

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

**Um estudo sobre a metodologia Seis Sigma e sua eficácia na otimização de
um processo simulado de manufatura**

FERNANDA MONTEIRO

Orientador: Prof. Dr. Kleber Francisco Esposto

SÃO CARLOS

2017

FERNANDA MONTEIRO

Um estudo sobre a metodologia Seis Sigma e sua eficácia na otimização de um
processo simulado de manufatura

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado junto ao departamento
de Engenharia de Produção da
Escola de Engenharia de São Carlos
como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheira de
Produção Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Kleber
Francisco Esposto

São Carlos

2017

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

RESUMO

MONTEIRO, Fernanda. **Um estudo sobre a metodologia Seis Sigma e sua eficácia na otimização de um processo simulado de manufatura.** Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

Para garantir a qualidade exigida por seus clientes, as empresas investem cada vez mais no gerenciamento e melhoria da qualidade e, nesse contexto, faz-se uso de diversas técnicas e métodos, entre eles o Seis Sigma. A metodologia Seis Sigma está frequentemente voltada à garantia da qualidade e tem como objetivo reduzir a variação de processos. Com isso, diminui-se o gasto com retrabalhos e a empresa se torna mais competitiva. A metodologia é dividida em cinco etapas de modo a organizar sua aplicação. São elas: Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar (DMAIC). O presente trabalho aborda conceitos da metodologia Seis Sigma e explora ferramentas de melhoria contínua ligadas ao tema, citando como exemplo de sucesso a implantação da metodologia DMAIC em um projeto simulado de manufatura de tijolos e consequente manutenção das melhorias. Após a implementação das cinco etapas, o processo se tornou mais produtivo, capaz de atender às exigências dos clientes e, além disso, houve uma grande economia de tempo e dinheiro, uma vez que a quantidade de peças refugadas ou retrabalhadas diminui exponencialmente.

Palavras-chave: Qualidade. Melhoria contínua. Seis Sigma. Metodologia. DMAIC.

ABSTRACT

MONTEIRO, Fernanda. **A study about the Six Sigma methodology and its efficiency in optimizing a simulated manufacturing process.** Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

To ensure the quality demanded by its customers, companies are investing more and more in quality management and improvement, and in this context a number of techniques and methods are used, including Six Sigma. The Six Sigma methodology is often focused on quality assurance and aims to reduce process variation. With this, the expense is reduced with rework and the company becomes more competitive. The methodology is divided into five steps in order to organize its application. They are: Define, Measure, Analyze, Improve and Control (DMAIC). The present work approaches concepts of Six Sigma methodology and explores tools of continuous improvement related to the subject, citing as an example of success the implementation of DMAIC methodology in a simulated brick manufacturing project and consequent maintenance of the improvements. After the implementation of the five steps, the process became more productive, able to meet the demands of the customers and, in addition, there was a great saving of time and money since the quantity of refused or reworked parts decreased exponentially.

Keywords: Quality. Continuous improvement. Six Sigma. Methodology. DMAIC.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Contextualização e Justificativa	9
1.2 Objetivo	10
1.3 Estrutura do Trabalho	10
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	11
2.1 Conceito do Método	11
2.2 Modelo de Melhoria	13
2.2.1 Ciclo PDSA	15
2.3 A Metodologia DMAIC	18
2.3.1 Define (Definir)	19
2.3.2 Measure (Medir)	21
2.3.3 Analyze (Analisar)	25
2.3.4 Improve (Melhorar)	26
2.3.5 Control (Controlar)	28
3. MÉTODO DE PESQUISA	31
3.1 Apresentação da Empresa (Estudo de Caso Simulado)	31
3.2 O Processo Atual	33
3.2.1 Matéria prima e Produto	35
3.2.2 Custos	36
3.2.3 Dispositivos de medição, máquinas e funcionários	37
3.3 Aplicação da Metodologia Seis Sigma e Resultados	39
3.3.1 Define (Definir)	39
3.3.2 Measure (Medir)	40
3.3.3 Analyze (Analisar) e Improve (Melhorar)	52
3.3.4 Control (Controlar)	80
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
5. BIBLIOGRAFIA	85

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho foi realizado para a conclusão do curso de Engenharia de Produção da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Apresenta uma revisão bibliográfica sobre a Metodologia Seis Sigma para controle de processos e a utilização da Metodologia DMAIC para a otimização de um processo simulado de fabricação de tijolos.

1.1 Contextualização e Justificativa

Com o aumento da competitividade empresarial e a globalização da economia, as empresas lutam para aumentar sua lucratividade e para crescer. Como consequência dessa competição, esse crescimento muitas vezes acontece de forma desestruturada e desalinhada com a mentalidade de melhorar seus processos e seu atendimento às necessidades do cliente.

No passado, as empresas definiam o preço de seus produtos através da equação de soma do custo e margem de lucro. O departamento de contabilidade definia esses valores e o consumidor pagava o que lhe era imposto. Todavia, essa não é mais a realidade: a equação de lucratividade tornou-se uma subtração do custo por um preço fixado. Os consumidores possuem mais opções de escolha, estão mais informados e exigem excelência em qualidade a um preço justo.

Nesse contexto, a única forma de maximizar lucros é através da redução de custos inerentes ao processo de produção. Além disso, para garantir a qualidade exigida por seus clientes, as empresas investem cada vez mais no gerenciamento e melhoria da qualidade. Segundo Besterfield (2013, p. 11) “*Six Sigma is both a statistical concept that measures the number of nonconformities in a product or service and a quality improvement methodology*”.

Na busca por competitividade, faz-se imprescindível a identificação e a eliminação de desperdícios em processos por parte das indústrias. O preço e a qualidade tornaram-se diferenciais para os clientes na hora de escolher um produto ou serviço e não há como transferir para o consumidor custos gerados pela ineficiência do processo de produção. Assim, reduzir defeitos e falhas tornou-se prioridade para as empresas que almejam aumentar sua margem de lucro e fidelizar seus clientes.

A metodologia *Six Sigma* está frequentemente voltada à garantia da qualidade e tem como objetivo reduzir a variação de processos. Entender como funcionam as técnicas e metodologias de melhoria contínua é parte fundamental na obtenção de benefícios tanto às indústrias quanto ao meio científico. Nesse contexto, a seguir é apresentado o objetivo deste trabalho.

1.2 Objetivo

O objetivo principal do presente trabalho foi estudar e conhecer o uso da metodologia *Six Sigma*, aplicando suas técnicas de controle e melhoria à simulação de um processo da manufatura. Ademais, pretende-se definir quais ferramentas devem ser utilizadas em cada etapa do estudo e também avaliar os ganhos monetários que a metodologia proporciona.

Com este trabalho, será realizada a medição de um processo simulado de manufatura e, a partir dessa, serão propostas alterações e melhorias em um plano de ação para otimização e redução de custos. Além disso, espera-se que o trabalho estimule o interesse por essa área do conhecimento, contribuindo para a difusão do assunto.

1.3 Estrutura do Trabalho

O trabalho encontra-se dividido em capítulos sendo que o primeiro é relativo à introdução do tema, aos objetivos a serem alcançados, à justificativa do estudo e a sua estrutura. Em seguida, o capítulo 2 apresenta os fundamentos teóricos envolvidos no trabalho.

Logo após, no capítulo 3, há a apresentação da simulação do processo de manufatura estudado e os resultados obtidos após a implementação da metodologia *Six Sigma*.

No capítulo 4 é elaborada a conclusão do trabalho.

Por fim, no capítulo final de número 5, tem-se as referências bibliográficas utilizadas.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Conceito do Método

O Seis Sigma ou *Six Sigma* (SS) segundo Besterfield (2013) é, além de um conceito estatístico que mede o número de não conformidades em um produto ou serviço, uma metodologia de melhoria da qualidade.

De acordo com George (2002), o SS não é apenas uma “metodologia de melhoria”. Mas sim:

- Um sistema de gerenciamento para atingir liderança do negócio duradoura e elevada performance aplicada para o beneficiamento do negócio e seus clientes, sócios e acionistas;
- Uma medida para definição da capacidade de qualquer processo;
- Uma meta de melhoria que tange a quase-perfeição.

Por fim, segundo Pande, Newman e Cavanagh, o *Six Sigma* é um sistema flexível e de fácil compreensão para atingir, sustentar e maximizar o sucesso do negócio. O Seis Sigma é puramente guiado pelo entendimento claro das necessidades dos clientes, pelo uso disciplinado de fatos, dados e análises estatísticas e atenção diligente ao gerenciamento, melhoria e processos para reinventar o negócio.

Apesar das diferentes definições, é evidente que o SS possui seu foco voltado ao negócio como um todo e utiliza ferramentas, técnicas e análises estatísticas para medir e melhorar o desempenho das organizações. Através da identificação e eliminação dos defeitos e desperdícios, temos a agregação de valor no processo ou produto e, assim, o aumento da satisfação do cliente e redução de custos.

A metodologia teve origem em 1981, sob o comando de Bob Galvin, quando a Motorola estabeleceu a meta de aumentar seu desempenho 10 vezes em 5 anos. O engenheiro Bill Smith estudou a correlação entre falhas dos produtos no processo de manufatura com falhas para o cliente e estruturou em 1987 uma metodologia para a Motorola alcançar Seis Sigma (RODRIGUES, 2006).

Estatisticamente falando, o “sigma” é uma medida de variação. Quando aplicada a um processo empresarial, diz respeito à frequência com que determinada operação utiliza

mais do que os recursos pré-determinados para satisfazer as exigências do cliente. Uma empresa que está no nível “6-sigma” registra apenas 3,4 defeitos em 1 milhão de oportunidades. Isso se traduz em uma vantagem de custos e, mais importante, faz com que sobrem recursos para serem dirigidos para os processos capazes de diferenciar uma empresa 6-sigma (CONE, 2001).

Existem algumas funções dentro de um projeto SS que dizem respeito ao nível de conhecimento e responsabilidade do profissional dentro do projeto e Petenate (2017) resume essas seis funções como segue:

- *White Belt*: entende os conceitos básicos de melhoria e auxilia times na execução desses projetos;
- *Yellow Belt*: pode ser integrante em projetos 6-Sigma e lidera esforços de baixa complexidade;
- *Green Belt (GB)*: lidera projetos de média complexidade e geralmente precisa da orientação de um *Black Belt*. Normalmente dedica-se a outras funções além de projetos de melhoria;
- *Black Belt (BB)*: lidera projetos de alta complexidade. Orienta e treina times de melhoria;
- *Master Black Belt*: treina e orienta BB e GB. Geralmente ajuda no desenvolvimento das estratégias dos projetos e funciona como um consultor (*sensei*) dos projetos;
- Patrocinador: traz a visão, missão e metas da companhia ajudando a alinhar e identificar projetos. Identifica recursos e ajuda na superação das dificuldades organizacionais.

Neste trabalho, utilizou-se a metodologia destinada a processos em funcionamento, a DMAIC (*define, measure, analyze, improve* e *control*). Cada letra da sigla corresponde a uma das fases de implementação de um projeto SS e utiliza diversas técnicas e ferramentas em sua execução como: mapa SIPOC (*supplier, input, process, output, customer*); gráficos de controle; capacidade de processos; diagrama espinha de peixe; ciclo PDSA (*plan, do, study, act*); entre outros que serão explicados no decorrer deste trabalho.

2.2 Modelo de Melhoria

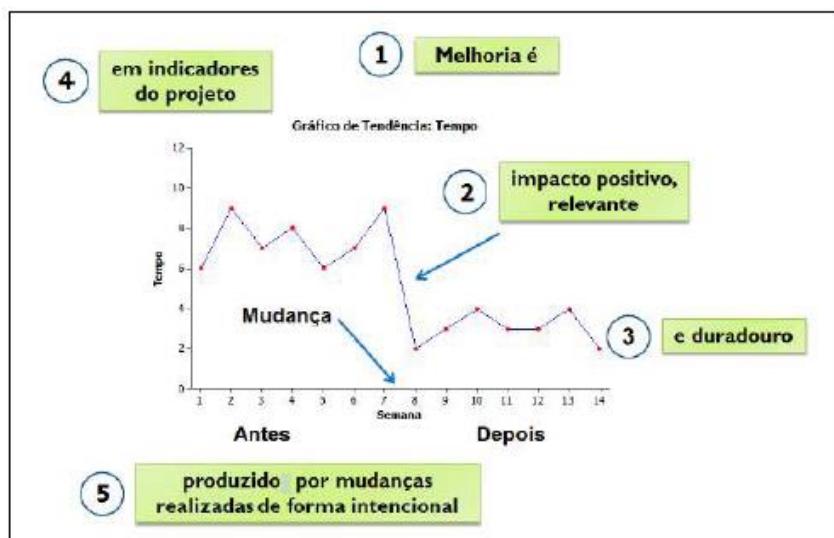
A melhoria de processos e produtos é vital para qualquer organização e através de projetos SS temos o método, a estratégia e a estrutura para realizar tais mudanças. A melhoria ocorre quando aprendemos como combinar de forma criativa o conhecimento específico e a ciência da melhoria para desenvolver ideias efetivas de mudança (ANGLEY et al., 2009). É importante ressaltar que mudanças nem sempre resultam em melhoria, mas que toda melhoria requer que mudanças sejam feitas.

Em um modelo de melhoria, é necessário responder três questões fundamentais: o que estamos tentando realizar; como saberemos se uma mudança é uma melhoria e, por fim, que mudanças podemos fazer que resultarão em melhoria.

Ao lidar com a primeira questão, é importante ter em mente uma descrição geral do contexto, quais resultados são esperados e quais as fronteiras para a atividade.

Para estruturar a segunda questão (como saberemos se uma mudança é uma melhoria?) segundo Petenate (2017) existem dois cenários: no caso de sistemas simples, podemos discernir se uma mudança é uma melhoria apenas observando informalmente o que acontecia antes e o que aconteceu após a mudança; em processos e sistemas mais complexos necessitamos mostrar se uma mudança é melhoria com evidência, em geral utilizando dados coletados formalmente nos processos.

Figura 1 – Definição Operacional de Melhoria



Fonte: Petenate (2017).

Mudanças fundamentais que resultam em melhoria alteram a maneira como o trabalho ou atividade é feita ou a composição de um produto, também produzem diferenças claras e positivas nos resultados referentes a padrões históricos e, por fim, têm um impacto duradouro. Não se trata apenas de medição, mas sem esta, haverá dificuldade em saber se a mudança realmente resultou em melhoria.

Para responder a terceira questão, referente a que mudanças podemos fazer que resultarão em melhoria, deve-se levar em conta que, em um bom processo, é fácil fazer as coisas da maneira correta e dificilmente cometem-se erros. O mesmo vale para produtos.

Segundo Petenate (2017), as ideias para obter-se boas mudanças nos produtos e processos podem vir de quatro meios:

- Análise crítica sobre processo/produto atual;
- Uso de novas tecnologias;
- Pensamento criativo;
- Uso de conceitos de mudança.

O ciclo PDSA (*plan, do, study, act*) é o componente do Modelo de Melhoria que guia o aprendizado em um projeto.

Figura 2 – Modelo de Melhoria

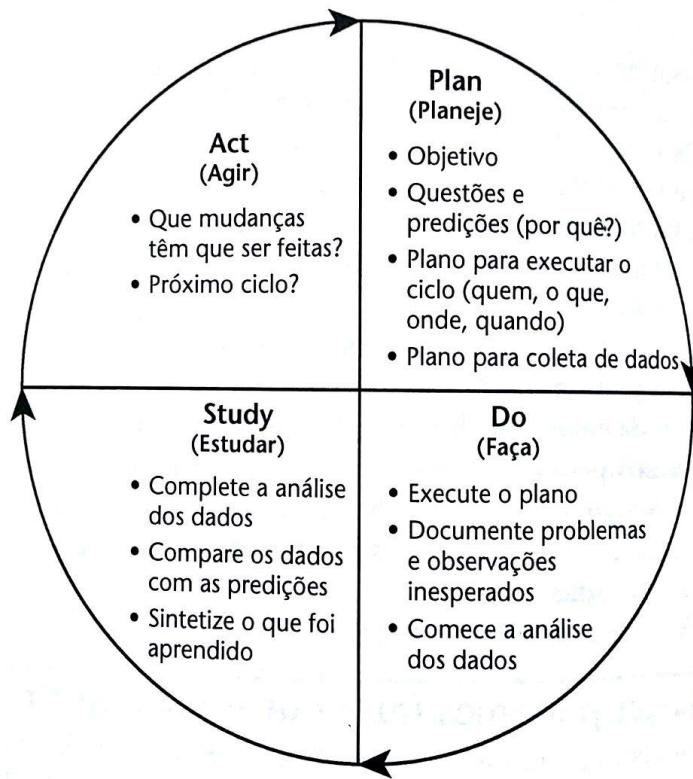


Fonte: Langley et al. (2009).

2.2.1 Ciclo PDSA

O ciclo PDSA pode ser utilizado para transformar ideias em ação e conectar a ação com a aprendizagem. A Figura 3 fornece alguns detalhes sobre o que deve ser considerado em cada fase do ciclo.

Figura 3 – O ciclo Plan-Do-Study-Act



Fonte: Langley et al. (2009).

Segundo Langley et al. (2009), para ser considerado um ciclo PDSA, quatro aspectos da atividade devem ser facilmente identificados:

1. *Plan*: a oportunidade para aprender, testar ou implementar uma mudança foi planejada e incluiu perguntas a serem respondidas, predições das respostas para as perguntas e um plano para coleta dos dados para responder as perguntas
2. *Do*: o plano foi executado. As observações foram feitas e registradas, incluindo aspectos que não faziam parte do plano
3. *Study*: foi reservado tempo para analisar os dados e compará-los com as predições

4. *Act*: a ação foi racionalmente baseada no que foi aprendido.

O ciclo PDSA serve tanto para a aprendizagem quanto para a ação. Com ele, constrói-se conhecimento para ajudar a responder as três questões fundamentais; testa-se e implementa-se mudanças.

Em uma iniciativa de melhoria, pode-se utilizar o ciclo PDSA de forma sequencial para entender a situação atual de um processo, e para desenvolver, testar e implementar mudanças – um ciclo “puxa” o outro. Isso pode ser pensado como uma construção consciente do conhecimento apoiada no que aprendemos a partir de um ciclo ou teste anterior (ANGLEY et al., 2009).

O Quadro 1, localizado na página seguinte, resume as etapas do ciclo e algumas ferramentas, técnicas, programas ou métodos que podem ser utilizados em cada etapa. Não necessariamente utilizam-se todas as ferramentas.

Quadro 1 – O Ciclo PDSA e suas ferramentas, técnicas, programas e métodos (continua)

Ciclo	PDSA - Ações para Otimização dos Processos	Ferramentas, Técnicas, Programas ou Métodos Utilizados
P	Selecionar a oportunidade de melhoria -Criar uma lista de oportunidades; -Garantir que não omitiu alguma relevante; - Avaliar e escolher a mais importante.	
	Identificar os requisitos dos clientes -Identificar quem são os clientes desse processo; - Conhecer e analisar suas exigências.	- Fluxograma - Lista de verificação - Histograma - Gráficos de controle
	Identificar o problema - Verificar as causas; - Identificar as causas prioritárias; - Verificar qual o desvio entre a situação real e a desejada; - Definir o problema a resolver.	- Diagrama de Pareto - Matriz de prioridade - Brainstorming - Diagrama de Causa e Efeito - Diagrama de Concentração
	Recolher dados - Desenhar o fluxograma do processo; - Selecionar os indicadores; - Recolher dados para análise.	- Diagrama Seta - Diagrama Árvore - Diagrama Programa de Processo Decisório - Diagrama de Afinidades
	Identificar as causas - Elaborar o diagrama causa-efeito; - Selecionar as causas mais prováveis.	- Diagrama de Relações - Diagrama Matriz - Diagrama Matriz de Análise de Dados
	Procurar soluções - Definir critérios para as soluções; - Procurar as soluções potenciais.	
	Preparar o plano de implementação - Estabelecer objetivos de melhoria; - Preparar o plano de ação; - Identificar pontos de controle.	
	Capacitar - Educar; - Treinar.	- Lista de verificação - Histograma
	Implementar a solução - Executar o plano e implementar a solução.	- Gráficos de controle

Quadro 1 – O Ciclo PDSA e suas ferramentas, técnicas, programas e métodos (conclusão)

Ciclo	PDSA - Ações para Otimização dos Processos	Ferramentas, Técnicas, Programas ou Métodos Utilizados
S	Avaliar os resultados obtidos - Medir o desvio entre os resultados obtidos e os planejados; - Identificar os benefícios.	- Fluxograma - Carta de Controle - Diagrama de Pareto - Diagrama de Dispersão
	Identificar as causas dos desvios - Onde falhou o planejamento? - Por quê?	
	Implementar as ações corretivas - Introduzir as modificações ao plano.	
	Aplicar a solução encontrada - Mudar para o "novo" processo; - Torná-lo permanente; - Rever os procedimentos.	- Gráficos de Controle - Reengenharia - Benchmarking - Programa 5S
	Refletir - O que se aprendeu? - Qual o novo ponto de partida para a melhoria?	

Fonte: adaptado de Rodrigues (2006).

2.3 A Metodologia DMAIC

A implementação da metodologia SS apresenta cinco etapas principais que devem ser realizadas em sequência desde a definição do problema até a implementação de soluções para atingir o objetivo final da empresa. São elas: *Define* (Definir), *Measure* (Medir), *Analyze* (Analisar), *Improve* (Melhorar) e *Control* (Controlar).

George (2002) sumariza as etapas da seguinte forma:

- *Define*: confirmação da oportunidade e definição de barreiras e metas do projeto;
- *Measure*: levantamento de informações para estabelecer a “situação atual”, o que está realmente acontecendo no ambiente de trabalho com o processo como é hoje;
- *Analyze*: interpretação das informações para estabelecer relações de causa-efeito;
- *Improve*: desenvolvimento de soluções centradas nas causas confirmadas;
- *Control*: implementação de procedimentos para garantir que as melhorias/ganhos sejam sustentáveis.

Entre cada fase é importante que a equipe se reúna para revisar o que foi feito e aprendido e também avaliar se as metas do projeto estão alinhadas com as metas da empresa. O Quadro 2 exemplifica algumas ferramentas que podem ser utilizadas em cada etapa do DMAIC.

