.; NEUMAN, R. P.; CAVANAGH, R. R. **Estratégia Seis Sigma: Como a GE, a Motorola e Outras Empresas Estão Aguçando o Seu Desempenho**. 1. ed. Jacarepaguá: QualityMark, 2001.
- PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre R. **Administração da Produção: (Operações Industriais e de Serviços)**. 2. ed. Curitiba, PR: Centro Universitário Positivo – UnicenP, 2007.
- ROTONDARO, Roberto G. **Seis Sigma: Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços**. 1. ed. São Paulo, SP: Atlas, 2002.
- SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. 1. ed. São Paulo: Cortez, 2013.
- SHIBA, S.; GRAHAM, A.; WALDEN, D. **TQM - quatro revoluções na gestão da qualidade**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.
- SLACK, Nigel; BRANDON-JONES, Alistair; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. 8. ed. São Paulo, SP: Atlas, 2018.
- VERGUEIRO, Waldomiro. **Qualidade em serviços de informação**. 1. ed. São Paulo, SP: Arte & Ciência, 2002.
- VIERIA, Sonia. **Estatística para a qualidade: como avaliar com precisão a qualidade em produtos e serviços**. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ: Editora Campus, 1999.
- WERKEMA, Cristina. **Criando a Cultura Lean Seis Sigma**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: GRN Atlas, 2012.
- WERKEMA, Cristina. **Métodos PDCA e DMAIC e suas ferramentas analíticas**. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ: GRN Atlas, 2012.
- YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.