Quadro 2 – Conjunto de ferramentas para o DMAIC

Process	Activity	Tools	
Define	1. Establish Team Charter 2. Identify Sponsor and Team Resources 3. Administer Pre-Work	Project ID Tools Project Definition Form NPV/IRR/DCF	PIP Management Process SSPI Toolkit Analysis
Measure	4. Confirm Team Goal 5. Define Current State 6. Collect and Display Data	SSPI Toolkit Process Mapping Value Analysis Brainstorming Voting Techniques Pareto Charts Affinity/ID	C&E/Fishbones FMEA Check Sheets Run Charts Control Charts Gage R&R
Analyze	7. Determine Process Capability and Speed 8. Determine Sources of Variation and Time Bottlenecks	Cp and Cpk Supply Chain Accelerator Time Trap Analysis Multi- Vari Marginal Plots C&E Matrices Problem Definition Forms Opportunity Maps	Regression ANOVA Box Plots Interaction Plots FMEA
Improve	9. Generate Ideas 10. Conduct Experiments 11. Create Straw Models 12. Conduct B's and C's 13. Develop Action Plans 14. Implement	Brainstorming Setup Reduction Process Flow Affinity/ID Hypothesis Testing B's and C's/Force Field Pert/CPM Gantt Charts	Pull Systems TPM Benchmarking DOE Process Mapping Tree Diagrams PDPC/FMEA
Control	15. Develop Control Plan 16. Monitor Performance 17. Mistake-Proof Process	Check Sheets Histograms Control Charts Interactive Reviews	Run Charts Scatter Diagrams Pareto Charts Poka-Yoke

Fonte: Adaptado de George (2002).

2.3.1 **Define** (Definir)

A primeira etapa do processo tem como objetivo definir e comunicar o foco e os indicadores do projeto ao grupo de melhoria.

As ferramentas utilizadas têm a função de documentar a informação. É preciso ter claro quais são as expectativas de retorno, quem são os membros do time, os patrocinadores etc. Algumas atividades que serão realizadas são: fazer o SIPOC do projeto e o contrato do mesmo.

Em um projeto de melhoria, o contrato é um acordo entre o patrocinador e o time de melhoria sobre o que é esperado do projeto (PETENATE, 2017). Ele deve conter uma descrição clara e objetiva da oportunidade que se pretende sanar. A descrição do problema junto com a meta estabelecida resulta no *Business Case* que diz o benefício do impacto no negócio.

Figura 5 – Contrato de um Projeto SS

Contrato de projeto

Patrocinador:

Líder da Equipe:

Demais integrantes:

Contexto/ descrição:

Business case:

Q3. Atividades iniciais do projeto

Problema:

Q1. O que estamos tentando realizar?	Q2. Como saberemos que a mudança é uma melhoria?		
Objetivos (O que, onde, quanto, quando)	Indicadores	Desempenho atual	Meta

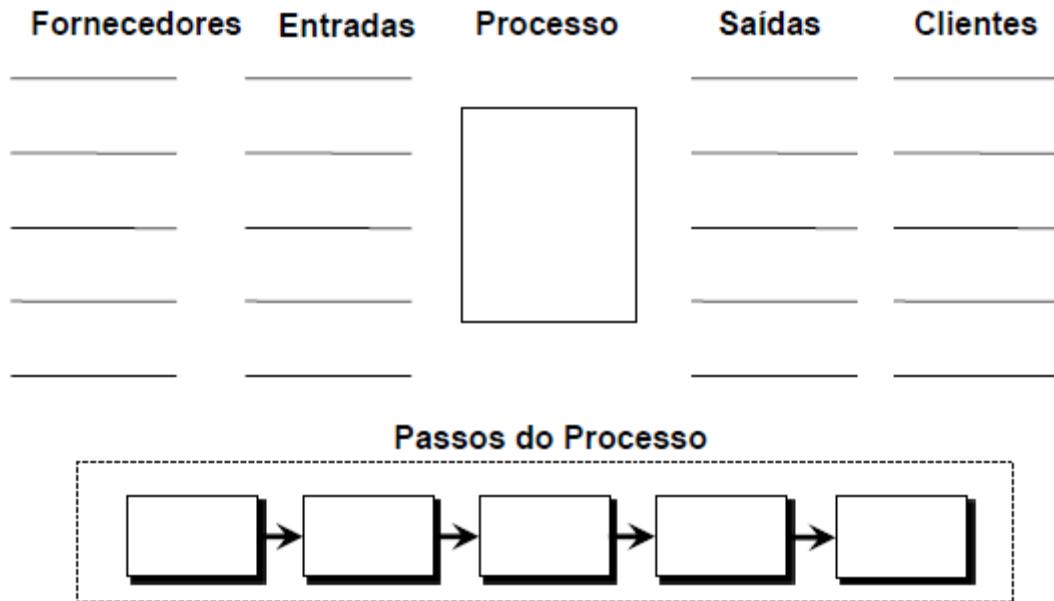
Restrições para as atividades

Fonte: Petenate (2017).

Ao estabelecer as metas do projeto é preciso ter em mente que estas devem ser desafiadoras, mas possíveis para evitar que as pessoas percam a motivação, se comportem de forma antiética para atingir objetivos ou que o sistema seja comprometido.

A ferramenta SIPOC é usada para representar os aspectos relevantes do processo que será foco de melhoria e tem como objetivo identificar e documentar em um diagrama os aspectos relevantes do processo (PETENATE, 2017).

Figura 6 – Modelo de Formulário SIPOC



Fonte: Petenate (2017).

Na revisão do que foi feito nessa etapa, é necessário saber como a definição do projeto foi alterada ou refinada (caso haja alterações), quais evidências existem para confirmar a oportunidade de agregar valor e recursos que serão utilizados e, por fim, o plano do time para conduzir a fase de Medição.

2.3.2 **Measure (Medir)**

Na segunda etapa, o objetivo é conhecer o processo em detalhes (Porta do Processo) e avaliar o desempenho do processo através de dados (Porta de Dados) (PETENATE, 2017). Muitas das ferramentas de coleta de dados serão utilizadas primeiro nesta fase e, depois, em outras etapas para confirmar se houve melhoria no processo.

As atividades desenvolvidas nessa etapa incluem: identificação das variáveis a serem medidas, desenvolvimento de planos para coletar e analisar dados, verificação da estabilidade do processo e, por fim, o cálculo da capacidade do processo. É imprescindível que os dados coletados estejam corretos e atualizados. Muitas vezes os dados não estão sendo armazenados da forma que deveriam ou não estão sendo monitorados. Sendo assim, antes de começar a analisar os dados, pode ser que seja necessário criar novas formas de medição ou que as antigas sejam melhoradas para

garantir que os esforços sejam focados na área com maior potencial para melhorias (WATSON, 2004).

A medição é um processo que atribui um valor a uma característica, ou seja, ela estabelece a relação entre uma propriedade e um valor em uma escala. Pode-se utilizar questionários, instrumentos, entre outros meios para a mensuração.

Na medição de dados, é importante distinguir quais dados são variáveis numéricas e quais são variáveis categóricas. A primeira apresenta valores numéricos que fazem sentido e podem ser contínuas ou discretas. A segunda não possui valores quantitativos, ou seja, representam uma classificação dos indivíduos e podem ser nominais ou ordinais.

Quadro 3 – Classificação de dados

Tipo de Variáveis		Característica de Qualidade	Dado registrado
Categóricas (Qualitativo)	Classificação	Desempenho da entrega	Entrega no prazo/atrasado
		Retrabalho	Sem/Com
		Arranhões	Sem/Com
Numérico (Quantitativo)	Contagem	Mudanças	Número de mudanças/projeto
		Acidentes	Número de acidentes/por mês
		Arranhões	Número de arranhões/superfície
	Contínuos	Tempo	Minutos atrasados
		Peso	Gramas
		Arranhões	Tamanho em cm do arranhão

Fonte: Petenate (2017).

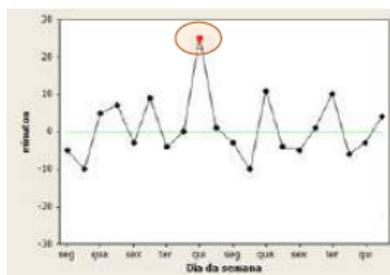
Saber classificar os dados que serão medidos é parte fundamental do processo de planejamento e estratégia pois o custo, tempo e tamanho da amostra necessários para a medição variam de acordo com o tipo de variável. As variáveis de classificação requerem menor tempo e custo para medição mas necessitam de uma grande amostra para obter uma certa quantidade de informação. Já as variáveis de contagem estão no meio do caminho e as contínuas são as que requerem maior tempo e custo para a medição mas retornam mais informações com um tamanho menor de amostra.

A variação é inerente para todos os processos. A expressão variabilidade do processo tem a ver com as diferenças existentes entre as unidades produzidas. Se a variabilidade do processo for grande, as diferenças entre as unidades produzidas serão fáceis de observar; ao contrário, se a variabilidade do processo for pequena, tais diferenças serão difíceis de observar (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2003).

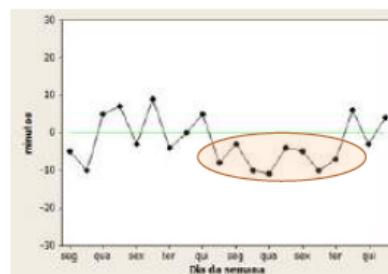
Todo processo possui uma variabilidade natural, ocasionada por causas aleatórias que são impossíveis de extinguir. Quando, além dessas causas, causas especiais estiverem presentes, diz-se que o processo está fora de controle, ou instável. Para evitar que causas especiais apareçam, os processos devem ser permanentemente monitorados e, caso sejam detectadas, inicia-se uma investigação para chegar a causa raiz e consequente eliminação do problema.

Uma ferramenta que pode ser utilizada para identificar causas de variação são os gráficos de controle, onde todos os pontos do gráfico representam uma medição feita do processo e algumas regras são estabelecidas para identificar a presença de causas especiais.

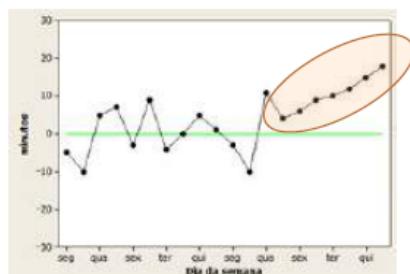
Figura 8 – Regras para a distinção de causas de variação



Um ponto muito
afastado dos demais



Sequência de oito ou mais
pontos abaixo ou acima da média



Sequência de seis ou mais
pontos crescente ou decrescente

Fonte: Petenate (2017).

Deve-se utilizar um gráfico de controle para todos os indicadores do processo uma vez que eles ajudam a identificar causas comuns e especiais de variação. Seus limites de controle são calculados com base estatística e refletem o comportamento do processo. Limites de Controle não são o mesmo que Limites de Especificação pois o primeiro é calculado com dados do processo e representam o que um processo é realmente capaz de fazer. O segundo vem de exigências da engenharia ou do cliente e representam o que alguém quer que o processo faça.

Outra medida importante para se considerar é a capacidade do processo. São medidas que indicam a capacidade de um processo atender às especificações do cliente. Ela permite comparar diferentes processos entre si e o mesmo processo ao longo do tempo; avaliar se os esforços de melhoria estão produzindo resultados desejados e auxilia na priorização de projetos de melhoria (PETENATE, 2017). Os índices de capacidade de processo (ICPs) são parâmetros adimensionais que indiretamente medem o quanto o processo consegue atender às especificações (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2003). Sempre que existir especificações é possível calcular a capacidade do processo. Os índices mais utilizados são o Cp (capacidade de processo) e o Cpk (índice de capacidade do processo).

O índice Cp é utilizado para avaliar a amplitude do processo em comparação com a especificação. Ele é insensível a alterações na média do processo, portanto só deve ser utilizado quando a mesma está centrada, já que não considera os deslocamentos dos resultados devido às causas especiais. O Cpk avalia a centralização do processo e é sensível aos deslocamentos ocasionados por causas especiais.

Após definir quais características serão medidas e colher amostras de medições, podemos calcular os índices baseado no Limite Superior de Especificação (LSE), no Limite Inferior de Especificação (LIE), na média do processo (μ) e no desvio padrão calculado (σ):

$$Cp = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

$$Cpk = \text{Mín} \left\{ \frac{LSE - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \right\}$$

É desejável que os valores de Cp e Cpk sejam o maior possível pois, assim, a curva de variação é menor e o processo é capaz de produzir mais peças dentro da especificação.

Quadro 4 – Classificação do processo com respeito a sua capacidade

Classificação	Valor de Cpk	Itens fora das especificações (ppm)	
		Especificação bilateral e processo centrado (ICP apropriado: $Cp = Cpk$)	Processo não centrado e/ou especificação unilateral (ICP apropriado: Cpk)
Capaz	$\geq 1,33$	70	35
Razoavelmente capaz	$1 \leq Cpk \leq 1,33$	Entre 70 e 2700	Entre 35 e 1350
Incapaz	Menor que 1	mais de 2700	mais de 1350

Fonte: Adaptado de Costa, Epprecht e Carpinetti (2003).

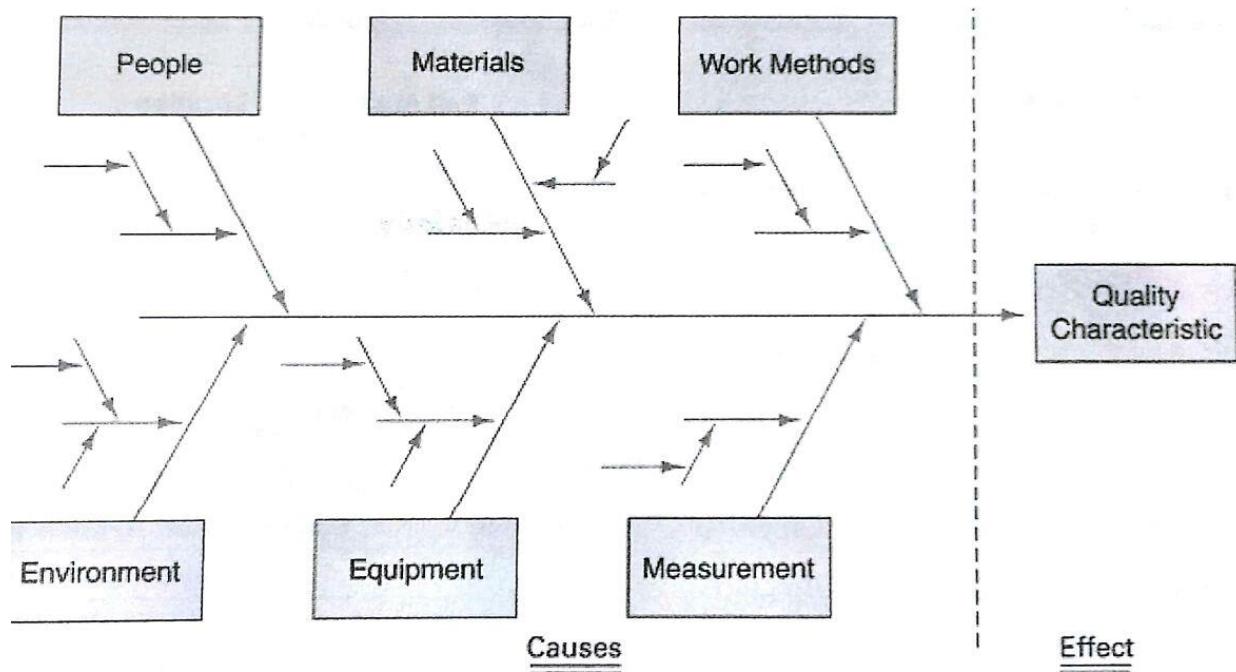
2.3.3 Analyze (Analisar)

A terceira etapa tem como objetivo identificar as variáveis com maior influência no processo e, assim, determinar as oportunidades de melhoria e causa raiz do problema. Ao final da fase de Medição do DMAIC, o time tem uma visão mais clara do processo e quais passos mais contribuem para atrasos, defeitos de qualidade, etc. Na análise, a meta é desenvolver conhecimento que ajudará o time a otimizar o uso de seu tempo na fase de Melhoria. Assim, grande parte dessa etapa é dedicada a explorar as relações entre variáveis de entrada e saída (GEORGE, 2002).

Duas ferramentas bastante utilizadas nesta etapa são o diagrama de causa e efeito e a análise de variância (ANOVA).

A primeira é uma técnica para descobrir, organizar e resumir conhecimento de um grupo a respeito das causas que contribuem para um determinado efeito. Também é conhecido como Diagrama Espinha de Peixe ou Diagrama de Ishikawa (PETENATE, 2017). Seis causas “comuns” de problemas são: método, mão-de-obra, máquina, meio-ambiente, material e medição. As causas identificadas no diagrama são, nesse momento, teorias que as pessoas têm sobre as possíveis causas. É necessário testar essas teorias reunindo evidências, geralmente com dados ou então através da realização de experimentos.

Figura 10 – Diagrama de Ishikawa



Fonte: Besterfield (2013).

A segunda técnica diz respeito à análise de variância. Todo processo de medição possui erros que alteram o valor final observado. A variação da medição é dividida em repetibilidade, devida a variação do equipamento, e reprodutibilidade, devido à variação do inspetor de medição. É chamado de *Gauge Repeatability and Reproducibility* (GR&R). A análise de variância avalia o sistema de medição para determinar sua viabilidade. A técnica determina a quantidade de variação devida a repetibilidade e reprodutibilidade e combina os dois para evidenciar a variação devida à medição. Uma razão P/T, que compara a precisão (P) ou variação de medição com a variação total (T) do processo é determinada. Se a razão P/T é baixa, então o efeito nas medições do processo é baixa; todavia, se a razão for alta então a variação na medição possui uma influência muito grande no valor observado. Uma razão P/T menor que 0,1 é aceitável e uma razão maior que 0,3 é inaceitável (BESTERFIELD, 2013).

2.3.4 Improve (Melhorar)

Durante a maior parte das etapas de Medição e Análise, o time é desafiado a pensar criativamente e inclusivamente ao decidir quais potenciais causas investigar, quais dados

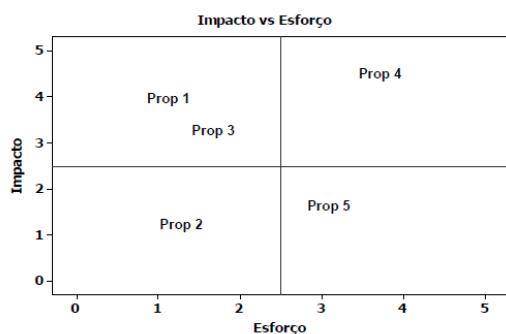
coletar, como exibir e interpretar esses dados. Na etapa de Melhoria, o time precisa mudar sua forma de pensar abertamente para uma abordagem focada e prática: agora que eles sabem quais são as causas, quais mudanças específicas eles podem fazer no processo para sanar essas causas e quais métodos atingirão os efeitos desejados? (GEORGE, 2002).

Testes são realizados para avaliar uma ou mais mudanças e, nesses testes, falhas são esperadas e lições são aprendidas. A validação das mudanças pode ser feita através da ferramenta Planejamento de Experimentos (*Design of Experiments, DOE*). No DOE, todos os fatores são testados simultaneamente em padrões muito específicos, assim descobre-se a interação entre fatores. Nada é feito ou escolhido ao acaso. Os efeitos que os *inputs* possuem sobre os *outputs* que estão sendo analisados são revelados e, assim, identifica-se quais são os fatores de maior influência no processo.

Para calcular os efeitos que as variáveis possuem no processo, o método analisa os resultados obtidos enquanto uma delas está fixada. A média das variações encontradas é chamada de efeito principal da variável e deve ser calculada para todas (MAGALHÃES, 2001).

Outra ferramenta comumente utilizada nesta etapa é a Matriz de Impacto e Esforço que evidencia o esforço necessário para manter ou implementar uma melhoria de processo *versus* o impacto que a mesma causará. É aconselhável escolher as propostas que combinam um alto impacto a um baixo esforço.

Figura 11 – Matriz de Esforço e Impacto



A proposta 1 poderia ser escolhida pois tem alto impacto e baixo esforço

Fonte: Petenate (2017).

Baseado no aprendizado dos testes, uma mudança pode ser implementada, abandonada, modificada ou testada sobre outras condições para garantir melhores resultados para o processo.

2.3.5 *Control* (Controlar)

O objetivo da fase *Control* é garantir que os ganhos sejam preservados, até que novos conhecimentos e dados mostrem que há uma maneira ainda melhor de operar o processo (GEORGE, 2002). Nesta fase se perpetuam os conhecimentos e as melhorias conquistados.

As principais atividades desta etapa incluem: realizar o plano de implementação; documentar o novo sistema; treinar os envolvidos; monitorar o sistema e estender o conhecimento e as melhorias conquistadas.

Ao realizar o plano de implementação pode-se utilizar a ferramenta do 5W2H (*What, Who, When, Where, Why, How, How much*), que é um método relativamente simples de gerenciamento de atividades de um projeto. Ele funciona como um mapeamento de atividades, onde ficará estabelecido o que será feito, quem fará o quê, em qual período de tempo, em qual área da empresa e todos os motivos pelos quais esta atividade deve ser feita. Também deverá figurar nesta tabela como será implementada a melhoria e quanto ela custará. Com isso, elimina-se qualquer dúvida que possa surgir sobre um processo ou sua atividade.

Quadro 5 – O Método 5W2H

O que (What)	Quem (Who)	Quando (When)	Onde (Where)	Porque (Why)	Como (How)	Quanto (How much)

Fonte: Petenate (2017).

É de extrema importância o registro e documentação das mudanças que foram implementadas para o entendimento do processo, a educação e treinamento de pessoas que operam o processo, e a melhoria contínua do mesmo. Caso a mudança seja complexa, um treinamento extensivo poderá ser necessário para todos os envolvidos.

Além da documentação, é preciso monitorar constantemente o sistema. O monitoramento através de indicadores é um meio de verificar se as mudanças propostas estão sendo efetivamente implementadas. A medição fornece uma fonte de aprendizagem durante a implementação e um método de manutenção após a implementação. Gráficos de tendência (ou de controle) dos indicadores devem ser utilizados para monitorar o processo depois das mudanças implementadas (PETENATE, 2017).

A revisão da fase de Controle é tanto um fechamento formal para o projeto quanto um fórum onde os líderes do processo e outros gerentes podem avaliar quais recursos serão necessários para garantir que o processo não regreda para sua performance inicial. George (2002) cita quatro elementos chave para a revisão:

- Medidas: quais indicadores vão ser monitorados para avaliar a performance do processo?
- Monitoramento: quem irá coletar os dados dos indicadores? Eles sabem o que fazer dependendo do que os dados mostrarem?
- Sustentabilidade: quais precauções foram tomadas para garantir que todos os operadores do processo estão treinados no novo procedimento e que todo novo membro receberá o treinamento de forma idêntica?
- Alavancando a aprendizagem: quais boas práticas foram estabelecidas no projeto? Como estão sendo documentadas? Quais outras lições o time aprendeu?

Além de todas as ferramentas citadas anteriormente, outras podem ser utilizadas para facilitar a implementação da metodologia SS. A escolha de quais ferramentas utilizar deve ser feita pelo time de melhoria e pode mudar de projeto para projeto.

3. MÉTODO DE PESQUISA

O presente caso trata-se de uma simulação, ou seja, os dados e situações apresentados não dizem respeito à uma indústria real e têm o propósito de auxiliar na aplicação dos conhecimentos de Seis Sigma para a obtenção da certificação *Green Belt* através da simulação de cenários utilizando um software apropriado.

Foi utilizado o programa simulador *Mid-State Brick Factory* para geração de dados. Esse programa simula o funcionamento de uma fábrica de tijolos de metal.

O programa simulador permite a geração de dados para quatro diferentes características de qualidade referentes aos blocos de metal: comprimento, rugosidade da superfície, número de entalhes e a existência ou não de rebarbas. Na geração dos dados, pode-se escolher os intervalos de tempo entre coletas de amostras e o número de unidades a serem amostrados de cada vez.

É possível manipular doze fatores no total, divididos em três categorias. Os nomes dos fatores estão entre parênteses:

- Sistemas de medição: pode-se selecionar diferentes sistemas de medição para o comprimento (*length gage*) e para a rugosidade (*micro gage*).
- Fornecedores: pode-se selecionar diferentes fornecedores para as barras (*brick vendor*) que, quando cortados, originarão os blocos, e para a serra (*saw blade supplier*) que corta os blocos.
- Ajuste da máquina: pode-se controlar sete fatores da máquina que corta os blocos. Estes fatores são: velocidade da serra (*length*), velocidade de aproximação da serra (*speed*), pressão do grampo de fixação da barra (*clamp pressure*), pressão do líquido refrigerante da serra (*coolant pressure*), concentração do líquido refrigerante da serra (*coolant conc.*), ajuste da guia da serra (*guide setting*), posição da barra (*part position*) e freqüência de mudança da serra (*blade chg/freq.*)

Após a geração dos dados, utilizou-se o software *Minitab* para gerar gráficos e realizar as análises necessárias. O Minitab é um programa de computador voltado para fins estatísticos com interface similar ao Microsoft Excel mas com a capacidade de executar

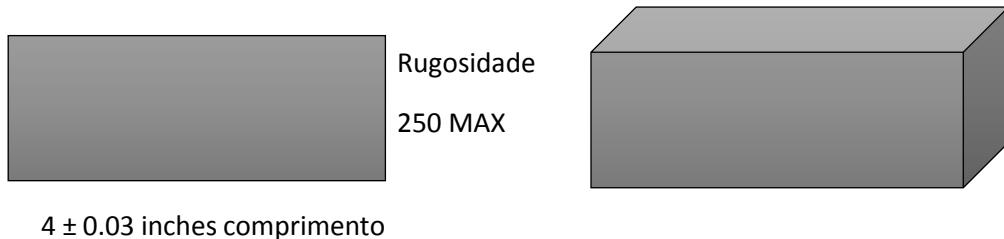
análises mais completas e complexas. O programa é simples e oferece ferramentas de Controle da Qualidade, Planejamento de Experimentos (DOE), Análise de Confiabilidade e Estatística Geral, entre outros que serão utilizados ao decorrer do trabalho.

3.1 Apresentação da Empresa (Estudo de Caso Simulado)

A empresa Tijolinho SA adquiriu recentemente três plantas que produzem blocos de metal. A empresa que era proprietária das plantas estava atravessando dificuldades, com muitas reclamações dos clientes devido a constantes problemas de qualidade com seu produto. Cada uma das plantas usa o mesmo processo e os mesmos equipamentos para produzir os blocos.

A empresa adquire barras de metal e serra as barras para produzir os blocos. Essa é a operação básica realizada pela empresa. Abaixo, um desenho do bloco produzido com as especificações para o comprimento e o acabamento do bloco. Arranhões e entalhes na superfície do bloco ou presença de rebarbas são indesejáveis

Figura 13 – Desenho esquemático do bloco de metal produzido



Fonte: Adaptado de Petenate (2016).

O time de melhoria representa uma nova gerência que foi trazida para operar uma das plantas. Ele será responsável por tornar o processo de produção de blocos de metal um sucesso.

A planta opera em um turno único das 6 h às 14h, todos os dias. O processo de serra foi projetado para produzir em torno de um tijolo por minuto. Os antigos proprietários informaram que cada unidade de serra é capaz de produzir 300 tijolos por dia devido a problemas com qualidade. Uma primeira avaliação junto aos funcionários mostrou um cenário preocupante: além dos problemas com a qualidade do produto, os funcionários

mostraram-se bastante desanimados e com a moral baixa devido à falta de uma política de recursos humanos por parte dos antigos proprietários.

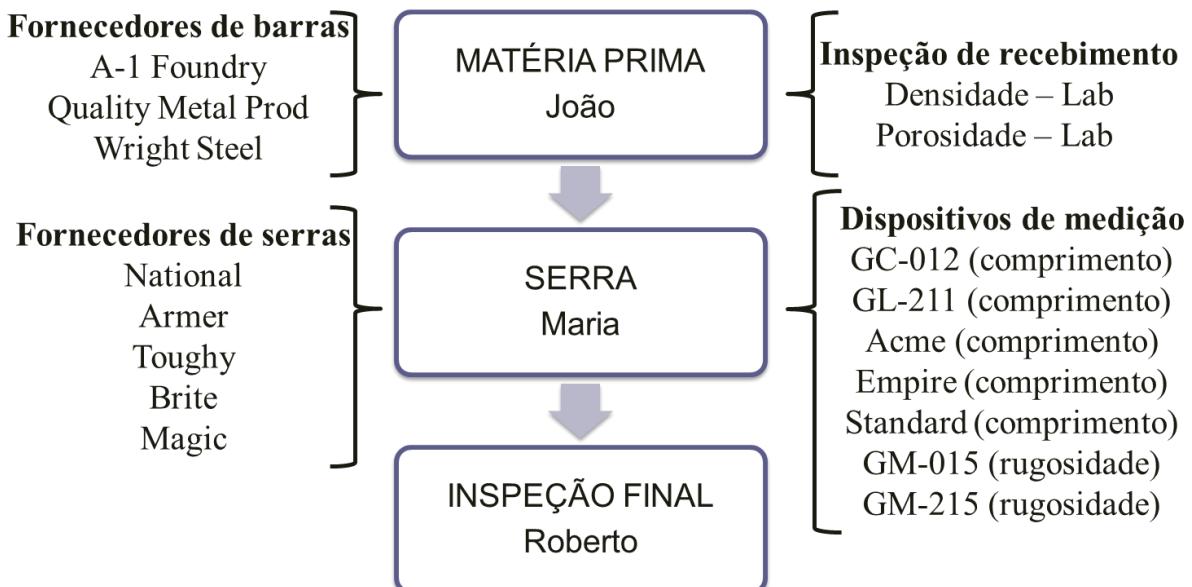
A empresa líder nesse ramo recentemente notificou seus clientes que eles estarão em breve despachando tijolos que satisfazem todos os requisitos de qualidade de seus clientes. A missão do time é simples: tornar a planta um sucesso fazendo o melhor bloco de metal do mundo.

Cada planta da empresa possui 7 funcionários e os atuais proprietários necessitam de informações objetivas por parte do time de melhoria para decidir o que fazer com as fábricas: torná-la uma empresa rentável e com alta qualidade ou fechá-la.

3.2 O Processo Atual

O processo atual e seus responsáveis pode ser esquematizado como segue:

Figura 14 – Descrição do processo



Fonte: Adaptado de Petenate (2016).

Etapas do processo de serra:

1. Operador coloca a barra na máquina na posição de ser serrada;
2. Operador aperta o botão da máquina para iniciar a operação;
3. Máquina prende a barra com grampos;
4. O líquido refrigerante começa a lubrificar a barra no local que vai ser serrada;

5. A lâmina da serra inicia a rotação;
6. A serra avança na barra;
7. A barra é serrada produzindo um bloco;
8. A lâmina da serra retorna à posição de início;
9. A lâmina da serra para;
10. O líquido refrigerante é interrompido;
11. O bloco produzido é retirado da máquina;
12. O bloco produzido é avaliado.

Tabela 2 – Descrição dos fatores do processo

Fator	Amplitude	Descrição
Velocidade da serra (<i>saw speed</i>)	2 - 900	A velocidade da lâmina da serra em pés por minuto
Avanço da serra na barra (<i>feed rate</i>)	0,00001 - 20	A taxa com que a lâmina da serra atravessa a barra em polegadas por minuto
Pressão do grampo (<i>clamp pressure</i>)	1,5 - 950	A força com que a barra é presa em libras por polegada ao quadrado
Pressão do líquido de resfriamento (<i>coolant pressure</i>)	2 - 100	A pressão do fluxo do líquido refrigerante na barra em libras por polegada ao quadrado
Concentração do líquido refrigerante (<i>coolant concentration</i>)	0,00001 - 35	A quantidade do líquido refrigerante/quantidade de água em porcentagem Nota: para abaixar a concentração do líquido refrigerante é necessário drenar o sistema de refrigeração e isto requer uma hora e dez minutos
Ajuste da guia (<i>guide setting</i>)	0 - 0,125	Espaço e polegadas entre a guia da serra e a lâmina da serra
Posição da barra (<i>part position</i>)	Lateral (flat) ou vertical (side)	Lateral: a serra tem que percorrer uma polegada de material para completar o corte Vertical: a serra tem que percorrer duas polegadas de material para completar o corte
Fornecedor da serra (<i>blade vendor</i>)	Opcional	Pode-se selecionar diferentes fornecedores de serra
Frequência de mudança da serra (<i>blade change frequency</i>)	1 - 10000	O número de peças produzidas antes de trocar a lâmina da serra

Fonte: Adaptado de Petenate (2016).

3.2.1 Matéria prima e Produto

Informações técnicas sobre a matéria prima:

- Matéria prima: B2A GORILLIUM
- Dureza: 26-34 Rc
- Peso: $8 \pm 0,5$ lbs
- Densidade: $1 \pm 0,05$ lb/in³
- Porosidade: 195 ± 65

Especificações do produto: os blocos devem estar limpos, relativamente livres de entalhes e arranhões e de rebarbas.

3.2.2 Custos

Figura 15 – Detalhamento dos custos

Matéria prima: blocos	Wright	R\$ 19,00/peça	
	A1-A	R\$ 26,00/peça	
	A1-B	R\$ 23,00/peça	
	A1-C	R\$ 20,00/peça	
	A1-D	R\$ 17,00/peça	
	A1-E	R\$ 14,00/peça	
Matéria prima: serra	Varia de acordo com a serra utilizada		
Operação de serra			
	Custo para serrar (salários e encargos, eletricidade, água, telefone, aluguel e impostos, outros materiais)	R\$ 7.200,00	Por mês
	Manutenção preventiva da serra	R\$ 500,00	Por mês
	Custo para medir comprimento	R\$ 0,50	Cada peça
	Custo para medir micro-acabamento	R\$ 0,50	Cada peça
	Custo para avaliar arranhões	R\$ 0,25	Cada peça
	Reparo da máquina	R\$ 200,00	
	Reconstrução da máquina	R\$ 2.500,00	
	Pequenos ajustes da máquina	Varia	Depende do que é ajustado
	Treinar operador	R\$ 500,00	
	Ciclo de estudo	R\$ 100,00	
Reparo de rebarba		R\$ 0,10	Cada peça

Fonte: Adaptado de Petenate (2016).

Além desses custos, é importante saber que:

- Cada peça é vendida por R\$ 35,00
- Peças com comprimento fora da especificação são devolvidas
- Peças com rugosidade acima da especificação ou com entalhes não são devolvidas, mas o cliente estabeleceu um prazo para que os problemas sejam definitivamente corrigidos
- Cada peça refugada pode ser vendida por R\$ 5,00

3.2.3 Dispositivos de medição, máquinas e funcionários

As máquinas e os dispositivos de medição podem ser checados, ajustados, reparados ou recondicionados perante as seguintes condições:

1. Quando um reparo é feito nos equipamentos, espera-se que a equipe de manutenção tenha feito o serviço de forma adequada. É possível solicitar uma verificação nas condições da máquina
2. Se a média da distribuição do comprimento não está de acordo com o especificado é possível solicitar um ajuste no processo de serra para aumentar ou diminuir, por uma quantidade especificada, o comprimento dos blocos sendo produzidos. O mesmo tipo de ajuste pode ser feito nos equipamentos de medição (correção da média)
3. Pode-se realizar reparos nos componentes internos da máquina ou nos instrumentos de medição
4. O processo de recondicionamento acarreta o total recondicionamento da máquina. Pode levar até quatro dias para ser realizado, período em que o equipamento não estará disponível para produzir. Deve-se informar que o recondicionamento nem sempre deixa a máquina melhor do que estava antes.

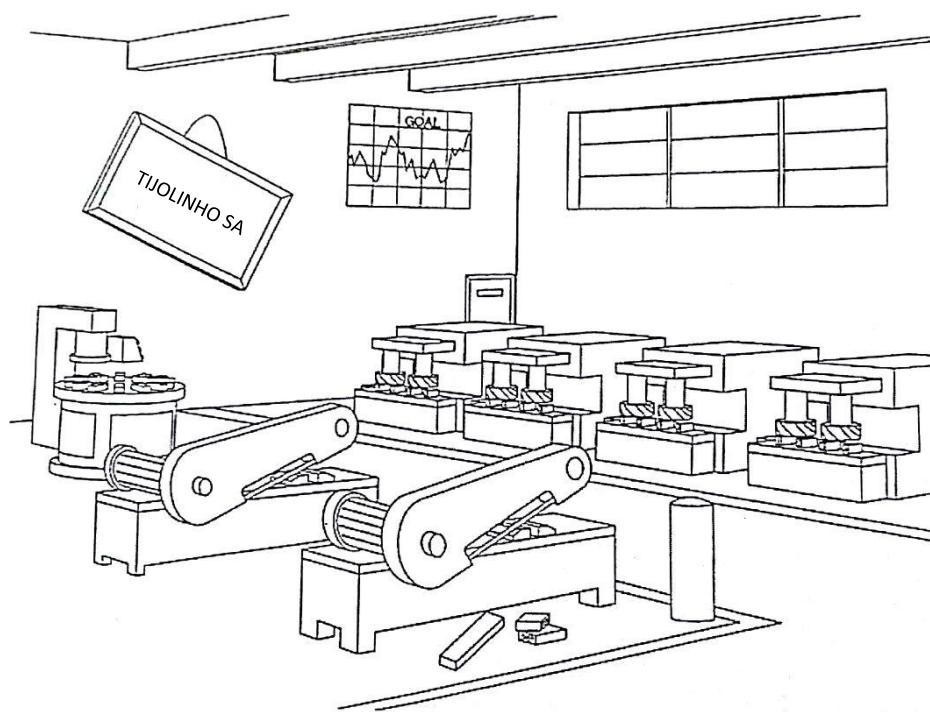
Os funcionários da empresa recebem alguns treinamentos quando ingressam na empresa, mas nenhum deles possui o conhecimento sobre controle estatístico de processos (CEP):

Tabela 3 – Registro de treinamento dos funcionários

Nome	Serra	CEP	Segurança	5S
Ana			X	XX
Caio			X	XXXX
João			X	XXXX
Laura			X	XXXX
Lucas			X	XXXX
Maria	X		X	XXXX
Roberto			X	XXXXXXX

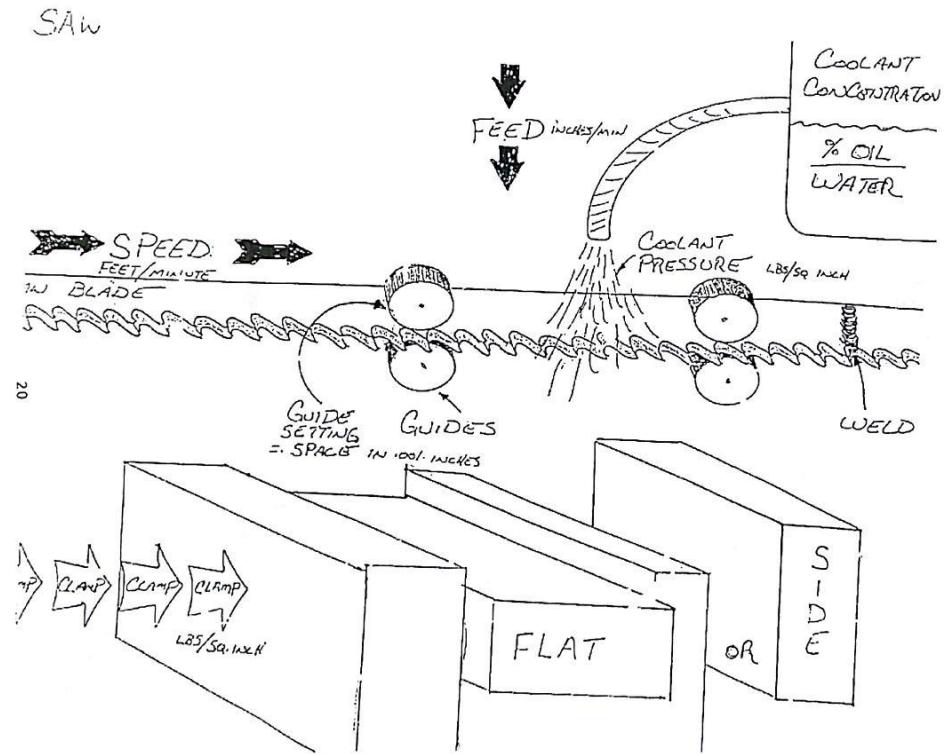
Fonte: Adaptado de Petenate (2016).

Figura 16 – Foto das instalações da Tijolinho SA



Fonte: Adaptado de Petenate (2016).

Figura 17 – Desenho esquemático do funcionamento da serra



Fonte: Adaptado de Petenate (2016).

3.3 Aplicação da Metodologia Seis Sigma e Resultados

A seguir segue a análise e relato dos passos de implementação da Metodologia SS na empresa Tijolinho SA.

A implementação seguirá a metodologia já citada nesse texto, portanto a apresentação da aplicação será dividida pelas fases do DMAIC, mostrando todas as ações e resultados referentes a cada fase.

3.3.1 Define (Definir)

Na primeira etapa do projeto, o time definiu quais eram os problemas do processo como um todo, quais eram as exigências do cliente que deveriam ser usadas como meta, fez-se o mapeamento do processo com o uso da ferramenta SIPOC e, por fim, definiu-se os indicadores que seriam utilizados nas etapas seguintes.

Os principais problemas identificados foram: a escolha da matéria prima, os instrumentos de medição, a ferramenta utilizada no processo (serra) e os parâmetros utilizados na máquina.

Através do *feedback* dos clientes, definiu-se que as metas para o projeto seriam: atingir riscos zero, rugosidade abaixo de 250, mitigar as rebarbas e atingir o comprimento nominal em todas as peças.

Quadro 6 – Ferramenta SIPOC

FORNECEDOR	ENTRADA	PROCESSO	SAÍDA	CLIENTE		
A-1 Foundry	Barras	1) Alimentar máquina 2) Serrar a barra 3) Parada de máquina 4) Retirada do bloco finalizado 5) Inspeção final	Bloco metálico	Mercado		
Quality Metal						
Wright Steel						
National	Serras			Mercado		
Armer						
Toughy	Serras			Mercado		
Brite						
Magic						

Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, foi definido que os indicadores que seriam usados para medir, controlar e melhorar o processo seriam: comprimento, número de riscos, rugosidade, rebarbas e produtividade. Com as entradas, indicadores e objetivos definidos, a segunda etapa do processo DMAIC pode começar.

Conforme exemplificado ao longo da revisão teórica, existem inúmeras ferramentas que podem ser utilizadas para auxiliar nessa etapa, como diagrama de fluxo, diagrama de Ishikawa, VOC (*voice of customer*). Todavia, por se tratar de um caso relativamente simples, não foram necessárias outras análises para complementar a etapa definir.

3.3.2 Measure (Medir)

Os *inputs* monitorados nessa fase foram as barras e as serras. Por se tratar de um software de simulação de processo, estava garantido que os dados coletados eram confiáveis e a equipe tomou cuidado para compila-los de forma simples. O *output* do

processo é o bloco metálico que deveria estar dentro dos padrões pré-definidos que seriam medidos pelas ferramentas disponíveis.

Nesta etapa deu-se início o uso do Ciclo PDSA de forma sequencial, sendo que no total foram realizados 9 ciclos.

PDSA Nº 1

Plan

Objetivo: Conhecer o estado atual das CTC's

Perguntas e Predições:

Comprimento

1. Os dados são de distribuição normal?
2. O processo é estável?
3. O processo é capaz? Provavelmente não

Rugosidade

1. Os dados são de distribuição normal?
2. O processo é estável?
3. O processo é capaz?

Número de riscos

1. O processo apresenta riscos? Sim
2. O processo é estável?
3. O processo é capaz?

Rebarba

1. O processo é estável? Sim
2. O processo é capaz? Provavelmente não

Produção

Atende-se o JIT? Sim, não houve reclamações nesse aspecto.

Plano de coleta de dados

a) Condições de operação

Nada deve ser alterado nas condições de operação utilizadas hoje:

MP usada – A1A

Máquina usada – SW-103

Serra usada – Brite

Instrumentos de medição – comprimento GC012; rugosidade GM015

Operador – Maria

b) Plano de análise dos dados

A coleta de dados será realizada em 2 dias começando às 6 AM.

Quadro 7 – Plano de coleta de dados da fase *Measure*

Plano de Coleta de Dados								
CTQ's	Tipo de dado		Tamanho da Amostra	Especificação	Avaliação do Processo			
					1) Testar a normalidade	2) Verificar estabilidade	3) Medir capacidade	
Comprimento	Contínuo	NM	5 pcs/h	4.0 + 0.03	Sim	Gráfico de Controle - Xbarra, R	Cp, Cpk, %NC, PPM, Sigma do processo	
Rugosidade	Contínuo	Qmm	5 pcs/h	Máx 250	Sim	Gráfico de Controle - Xbarra, R	Cp, Cpk, %NC, PPM, Sigma do processo	
# Riscos	Contagem	Qmm	5 pcs/h	0	X	Gráfico de Controle - u	DPU (defeitos por unidade)	
Rebarba	Classificatória	Qmm	100% da produção de 1h	0	X	Gráfico de Controle - p	%NC, PPM, Sigma do processo	
Produção	Contagem	QMM	Produção de 1h	Mín 30 pcs/h	X	Gráfico de Controle - u ou c	Média e JIT	

Fonte: Elaborado pelo autor.

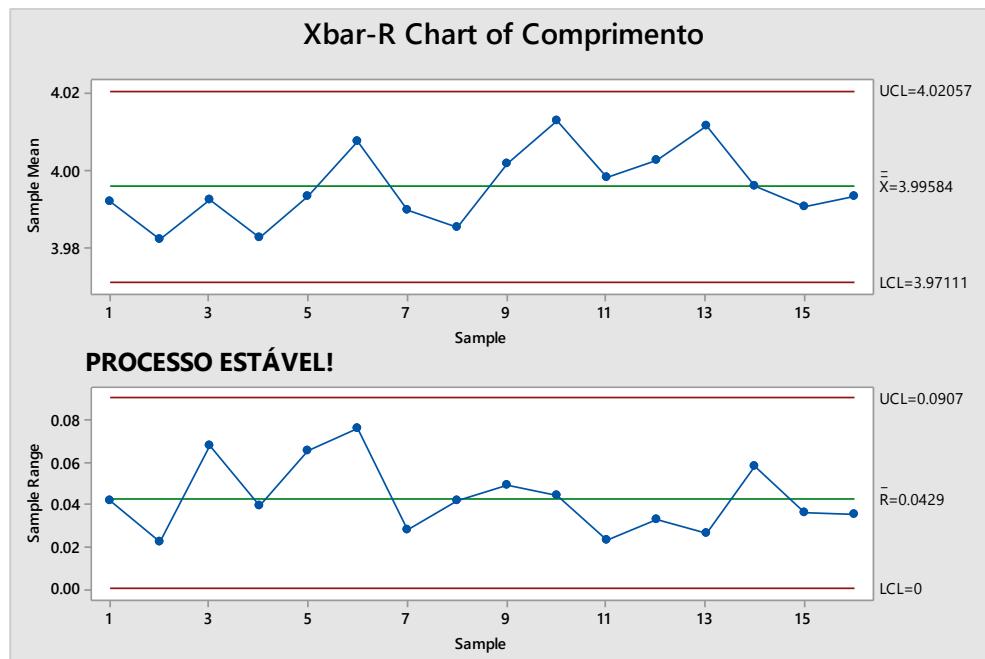
Do

Observações durante a coleta de dados: foram observadas constantes quebras da serra durante as medições (8 quebras ao longo dos dois dias sendo 3 no primeiro e 5 no segundo dia).

Study

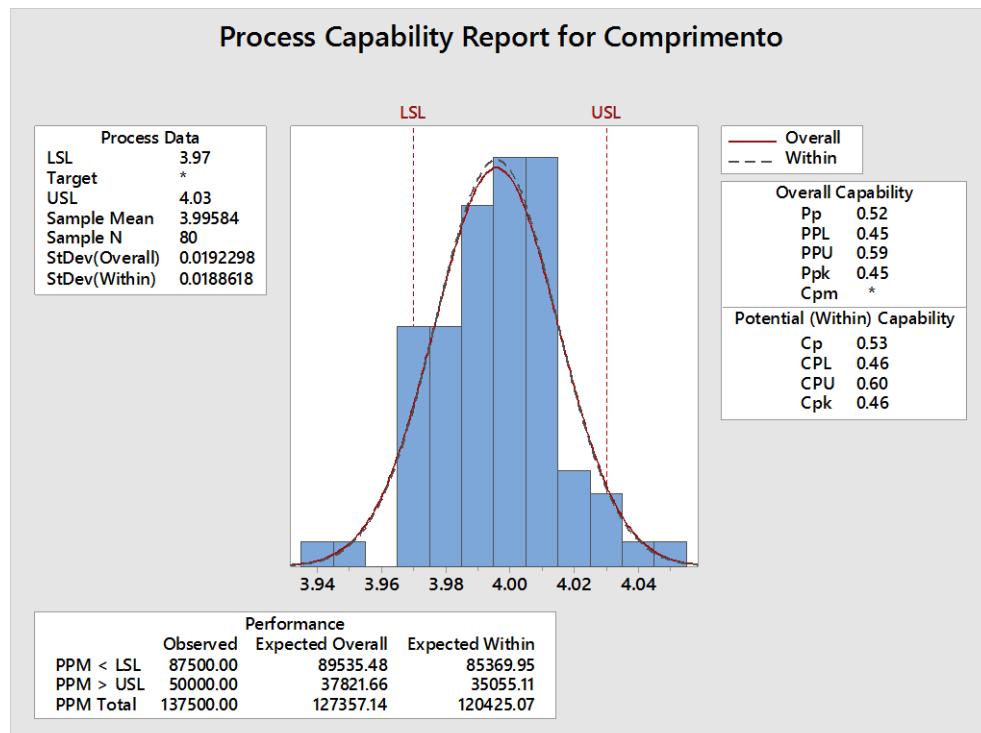
Os indicadores foram medidos para testar a estabilidade e capabilidade do processo e retornaram os seguintes dados:

Gráfico 1 – Xbar-R do comprimento



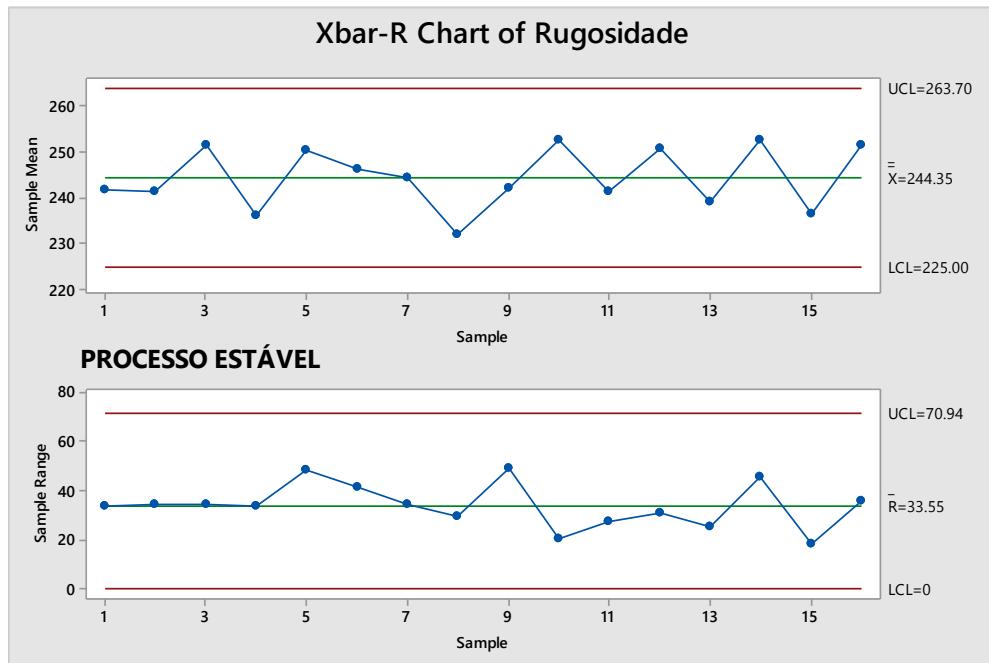
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 2 – Capabilidade em relação ao comprimento



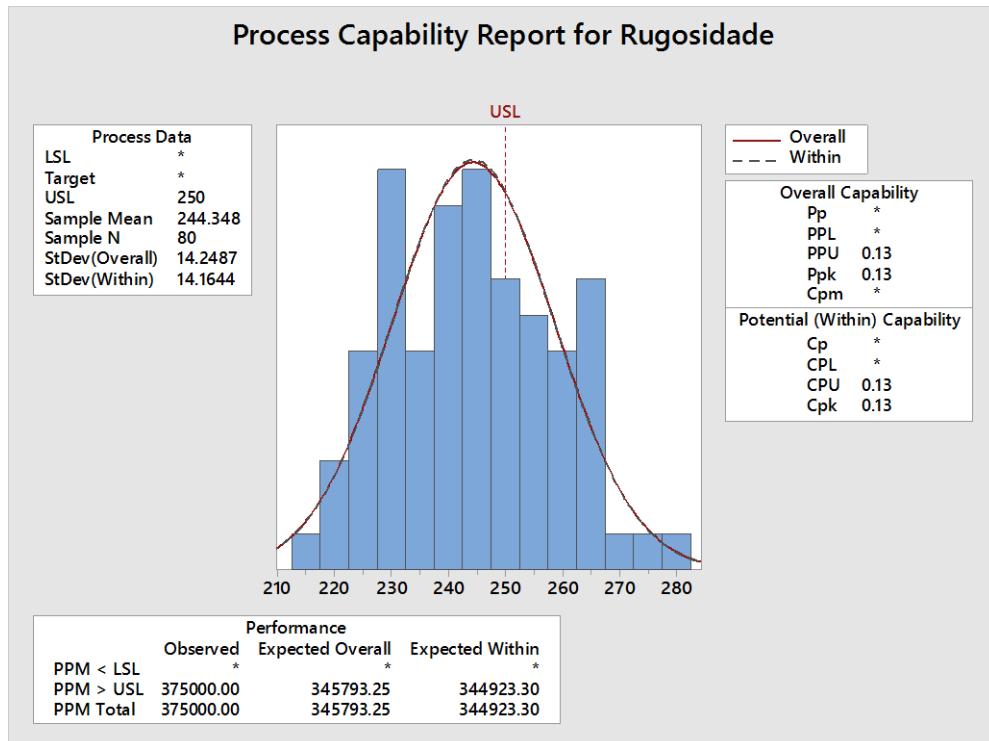
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 3 – Xbar-R da rugosidade



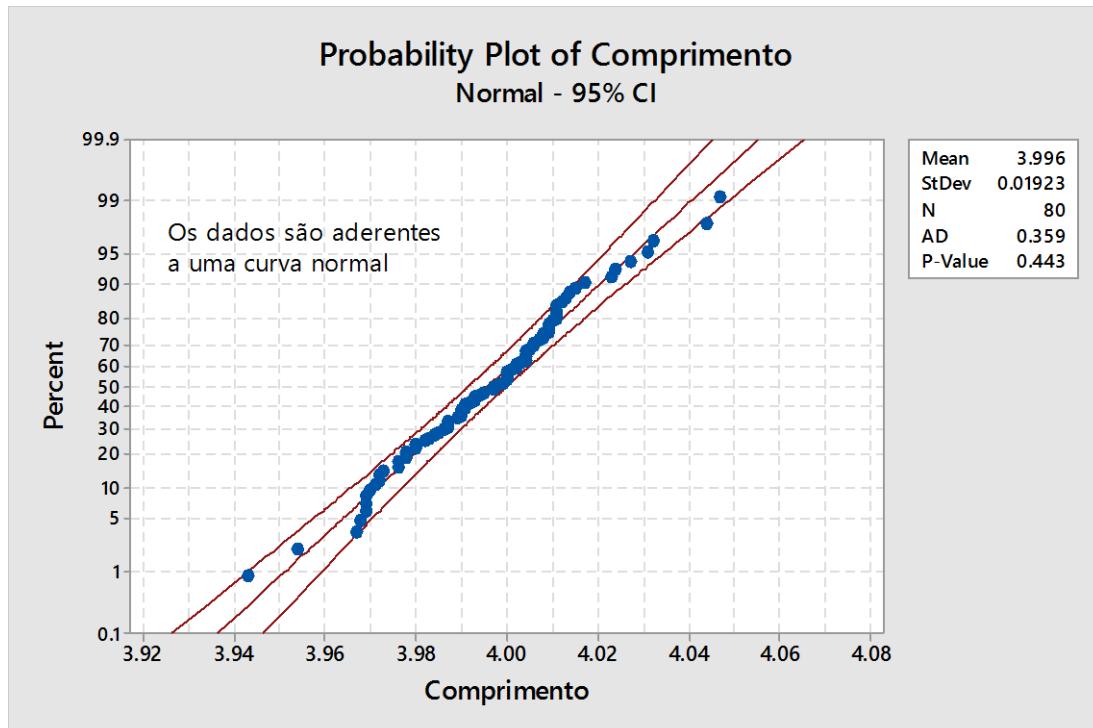
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 4 – Capabilidade em relação à rugosidade



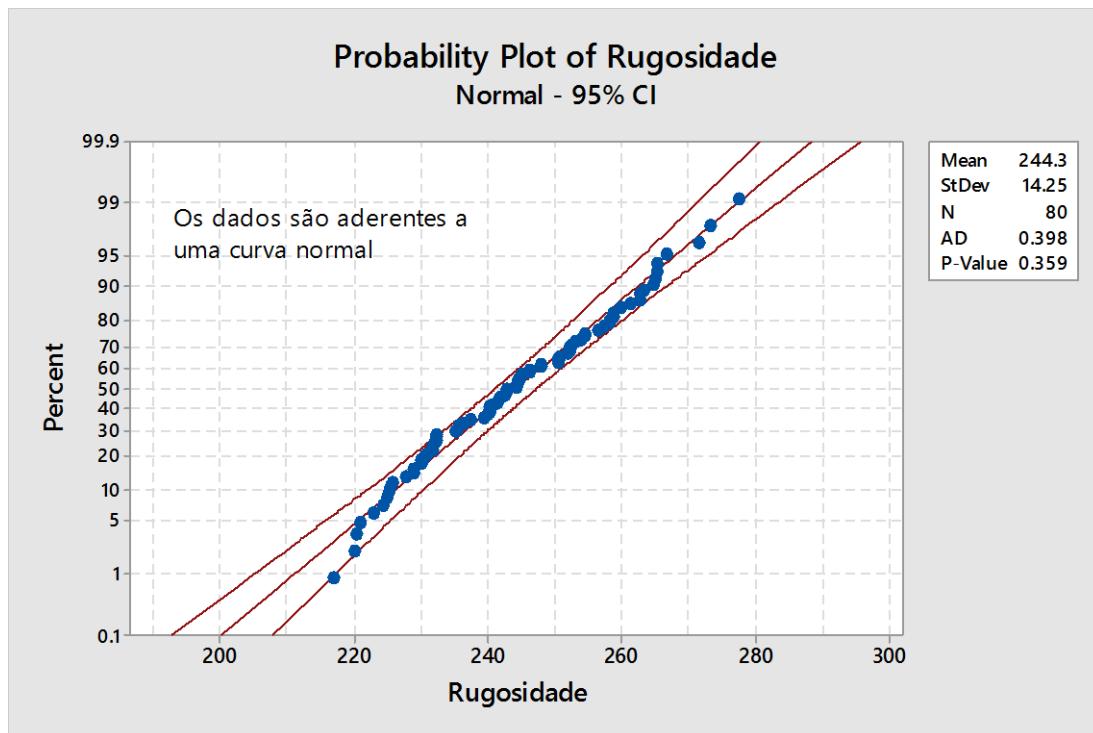
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 5 – Medição de normalidade do comprimento



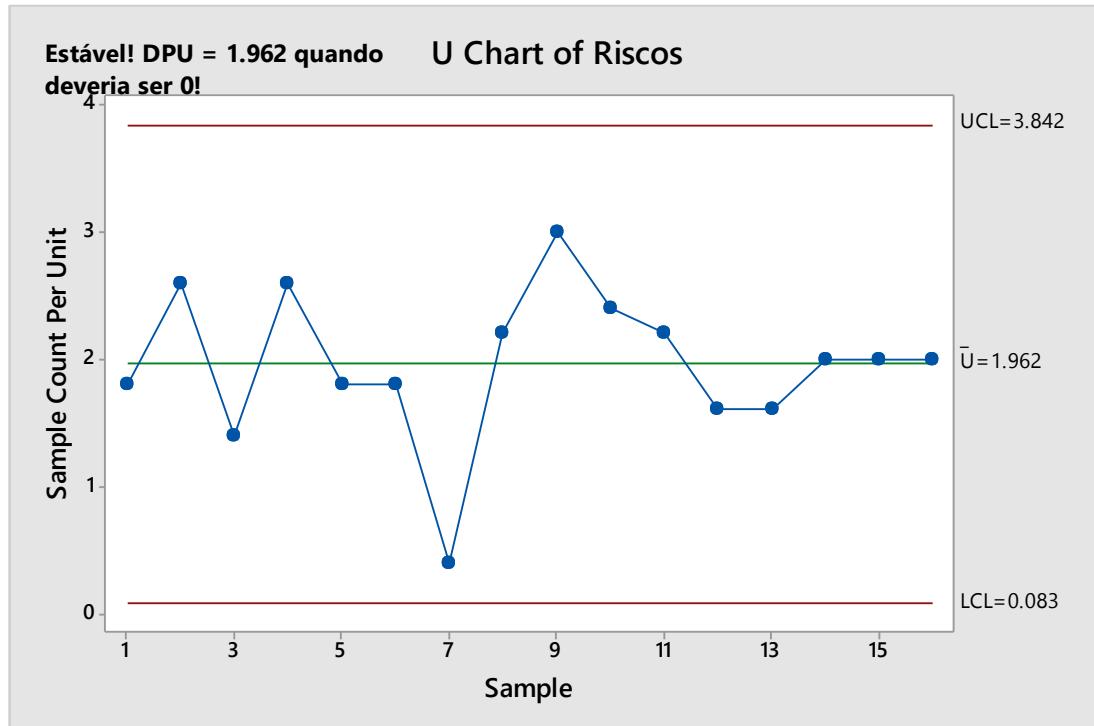
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 6 – Medição de normalidade da rugosidade



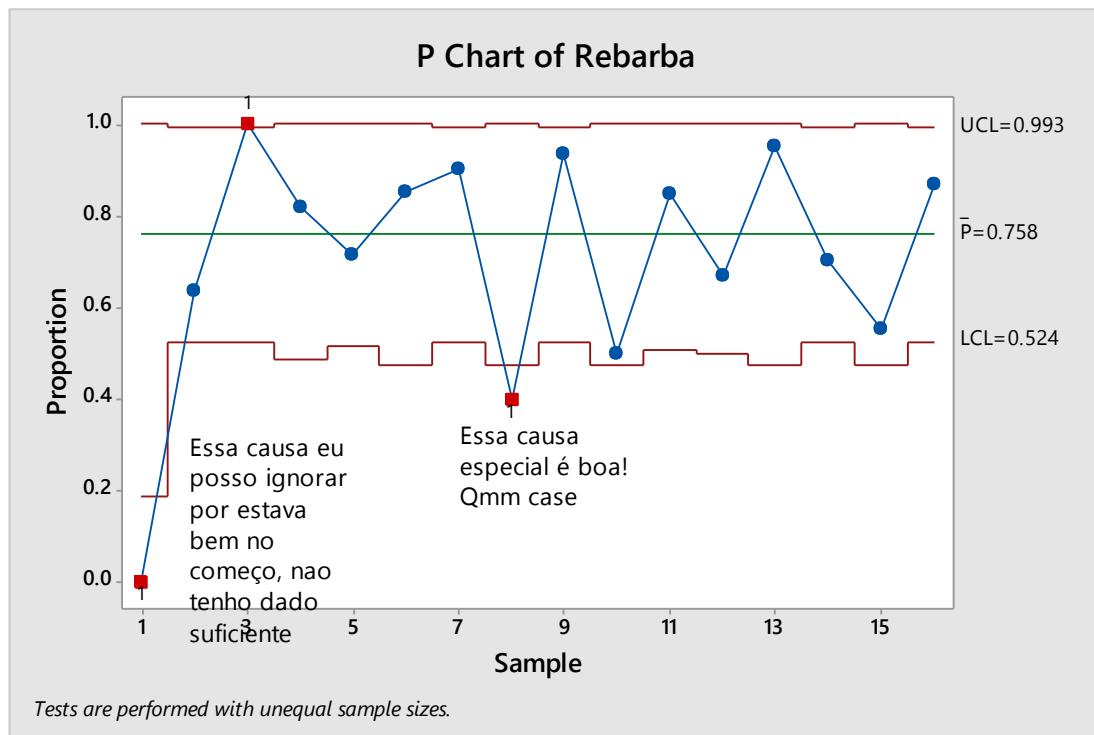
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 7 – Gráfico U para riscos



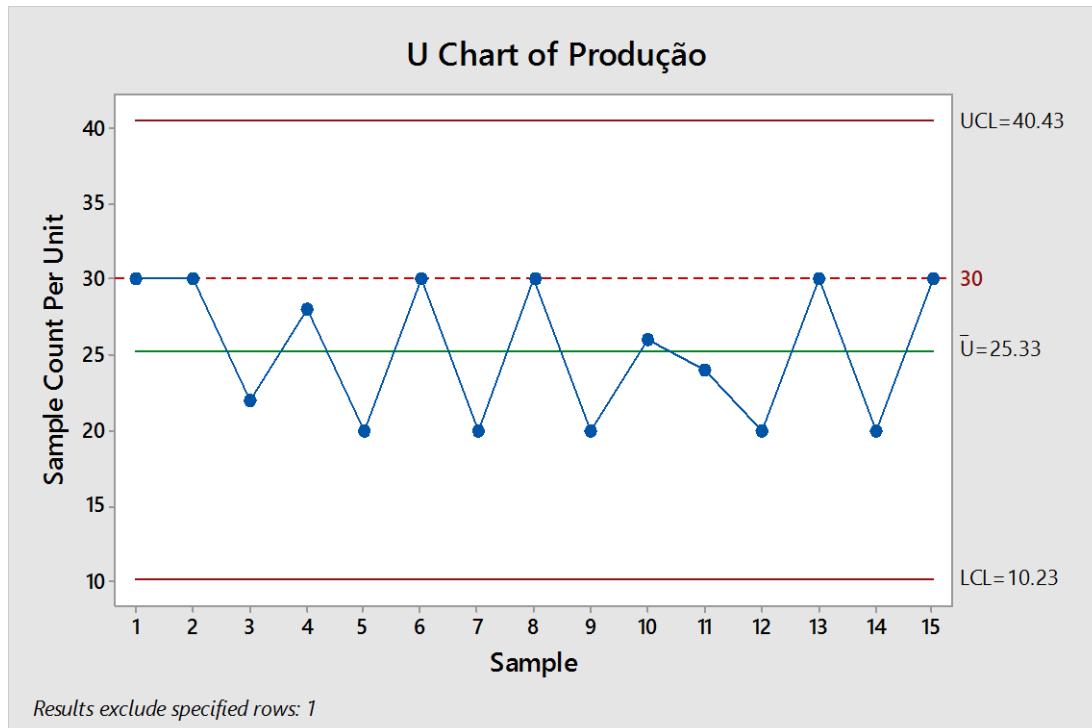
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 8 – Gráfico P para rebarbas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 9 – Gráfico U para produção



Fonte: Elaborado pelo autor.

O cliente tem razão em reclamar pois o processo não é capaz de produzir produtos dentro das especificações do cliente e presenta PPM muito alto a alta percentagem não conforme. A produção também não é constante nem ideal (algumas horas produzem mais que 30 e outras menos, ou seja, faz-se hora extra!)

Act

Fazer melhorias no processo para atender às CTQ's e, após a tentativa de solucionar os problemas identificados, realizar um novo PDSA para certificar que as mudanças foram bem-sucedidas.

Todavia, o segundo PDSA tem como objetivo medir a confiabilidade do instrumento de medição.

PDSA Nº 2

Plan

Objetivo: Avaliar o sistema de medição da Tijolinho SA para comprimento e rugosidade.

Perguntas e Predições:

1. O processo de medição está estável? Predição: sim.
2. O valor Gage R&R é aceitável? Predição: < 30

Plano de coleta de dados

a) Condições de operação

- Um único operador (Maria) = só teremos repetibilidade
- 10 peças (escolhidas em todo o campo de variações que serão medidas duas vezes cada uma)
- As peças serão medidas de forma aleatória e cega pelo operador

b) Plano de análise dos dados

- Instrumentos de medição
 - Comprimento - GC 012
 - Rugosidade – GM015

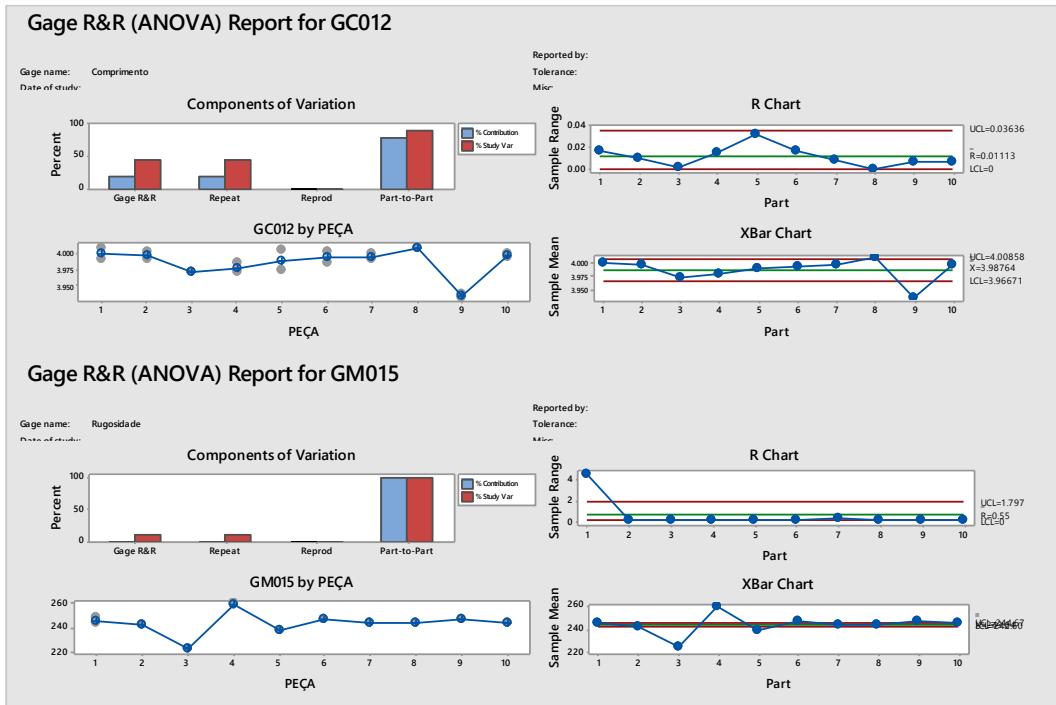
OBS: Caso algum instrumento não seja adequado será avaliado o gage reserva.

- Comprimento: ACME
- Rugosidade: GM 215

Do

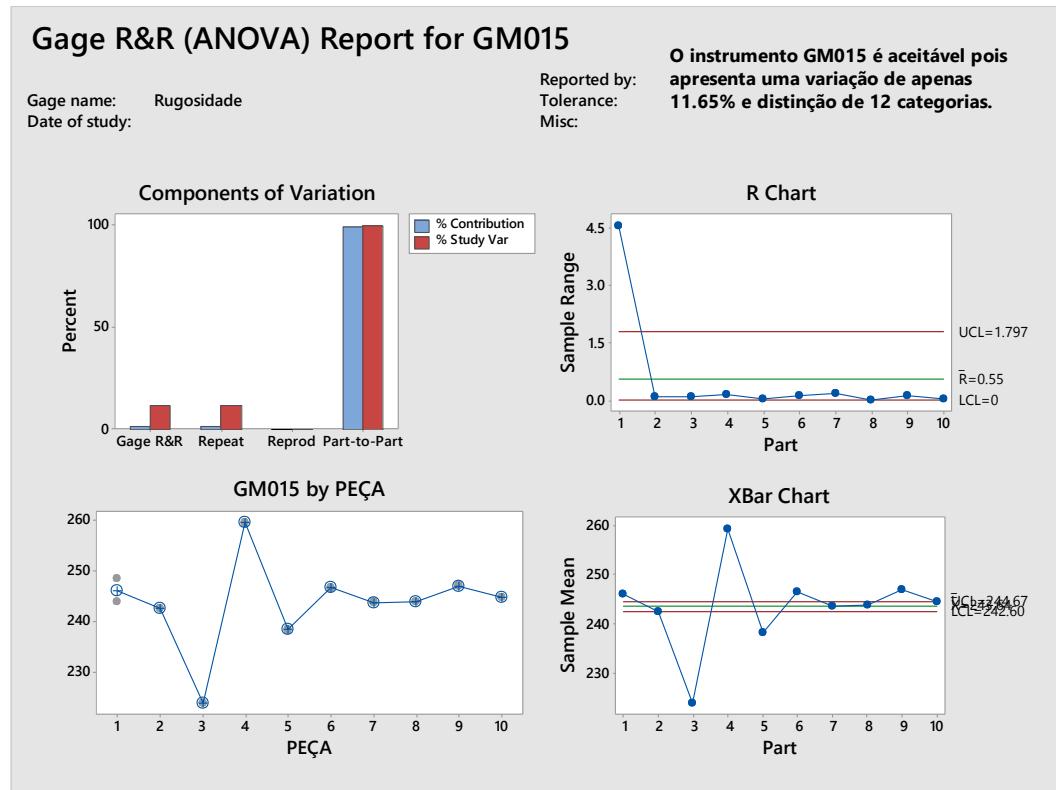
Os dados foram coletados e estão disponibilizados abaixo. Não ocorreu nenhum contratempo durante as medições.

Gráfico 10 – Gage R&R para o instrumento GC012



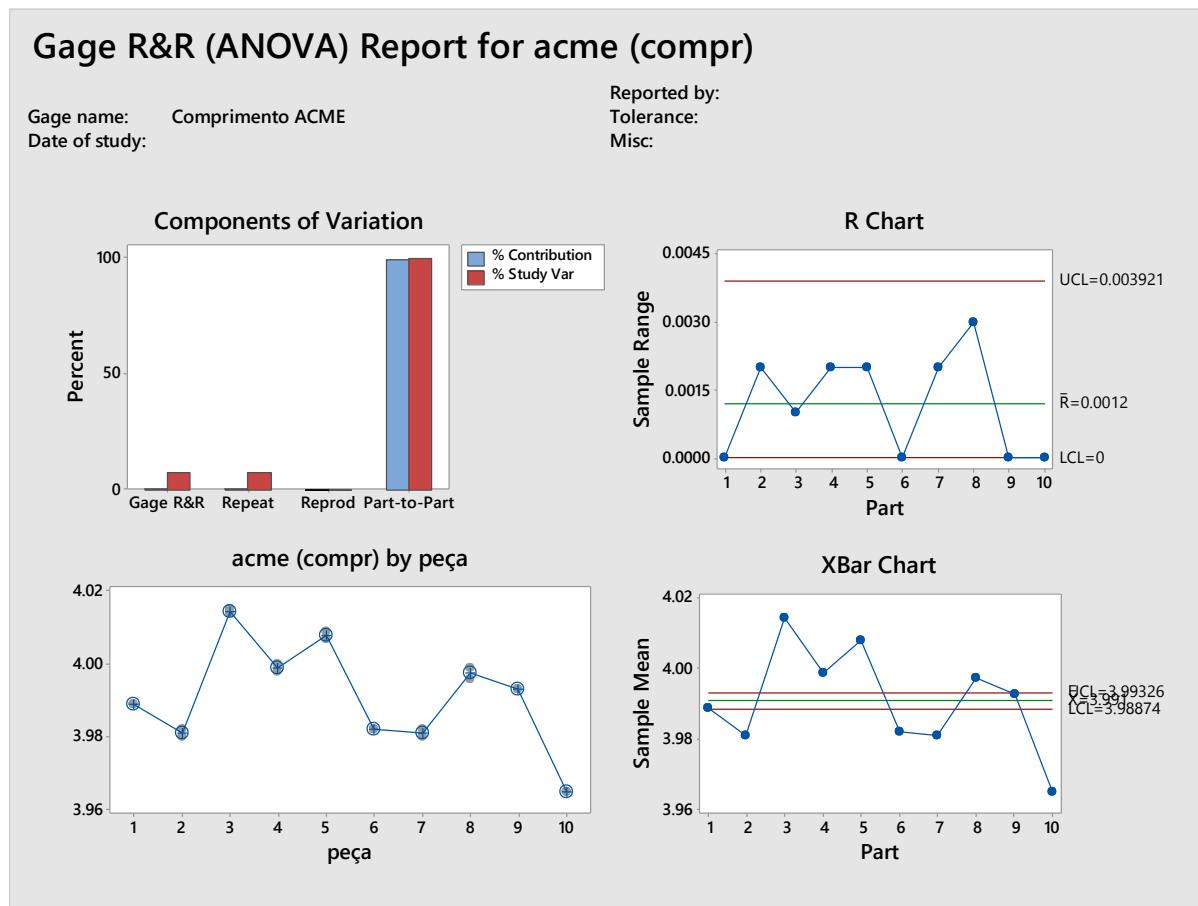
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 11 – Gage R&R para o instrumento GM015



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 12 – Gage R&R para o instrumento ACME



Fonte: Elaborado pelo autor.

Study

Os resultados dizem que o GC 012 não é aceitável pois apresenta uma variação de 44.18% e distinção de apenas 2 categorias.

O GM015 é aceitável pois apresenta uma variação de apenas 11.65% e distinção de 12 categorias.

O estudo foi refeito com o instrumento ACME e concluiu-se que o mesmo é aceitável pois apresenta uma variação de 7.81% e distinção de 17.

Act

Substituir o instrumento GC 012 pelo ACME e repetir a medição da CTQ comprimento sob as mesmas condições do PDSA 1 (2 dias, de hora em hora etc.).

PDSA N^o 3

Plan

Objetivo: Conhecer o estado atual da CTC comprimento após a alteração do instrumento de medição.

Perguntas e Predições:

Comprimento

1. Os dados são de distribuição normal? Sim
2. O processo é estável? Sim
3. O processo é capaz? Provavelmente não, mas o Cp irá melhorar pois não existe mais a variabilidade referente ao instrumento.
4. A alteração do instrumento irá alterar significativamente a capacidade do processo tornando o mesmo adequado segundo as especificações do cliente?

Plano de coleta de dados

Condições de operação: nada deve ser alterado nas condições de operação utilizadas hoje.

MP usada – A1A

Máquina usada – SW-103

Serra usada – Brite

Instrumentos de medição – comprimento ACME

Operador – Maria

A coleta de dados será realizada em 2 dias começando às 6 AM

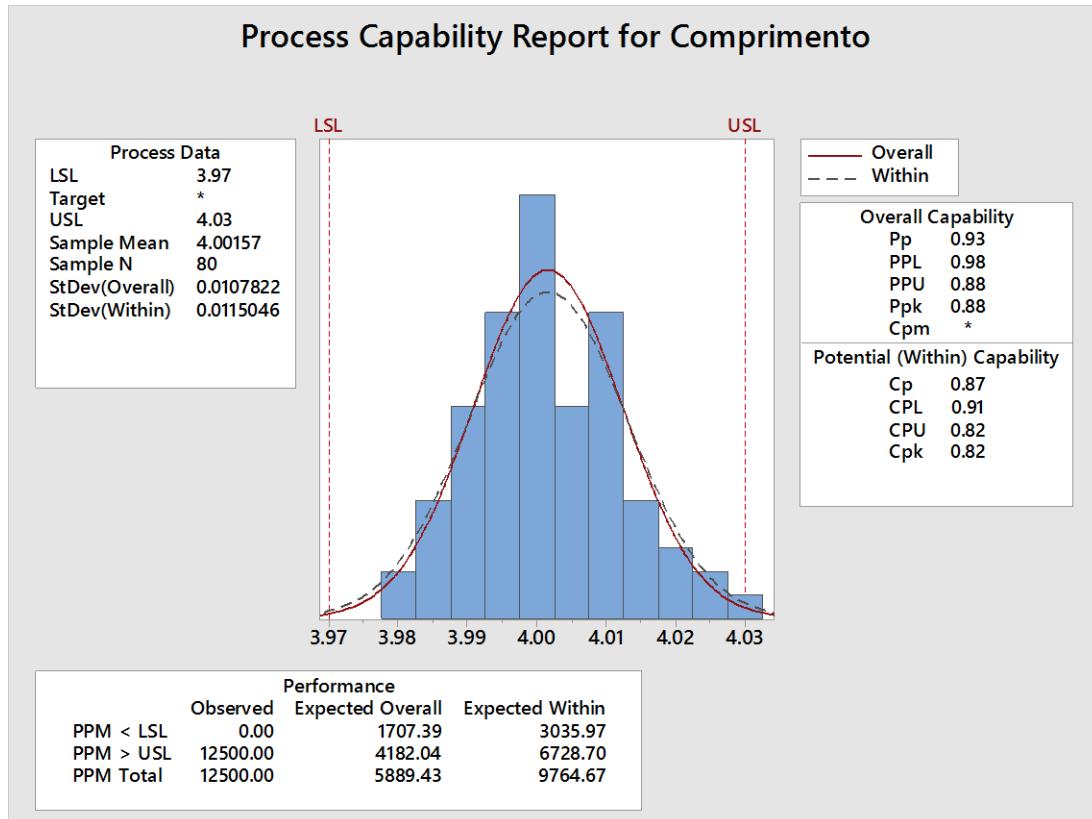
Do

Observações durante a coleta de dados: foram observadas constantes quebras da serra durante as medições (8 quebras durante os dois dias sendo 3 no primeiro e 5 no segundo dia).

Study

Após realizar as mudanças pode-se observar realmente o processo. Ele ainda não é capaz ($C_p < 1$) e, além disso, ele não está centrado. Todavia, agora sabe-se a real capacidade do nosso processo e pode-se trabalhar para torná-lo capaz.

Gráfico 13 – Capabilidade do processo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Act

Substituir o instrumento de medição do comprimento para o ACME. Não comprar mais o GC e nem utilizá-lo.

PS: O processo ainda precisa de melhorias (melhorar rebarbas, riscos etc.) que serão trabalhadas nas próximas etapas.

3.3.3 **Analyze (Analisar) e Improve (Melhorar)**

Na fase de análise, teve-se como objetivo identificar as variáveis com maior influência no processo e, assim, determinar as oportunidades de melhoria e causa raiz do problema.

Ao final da fase de Medição do DMAIC, o time teve uma visão mais clara do processo e quais passos mais contribuem para defeitos de qualidade.

Na etapa de Melhoria, com as causas definidas, pode-se definir quais mudanças específicas poderiam ser feitas no processo para sanar essas causas e quais métodos atingiriam os efeitos desejados.

Testes foram realizados para avaliar mudanças e, nesses testes, lições foram aprendidas. A validação das mudanças foi feita através da ferramenta Planejamento de Experimentos (*Design of Experiments, DOE*). Os efeitos que os *inputs* possuem sobre os *outputs* que estão sendo analisados foram revelados e, assim, identificou-se quais são os fatores de maior influência no processo.

PDSA Nº 4

Plan

Objetivo: Avaliar a influência do comportamento das CTC's da Tijolinho SA com as diferentes MP.

Perguntas e Predições:

1. Existe diferença no comportamento da máquina quando altera-se a matéria prima?
2. O uso de diferentes MP afeta a CTC comprimento?
3. O uso de diferentes MP afeta a CTC rugosidade?
4. O uso de diferentes MP afeta a CTC #riscos?
5. O uso de diferentes MP afeta a CTC rebarba?

Plano de coleta de dados

- a) Condições de operação

Nada deve ser alterado nas condições de operação utilizadas hoje:

MP usada – A1A e W1

Máquina usada – SW-103

Serra usada – Brite

Instrumentos de medição – comprimento ACME

Operador – Maria

b) Plano de análise dos dados:

Quadro 8 – Plano de coleta de dados da fase *Analyze*

Plano de Coleta de Dados					
CTQ's	Tipo de dado		Tamanho da amostra	Especificação	2) Verificar estabilidade
Comprimento	Contínuo	NM	5 pcs/h	4.0 +- 0.03	Gráfico de Controle - Xbarra, R
Rugosidade	Contínuo	Qmm	5 pcs/h	Máx 250	Gráfico de Controle - Xbarra, R
# Riscos	Contagem	Qmm	5 pcs/h	0	Gráfico de Controle - u
Rebarba	Classificatória	Qmm	100% da produção de 1h	0	Gráfico de Controle - p
Produção	Contagem	QMM	Produção de 1h	Mín 30 pcs/h	Gráfico de Controle - u ou c

Fonte: Elaborado pelo autor.

A coleta de dados será realizada em 2 dias começando às 6 AM e medida de hora em hora alternando aleatoriamente a MP.

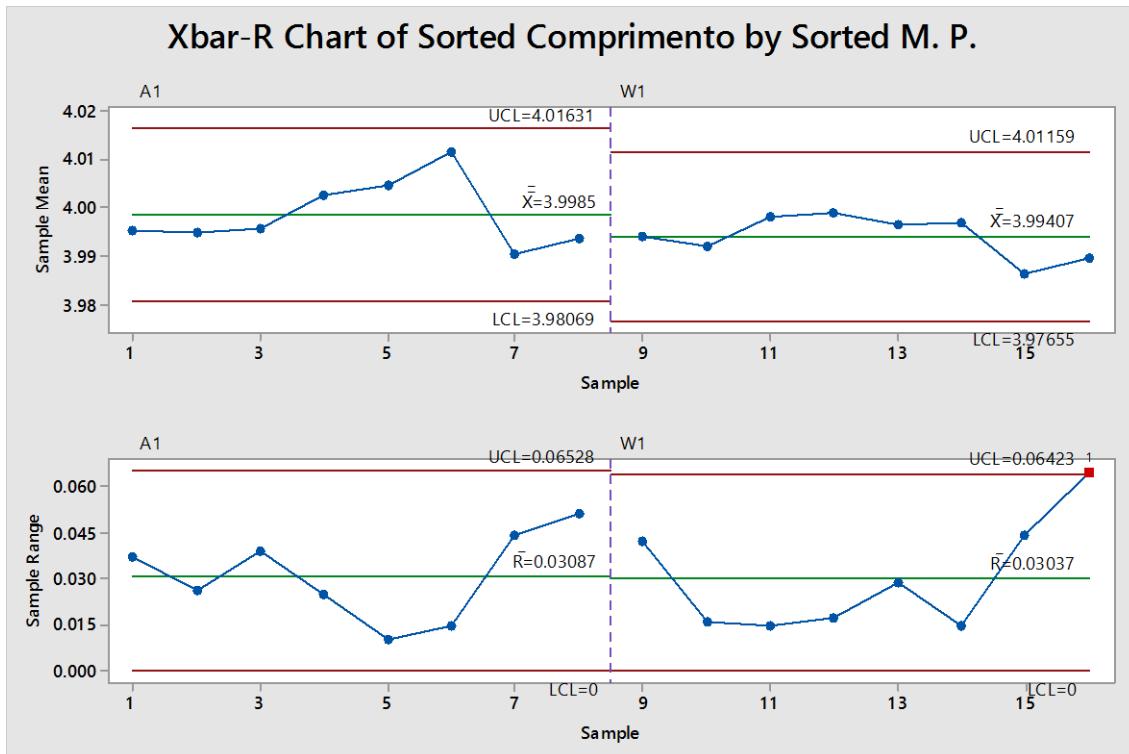
Do

Observações durante a coleta de dados: foram observadas constantes quebras da serra durante as medições (8 quebras durante os dois dias sendo 3 no primeiro e 5 no segundo dia).

Study

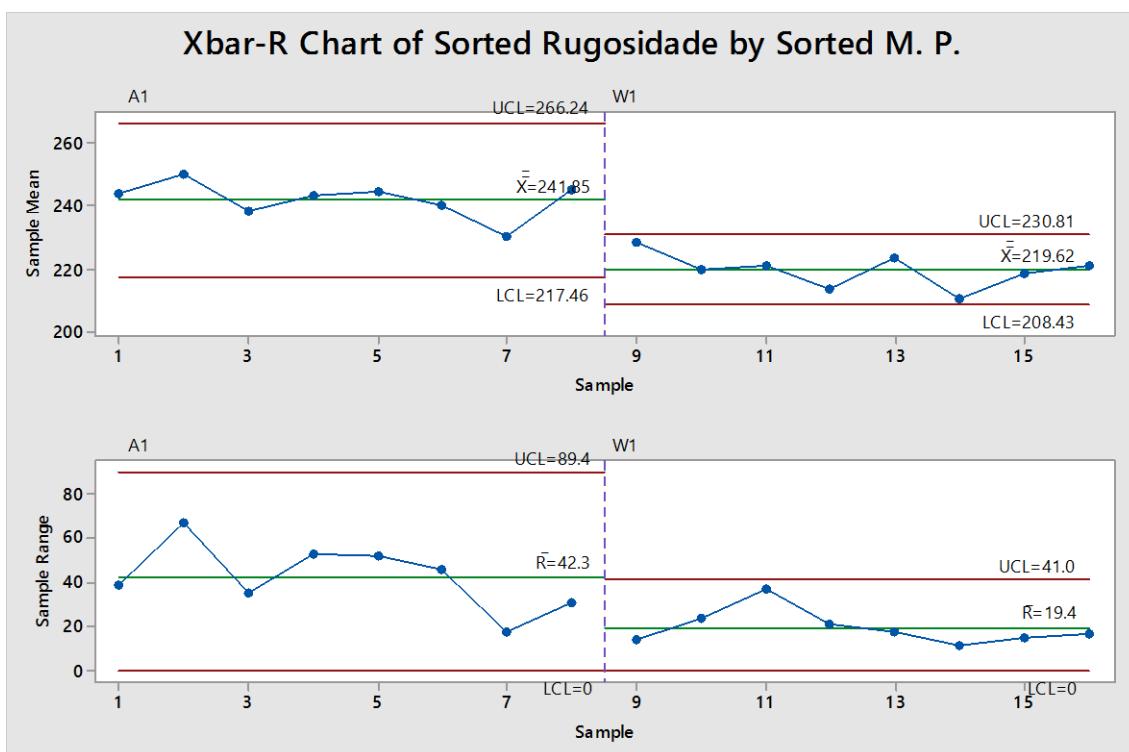
Como pode-se observar pelos gráficos de controle, a mudança de MP só tem efeitos significantes e positivos em relação à rugosidade, sendo a W1 a melhor opção.

Gráfico 14 – Xbar-R do comprimento variando as matérias prima



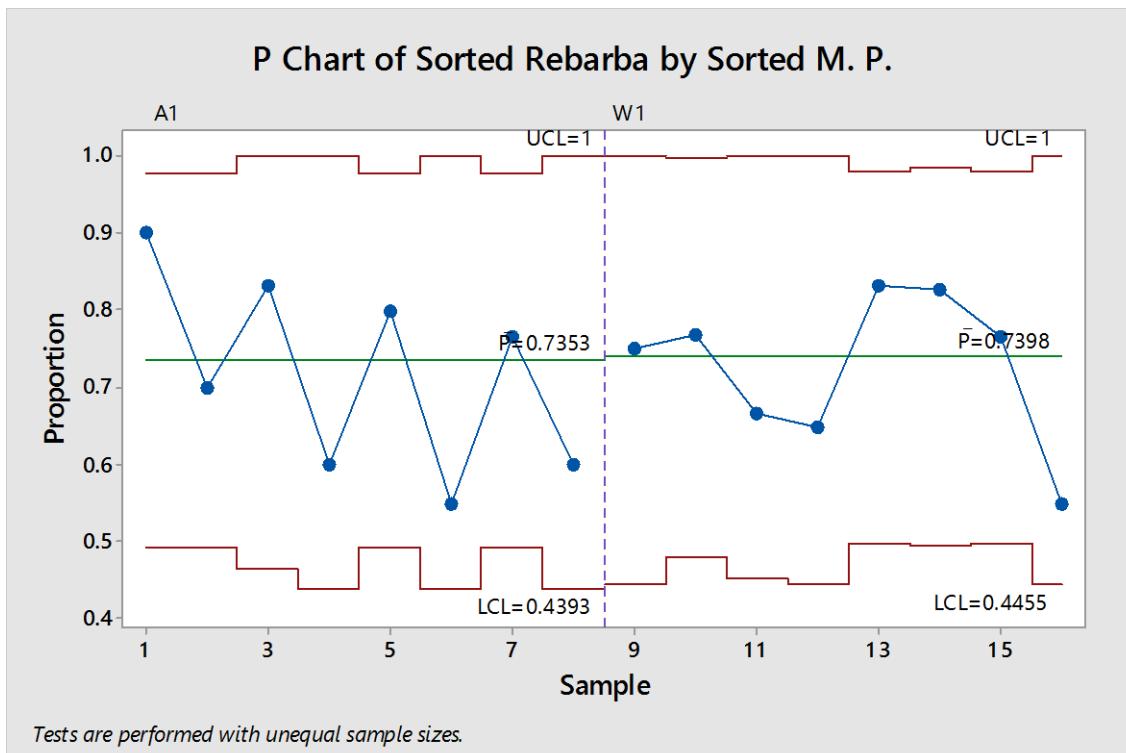
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 15 – Xbar-R da rugosidade variando as matérias prima



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 16 – Gráfico P para comparação de matérias prima



Fonte: Elaborado pelo autor.

Act

Realizar um experimento confirmatório ao longo do tempo para confirmar se a matéria prima W1 é realmente superior.

PDSA Nº 5

Plan

Objetivo: Experimento confirmatório após troca de MP. Avaliar o comportamento das CTC's da Mid State ao longo do tempo usando os mesmos critérios estabelecidos no PDSA 1.

Perguntas e Predições:

Comprimento

1. Os dados são de distribuição normal?
2. O processo é estável?
3. O processo é capaz? Provavelmente não

Rugosidade

1. O processo é capaz? Provavelmente sim
2. O processo possui uma capacidade maior que 1.33?
3. A alteração proporcionada pela matéria prima é duradoura em relação à rugosidade?

Número de riscos

1. O processo apresenta riscos? Sim
2. O processo é estável?
3. O processo é capaz?

Rebarba

1. O processo é estável? Sim
2. O processo é capaz? Provavelmente não

Produção

Eu atendo o JIT? Sim, não teve reclamação disso.

Plano de coleta de dados

a) Condições de operação

Nada deve ser alterado nas condições de operação utilizadas hoje:

MP usada – W1

Máquina usada – SW-103

Serra usada – Brite

Instrumentos de medição – comprimento ACME

Operador – Maria

b) Plano de análise dos dados

Quadro 9 – Plano de coleta de dados

Plano de Coleta de Dados							
CTQ's	Tipo de dado		Tamanho da Amostra	Especificação	Avaliação do Processo		
					1) Testar a normalidade	2) Verificar estabilidade	3) Medir capabilidade
Comprimento	Contínuo	NM	5 pcs/h	4.0 ± 0.03	Sim	Gráfico de Controle - Xbarra, R	Cp, Cpk, %NC, PPM, Sigma do processo
Rugosidade	Contínuo	Qmm	5 pcs/h	Máx 250	Sim	Gráfico de Controle - Xbarra, R	Cp, Cpk, %NC, PPM, Sigma do processo
# Riscos	Contagem	Qmm	5 pcs/h	0	X	Gráfico de Controle - u	DPU (defeitos por unidade)
Rebarba	Classificatória	Qmm	100% da produção de 1h	0	X	Gráfico de Controle - p	%NC, PPM, Sigma do processo
Produção	Contagem	QMM	Produção de 1h	Mín 30 pcs/h	X	Gráfico de Controle - u ou c	Média e JIT

Fonte: Elaborado pelo autor.

A coleta de dados será realizada em 2 dias começando às 6 AM e medida de hora em hora.

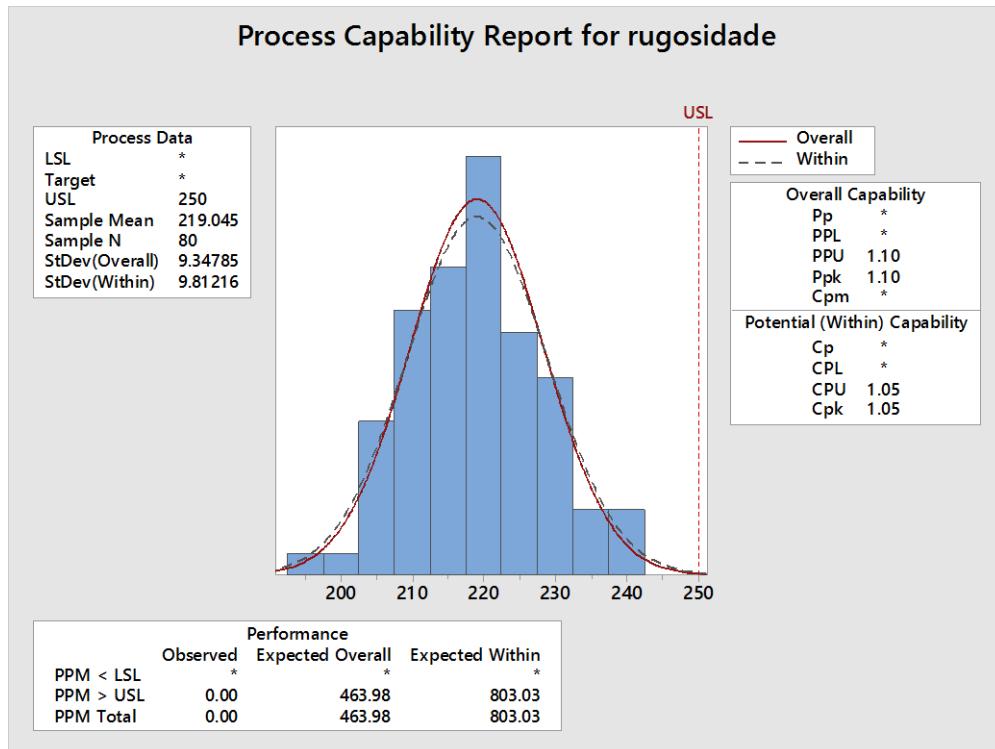
Do

Observações durante a coleta de dados: foram observadas constantes quebras da serra durante as medições (8 quebras durante os dois dias sendo 3 no primeiro e 5 no segundo dia).

Study

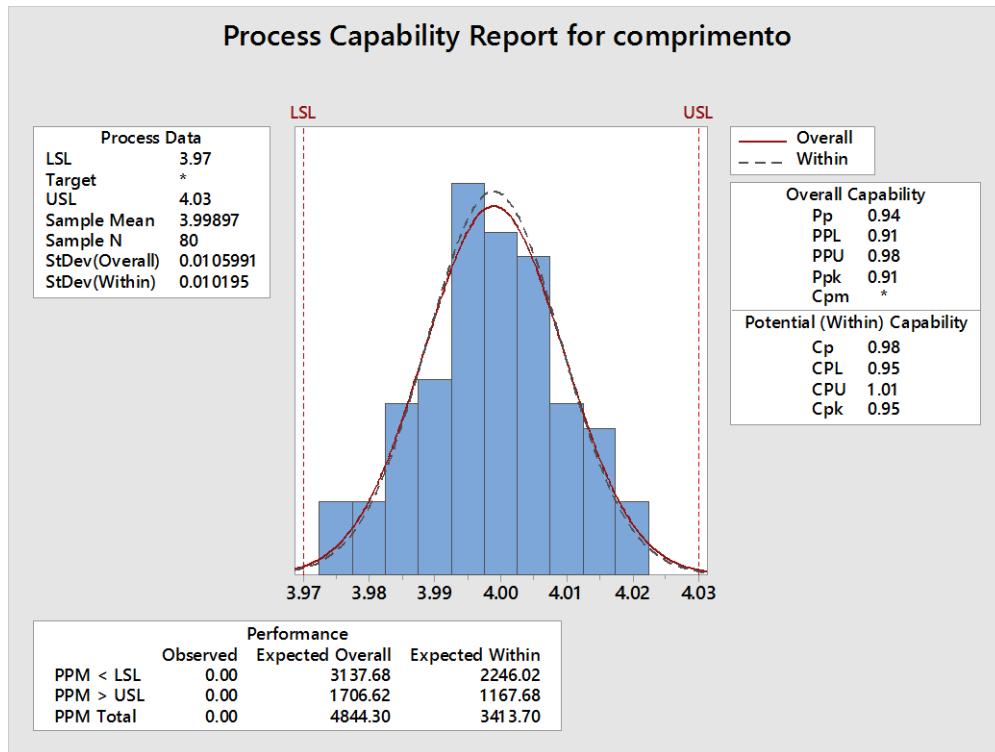
O processo é normal, estável, mas não é capaz em relação à rugosidade pois seu Cpk é igual a 1.05 (seria capaz caso fosse maior que 1.33). O PPM é igual a 803, o que representa uma grande melhora. Em relação ao comprimento, também se chegou à conclusão que o processo não é capaz (Cpk=0.95).

Gráfico 17 – Capabilidade do processo em relação à rugosidade



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 18 – Capabilidade do processo em relação ao comprimento



Fonte: Elaborado pelo autor.

A produção também não é constante nem ideal (algumas horas produzem mais que 30 e outras menos, ou seja, faz-se hora extra!).

Act

Trocar toda a matéria prima por W1.

PDSA Nº 6

Plan

Objetivo: Avaliar a influência das diferentes serras no comportamento das CTC's da Mid State.

Perguntas e Predições:

1. Existe diferença no comportamento da máquina quando alteram-se as serras?
2. O uso de diferentes serras afeta a CTC comprimento?
3. O uso de diferentes serras afeta a CTC rugosidade?
4. O uso de diferentes serras afeta a CTC #riscos?
5. O uso de diferentes serras afeta a CTC rebarba?

Plano de coleta de dados

a) Condições de operação

MP usada – W1

Máquina usada – SW-103

Serras usadas – Brite, National, Armer, Toughy e Magic

Instrumentos de medição – comprimento ACME

Operador – Maria

b) Plano de análise dos dados

A coleta de dados será realizada em 5 dias começando às 6 AM e terminando às 14h (medida de hora em hora). Cada serra será analisada em um dia, não havendo trocas devido ao alto tempo de set up (20 min).

Do

Observações durante a coleta de dados:

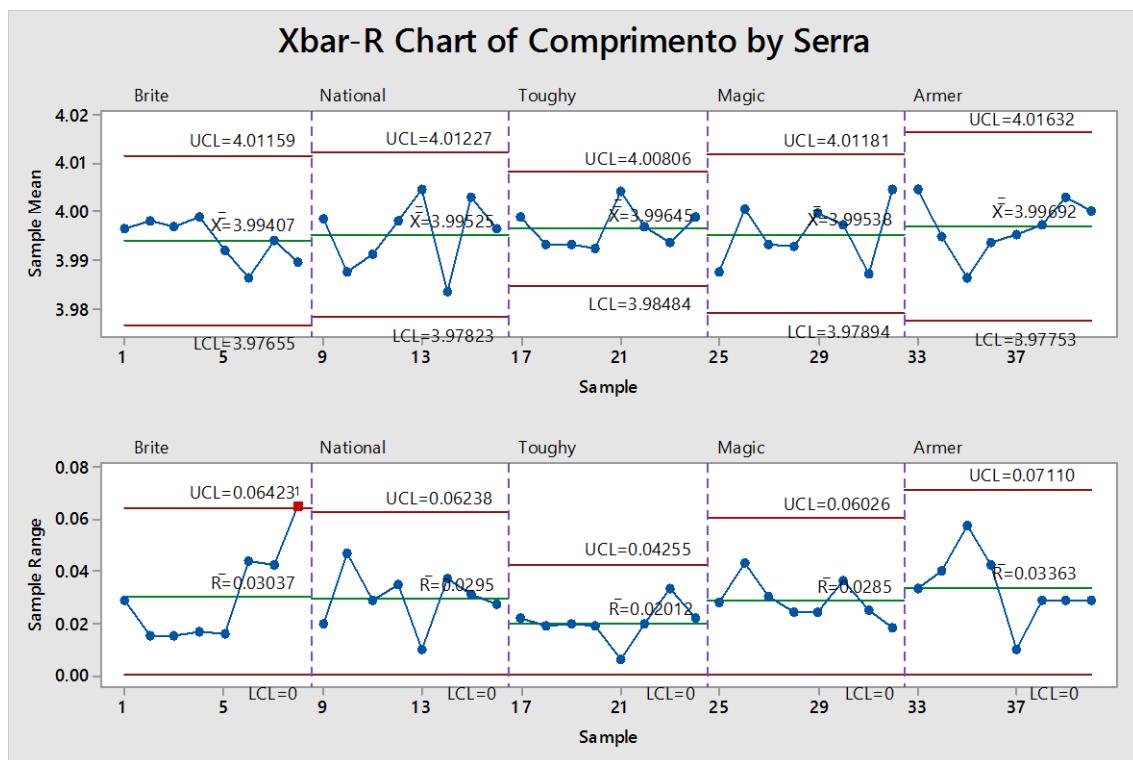
Quadro 10 – Teste serras com número de quebras por dia

Serra	Número de quebras/dia
Brite	3
National	1
Toughy	0
Magic	0
Armer	0

Fonte: Elaborado pelo autor.

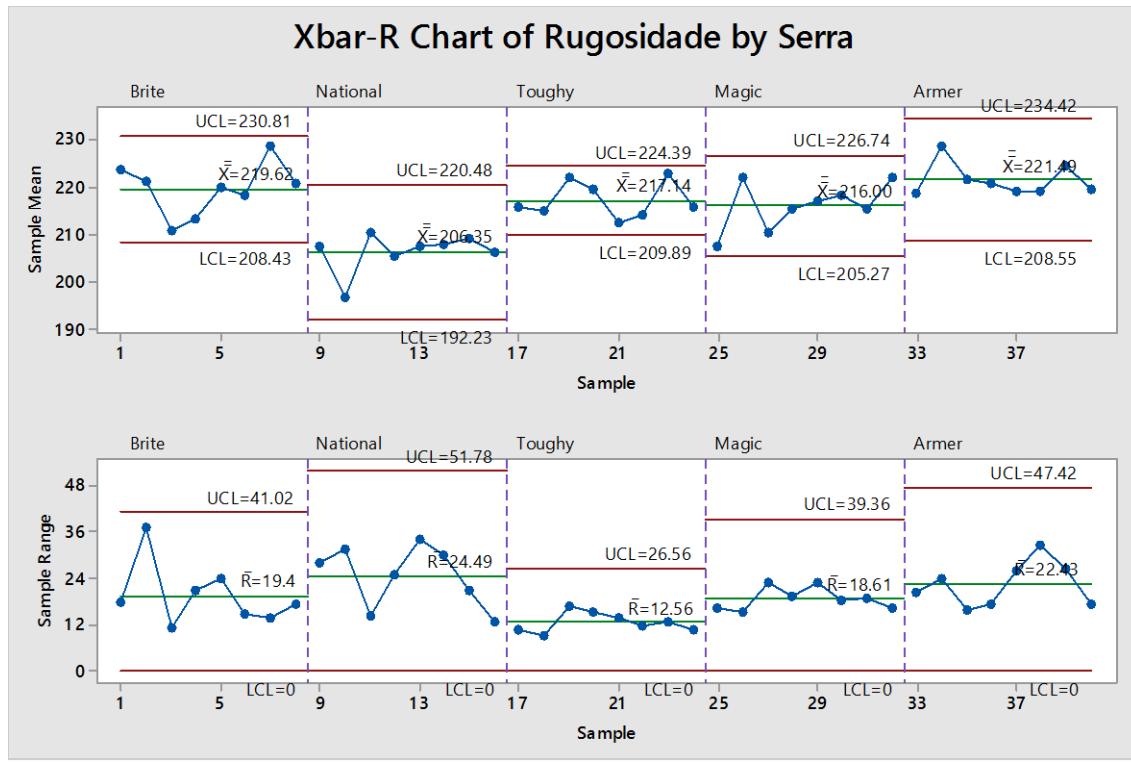
Study

Gráfico 19 – Xbar-R para comprimento por serra



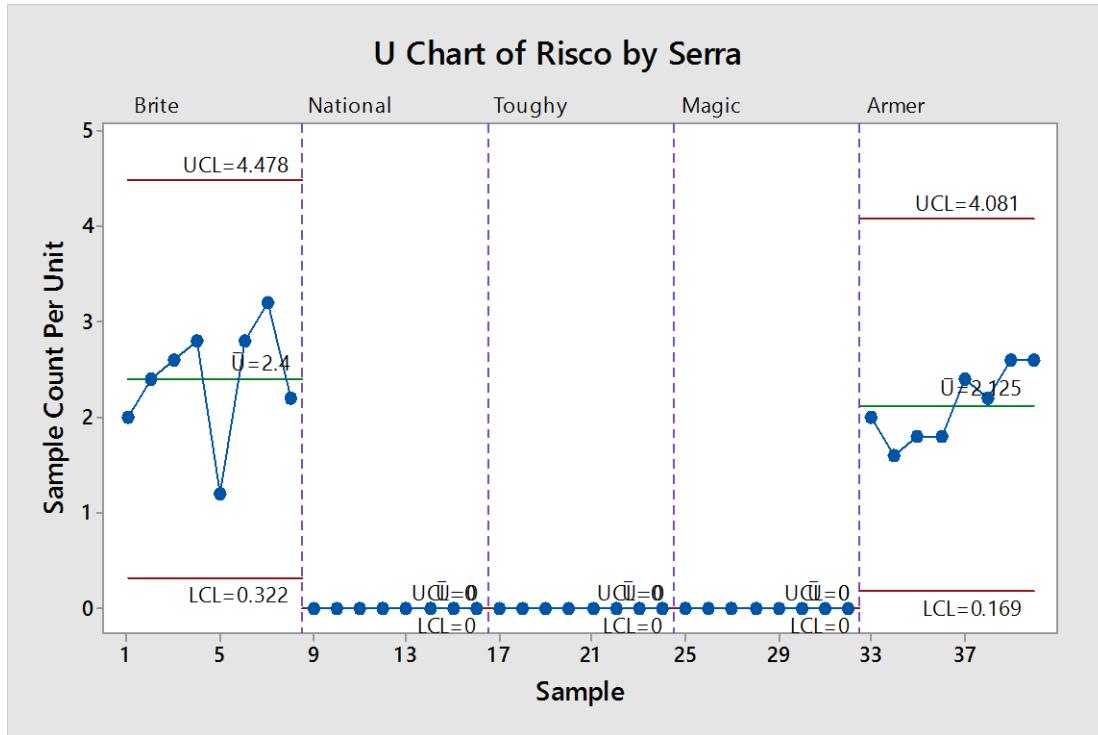
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 20 – Xbar-R para rugosidade por serra



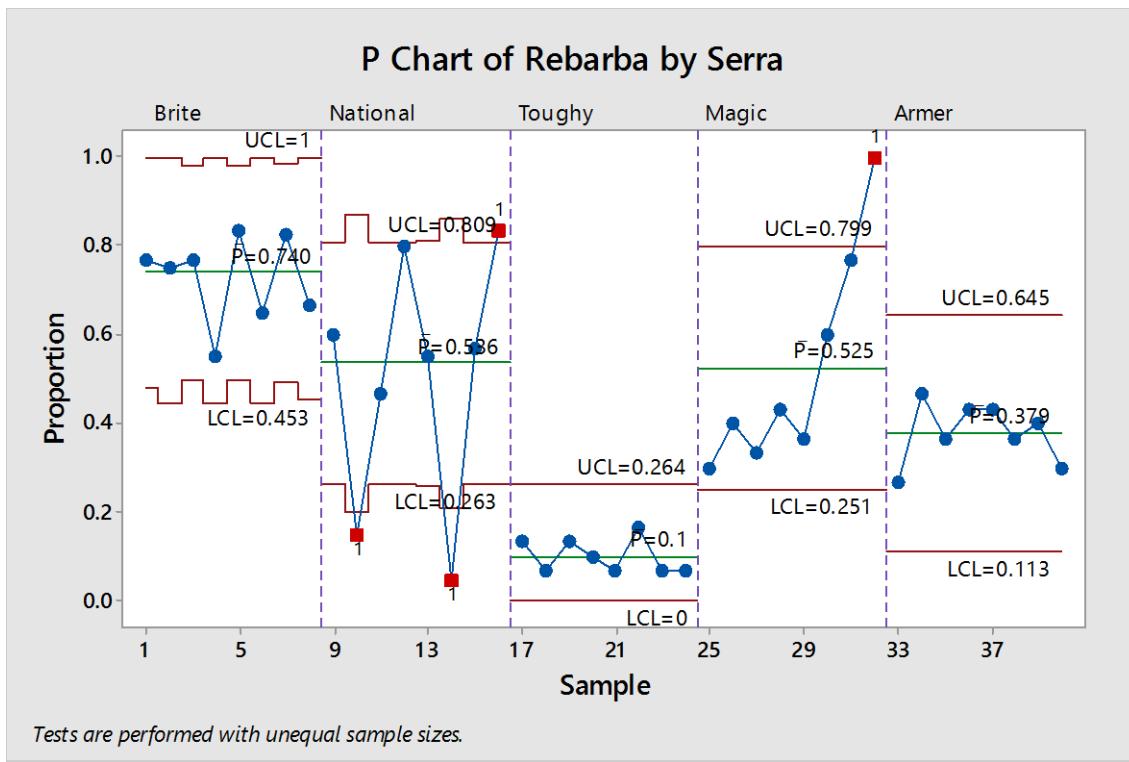
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 21 – Gráfico U de riscos por serra



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 22 – Gráfico P de rebarbas por serra



Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando todos os gráficos foi possível fazer uma comparação entre os pontos fortes de cada serra em relação às CTC's:

Quadro 11 – Avaliação do impacto de cada serra nas CTC's

Tabela auxiliar para análise das diferentes serras					
	Avaliação do impacto de cada serra nas CTC's				
CTC	Brite	Magic	National	Armer	Toughy
Comprimento					
Rugosidade					
Rebarba					
Riscos					
Quebras					
Custo					

Fonte: Elaborado pelo autor.

Portanto, a serra Toughy aparenta ser a melhor escolha.

Act

Fazer um experimento confirmatório utilizando os mesmos parâmetros do PDSA 1.

PDSA Nº 7

Plan

Objetivo: Experimento confirmatório após troca da serra. Avaliar o comportamento das CTC's da Tijolinho SA ao longo do tempo usando os mesmos critérios estabelecidos no PDSA 1, com a serra Toughy.

Perguntas e Predições:

Comprimento

1. Os dados são de distribuição normal? Sim
2. O processo é estável? Sim
3. O processo é capaz? Provavelmente a mesma coisa

Rugosidade

1. O processo é capaz?
2. O processo possui uma capacidade maior que 1.33? Provavelmente não
3. A alteração proporcionada pela serra é duradoura em relação à rugosidade? Sim
4. A rugosidade diminuiu significativamente? Sim

Número de riscos

1. O processo apresenta riscos? Sim
2. O processo é estável? Sim
3. O processo é capaz? Sim
4. O número de riscos foi reduzido a zero? Não

Rebarba

1. O processo é estável? Sim
2. O processo é capaz? Provavelmente sim agora
3. O número de rebarbas foi reduzido a uma quantidade aceitável? Sim

Produção

O JIT é atingido? Sim, não houve reclamações a respeito, mas a produção continua irregular, como essa serra teve menos quebras, provavelmente a produção irá aumentar.

Parâmetros para medir capabilidade:

$0 \leq Cp < 1$ – Inadequado

$1 \leq Cp < 1.33$ – Aceitável

$1.33 \leq Cp < 1.67$ – Adequado

$Cp \geq 1.67$ – Excelente

Plano de coleta de dados

a) Condições de operação

Nada deve ser alterado nas condições de operação utilizadas hoje:

MP usada – W1

Máquina usada – SW-103

Serra usada – Toughy

Instrumentos de medição – comprimento ACME

Operador – Maria

b) Plano de análise dos dados

A coleta de dados será realizada em 2 dias começando às 6 AM e medida de hora em hora.

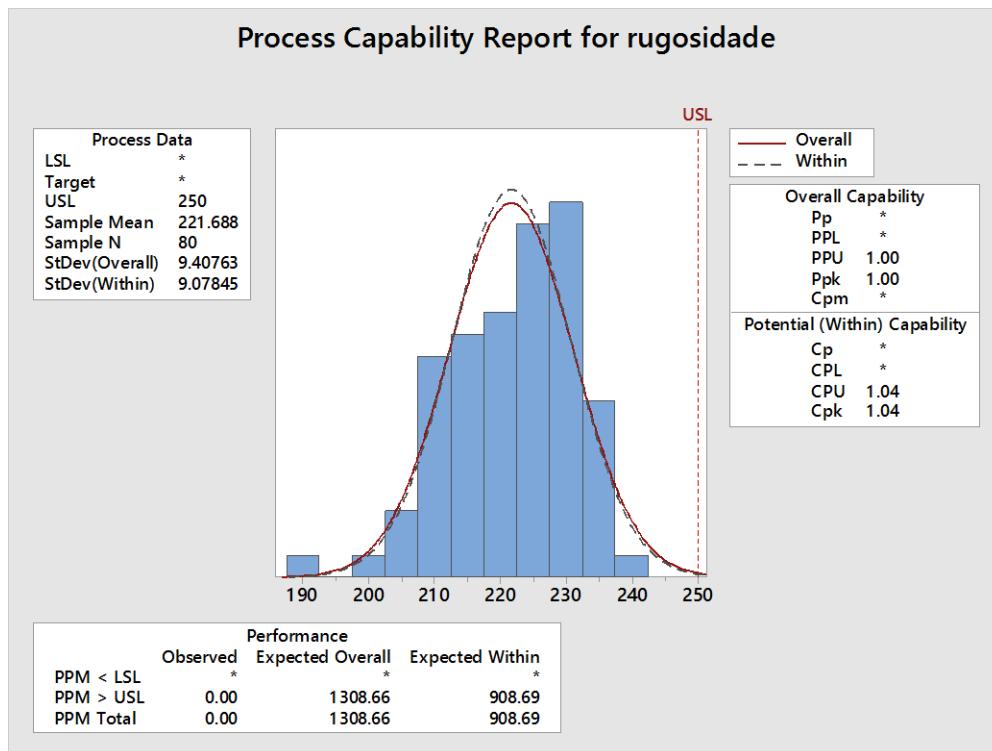
Do

Observações durante a coleta de dados: a serra não quebrou durante a análise.

Study

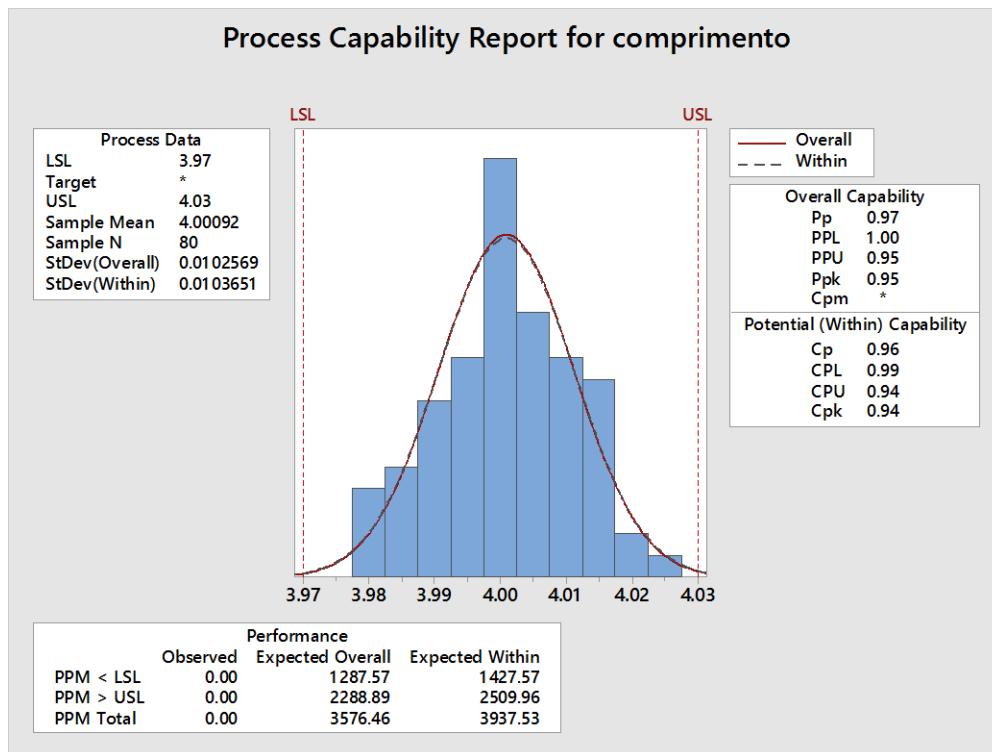
O processo é normal, estável, mas não é capaz relação à rugosidade pois seu Cpk é igual a 1.04 (seria capaz caso fosse maior que 1.33). O PPM é igual a 908, o que representa uma piora em relação à situação anterior que pode ser devido à variação. Em relação ao comprimento, concluiu-se que o processo não é capaz ($Cpk=0.94$).

Gráfico 23 – Capabilidade do processo em relação à rugosidade



Fonte: Elaborado pelo autor.

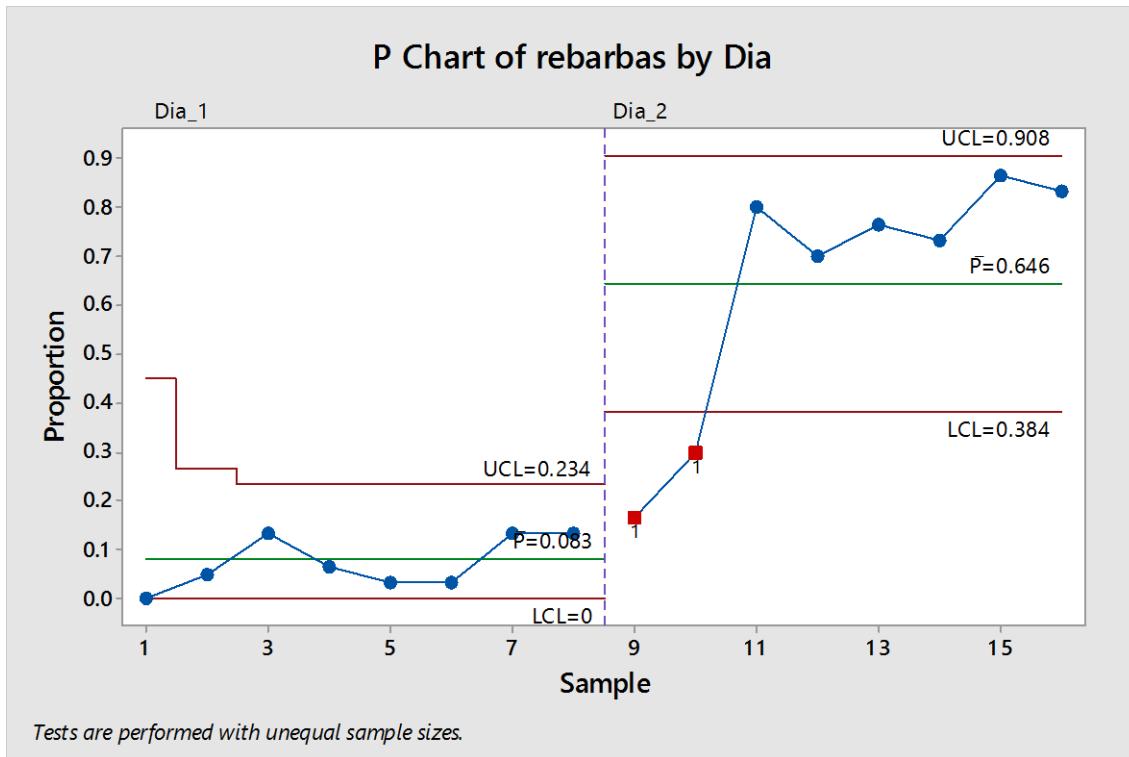
Gráfico 24 – Capabilidade do processo em relação ao comprimento



Fonte: Elaborado pelo autor.

O número de riscos foi reduzido a zero o que representa uma grande melhora em relação ao PDSA 5. O número de peças com rebarba também foi reduzido consideravelmente. Todavia, a serra só funciona bem por um dia e deve ser trocada ao fim de cada expediente.

Gráfico 25 – Gráfico P de rebarbas por dia



Fonte: Elaborado pelo autor.

A produção se tornou constante e ideal.

Act

Trocar todas as serras pela marca Toughy e realizar a troca da mesma a cada fim de expediente. Negociar com o RH para definir quais funcionários realizarão a troca e se será ao fim ou começo do expediente.

PDSA Nº 8

Plan

Objetivo: Avaliar a influência das variáveis do processo no comportamento das CTC's da Tijolinho SA usando um experimento factorial fracionado 2 (7-4).

Perguntas e Predições:

Comprimento

1. Haverá diminuição na amplitude? Sim

Rugosidade

1. A rugosidade diminuiu significativamente? Sim
2. Haverá redução da média e da amplitude?

Número de riscos

1. O processo apresenta riscos nas peças de amostragem? Não

Rebarba

1. O número de rebarbas foi reduzido a uma quantidade aceitável? Sim

Plano de coleta de dados

a) Condições de operação

Nada deve ser alterado nas condições de operação utilizadas hoje:

MP usada – W1

Máquina usada – SW-103

Serra usada – Toughy

Instrumentos de medição – comprimento ACME

Operador – Maria

b) Plano de análise dos dados

Serão realizados 8 experimentos, cada um com variações de parâmetros diferentes.

O experimento terá duração de 4 horas sendo cada amostra retirada de 30 em 30 minutos. A cada amostra mediremos as CTC's de 10 peças.

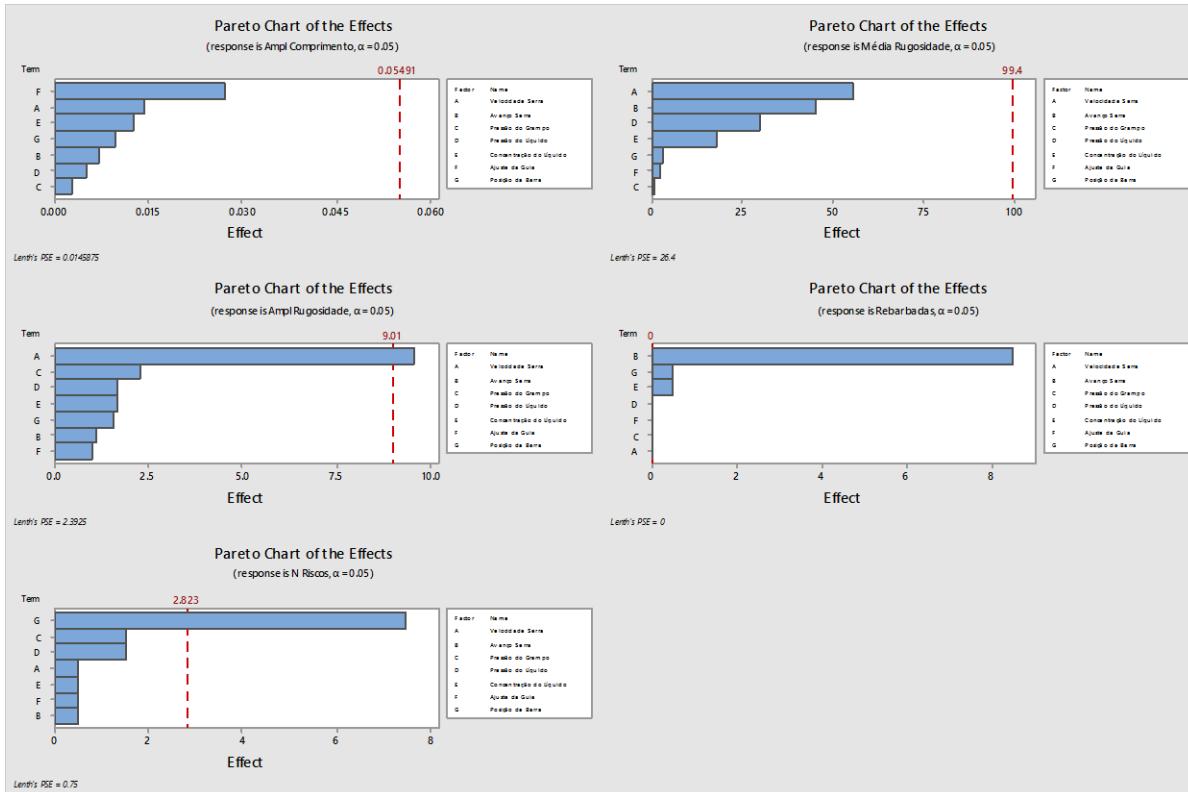
Do

Observações durante a coleta de dados: no início do experimento houve um atraso de 20 minutos para fazer a troca da serra. Também houve um *downtime* da máquina de 1h10min para realizar o esgotamento do líquido refrigerante que seria trocado por uma nova solução de concentração mais baixa.

Study

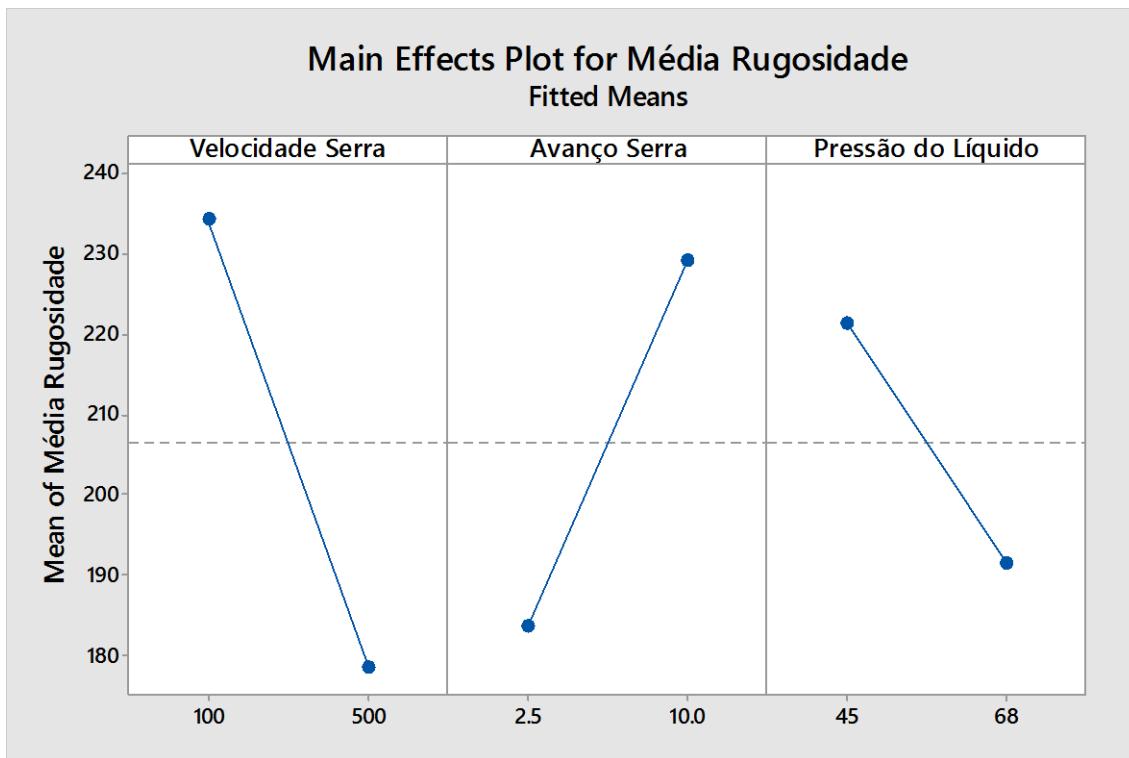
Após a análise das amostras produzidas e avaliadas no Minitab, conforme gráficos abaixo, chegou-se à conclusão de que o melhor setup de parâmetros para produção seria como segue no Quadro 16 ao final dessa etapa.

Quadro 12 – Compilação dos gráficos de Pareto sobre os efeitos dos diferentes parâmetros nas CTC's



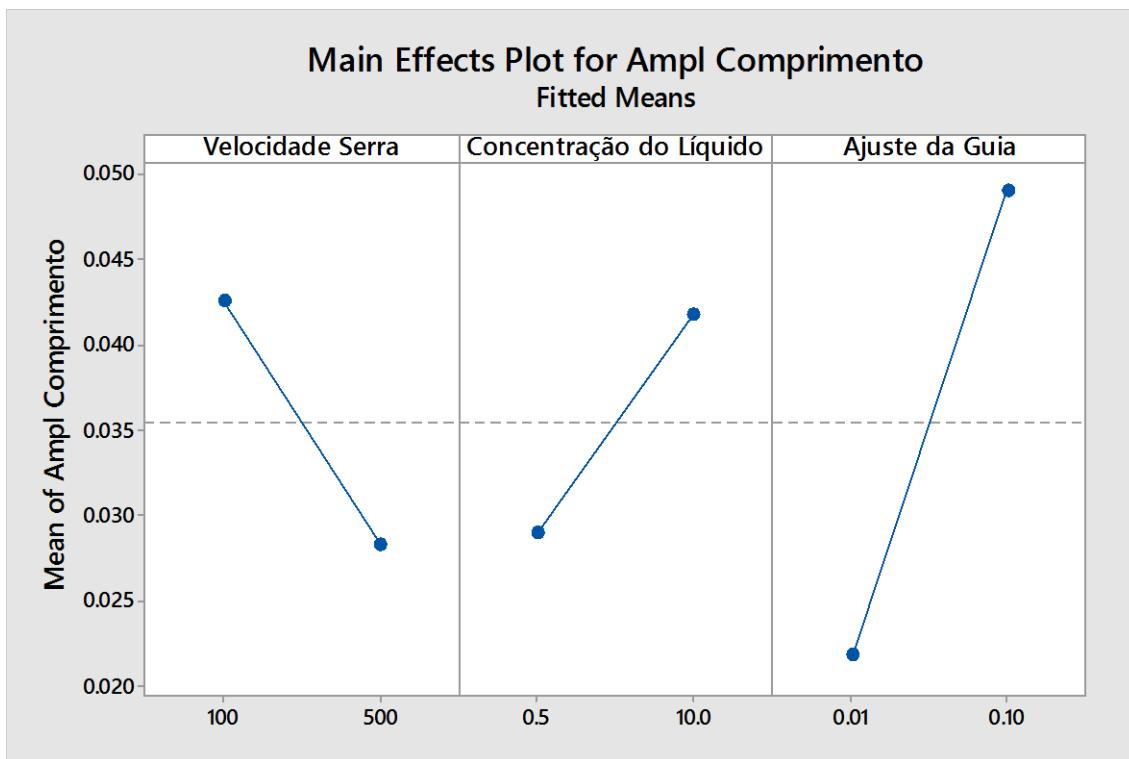
Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 13 – Compilação dos efeitos dos diferentes parâmetros sobre a média da rugosidade



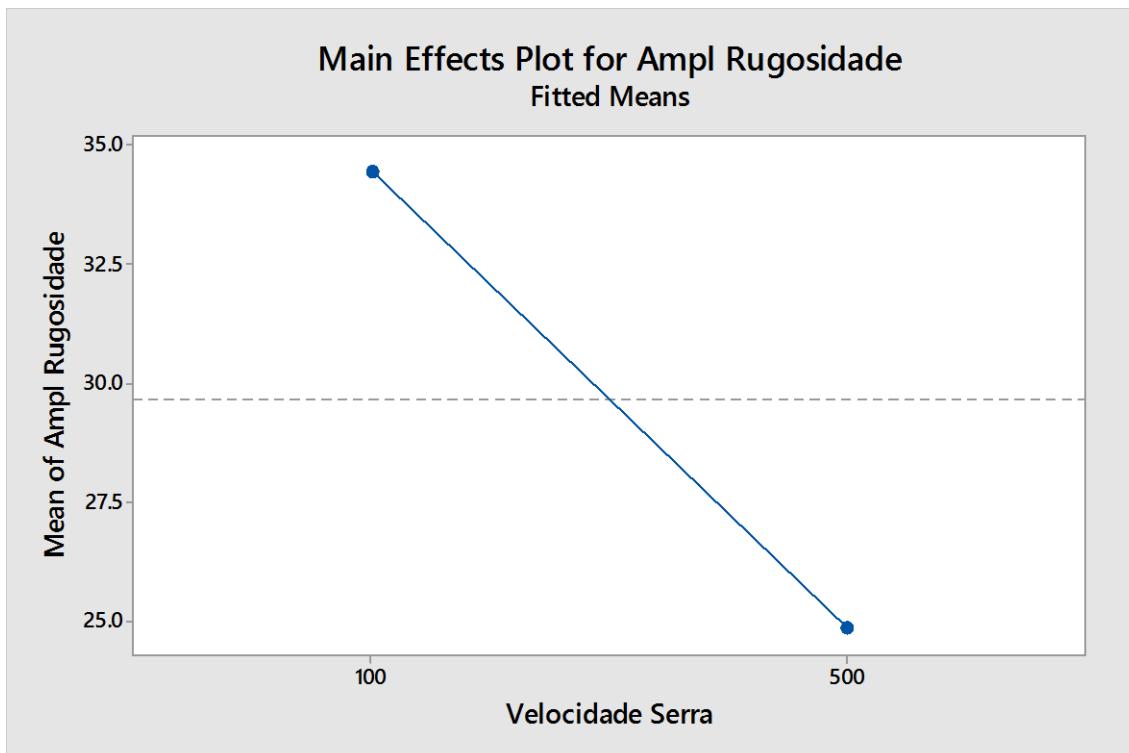
Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 14 – Compilação dos efeitos dos diferentes parâmetros sobre a amplitude do comprimento



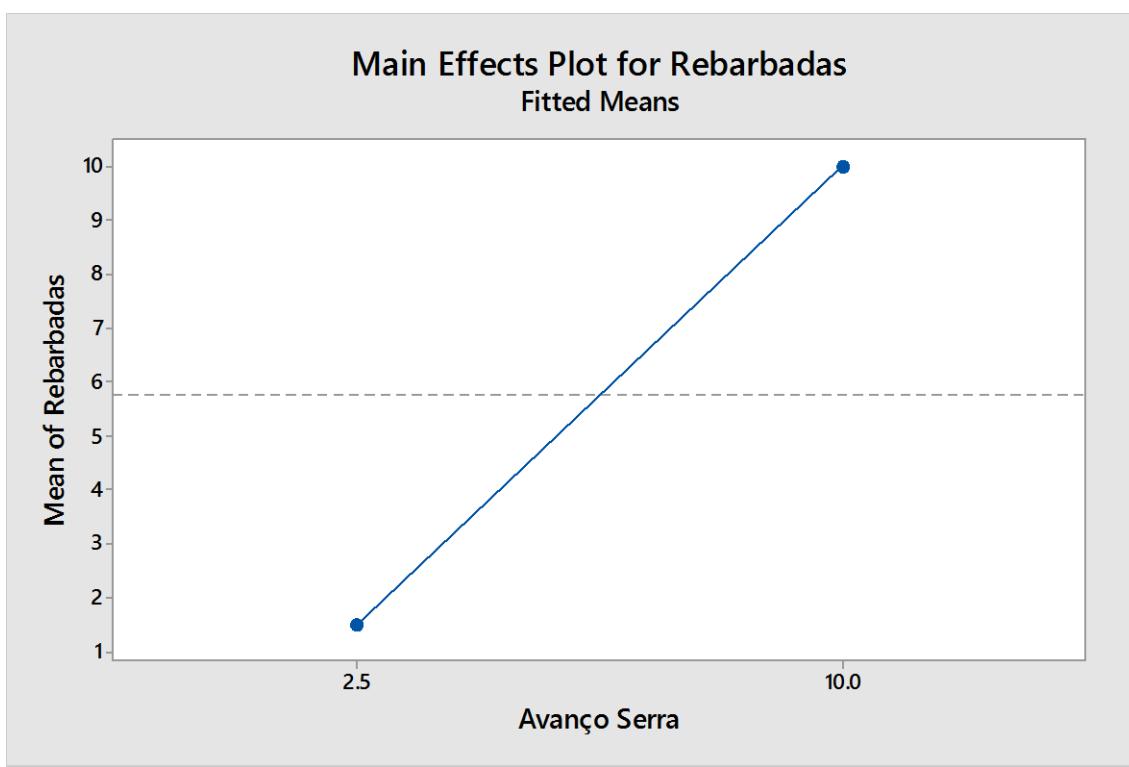
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 26 – Efeitos da velocidade da serra sobre a amplitude da rugosidade



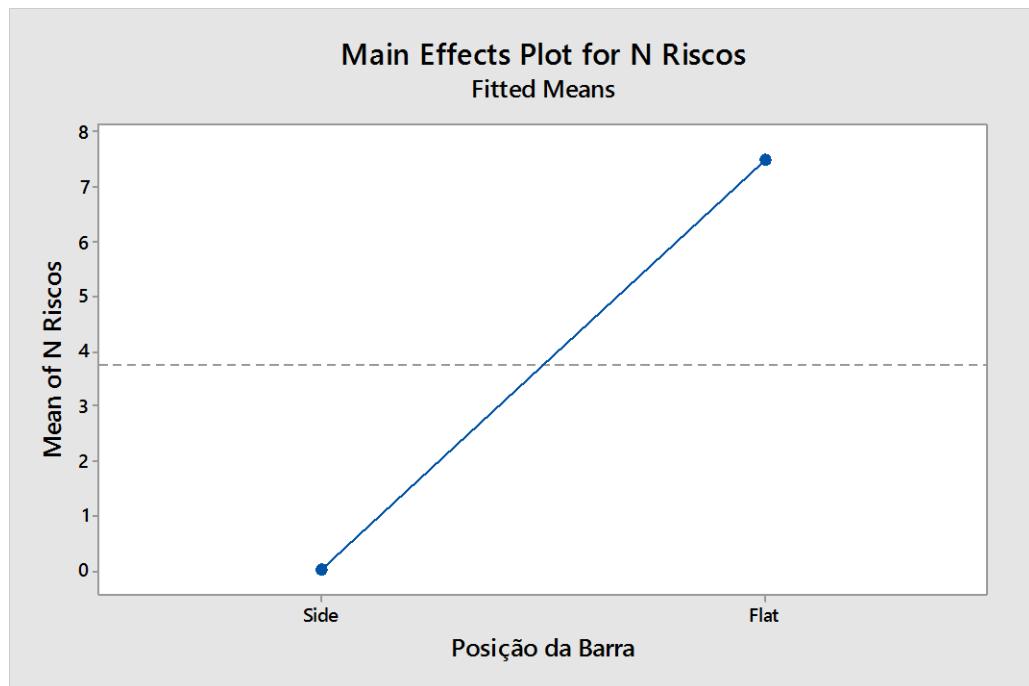
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 27 – Efeitos do avanço da serra sobre a presença de rebarbas



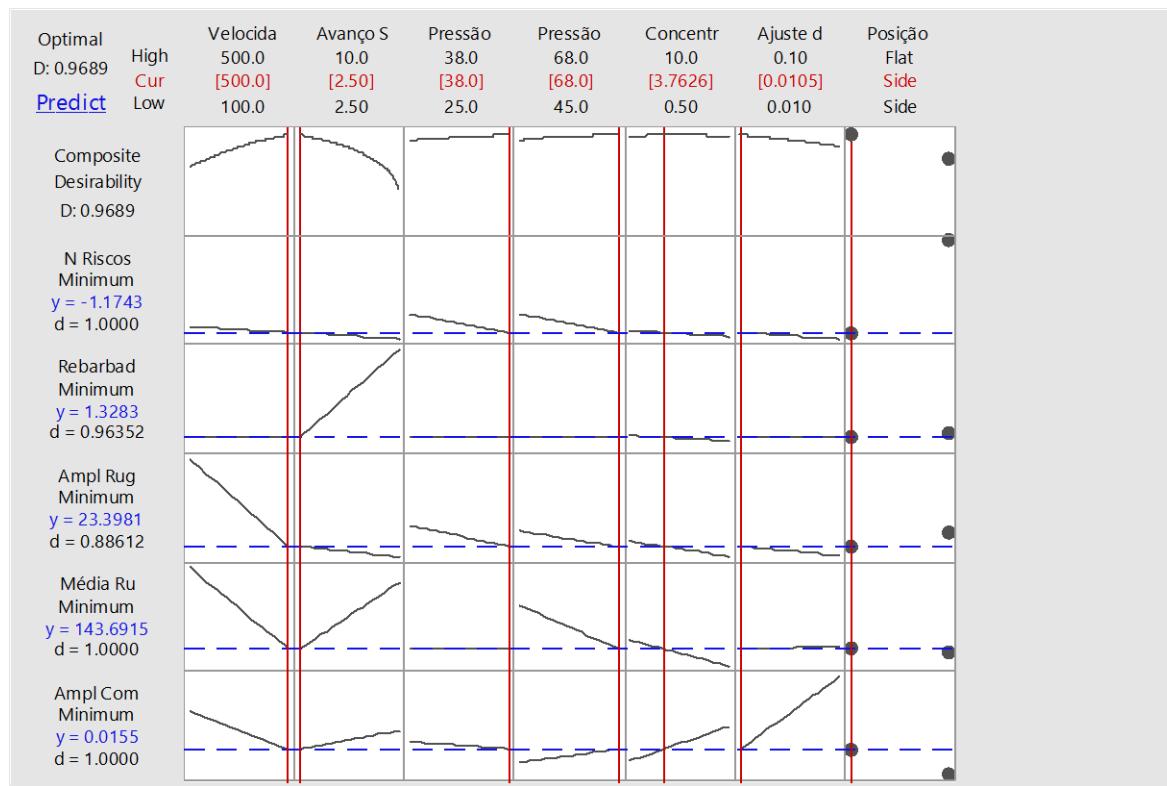
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 28 – Efeitos da posição da barra sobre o número de riscos



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 15 - Estudo sobre os efeitos que diferentes medidas de parâmetros têm sobre às CTC's para a escolha da “receita campeã”



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 16 - A “receita campeã”

CTC's	Velocidade da serra	Avanço da serra	Pressão do grampo	Pressão do líquido	Concentração do líquido	Ajuste da guia	Posição da barra
R Comprimento						0,01	
Xbar Rugosidade	500	2,5		68			
R Rugosidade	500						
Nº de peças com rebarba		2,5					
Nº de riscos na amostra							Side
Receita Campeã	500	2,5	38	68	3,76	0,01	Side

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para uma maior otimização do processo ainda existe a possibilidade de alterar os parâmetros (aumentar velocidade da serra, reduzir o avanço).

Act

É necessário um experimento comprobatório com os parâmetros da receita campeã para validar se esta é uma melhoria duradoura.

PDSA Nº 9

Plan

Objetivo: Experimento confirmatório após troca de parâmetros. Avaliar o comportamento das CTC's da Tijolinho SA ao longo do tempo usando os mesmos critérios estabelecidos no PDSA 1, com os parâmetros do PDSA 8.

Perguntas e Predições:

Comprimento

1. Os dados são de distribuição normal? Sim
2. O processo é estável? Sim
3. O processo é capaz? Provavelmente sim

Rugosidade

1. O processo é capaz? Provavelmente sim
2. O processo possui uma capacidade maior que 1.33? Provavelmente sim

3. A alteração proporcionada pela alteração de parâmetros é duradoura em relação à rugosidade? Sim
4. A rugosidade diminuiu significativamente? Sim

Número de riscos

1. O processo apresenta riscos? Não
2. O processo é estável? Sim
3. O processo é capaz? Sim
4. O número de riscos foi reduzido a zero? Sim

Rebarba

1. O processo é estável? Sim
2. O processo é capaz? Provavelmente sim agora
3. O número de rebarbas foi reduzido a uma quantidade aceitável? Sim

Produção

O JIT é atendido? Sim, não houve reclamação quanto a isso.

Parâmetros para medir capacidade:

$0 \leq Cp < 1$ – Inadequado

$1 \leq Cp < 1.33$ – Aceitável

$1.33 \leq Cp < 1.67$ – Adequado

$Cp \geq 1.67$ – Excelente

Plano de coleta de dados

a) Condições de operação

Nada deve ser alterado nas condições de operação utilizadas hoje:

MP usada – W1

Máquina usada – SW-103

Serra usada – Toughy

Instrumentos de medição – comprimento ACME

Operador – Maria

Velocidade da serra – 500

Avanço da serra – 2.5
Pressão do grampo – 38
Pressão do líquido – 68
Concentração do líquido – 3.76
Ajuste da guia – 0.01
Posição da barra - Side

b) Plano de análise dos dados

A coleta de dados será realizada em 2 dias começando às 6 AM e medida de hora em hora.

Do

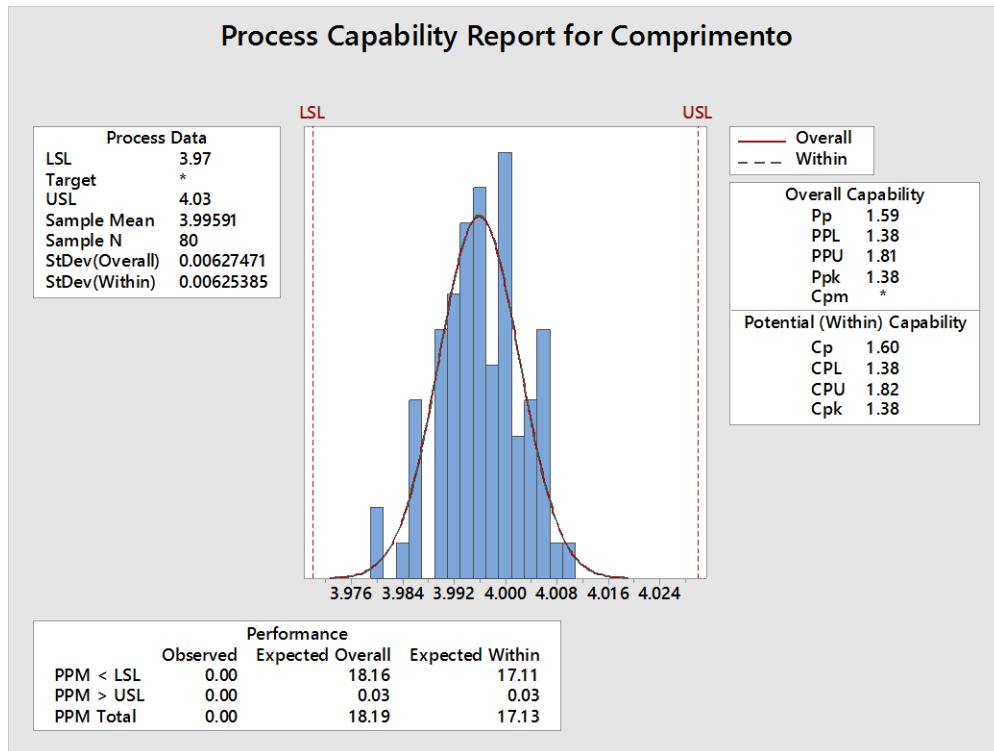
Observações durante a coleta de dados: foi realizada a troca da serra Toughy por uma nova no início do segundo dia de medição.

Study

O processo apresenta as seguintes características referentes às CTC's:

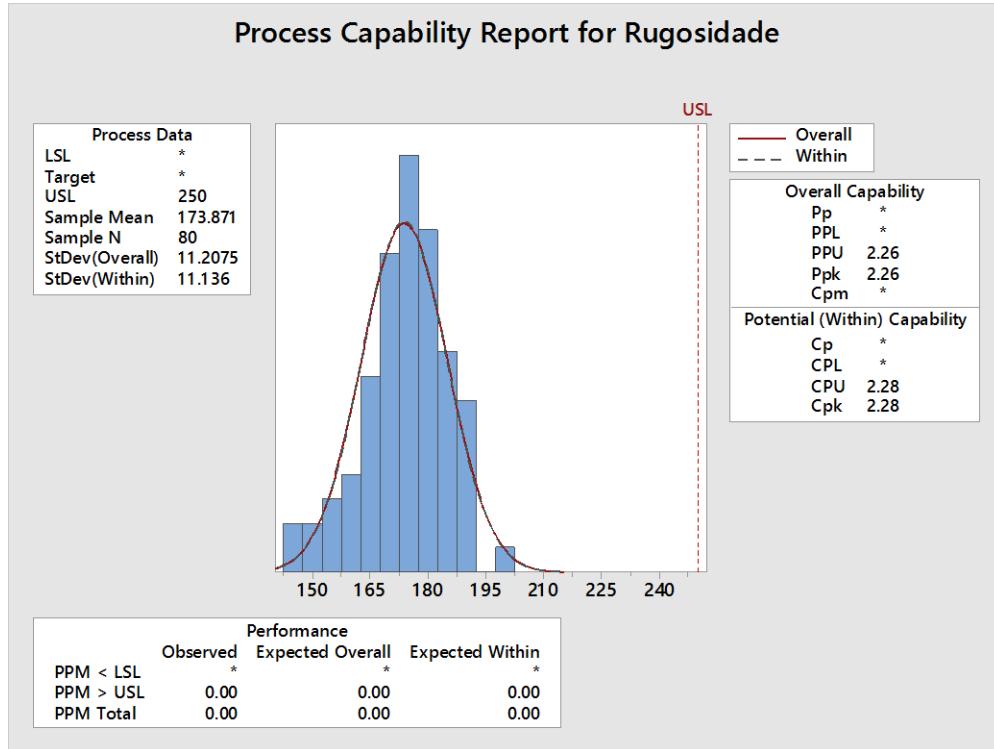
- Comprimento
 - Normal
 - Estável
 - Capaz ($C_p = 1.60$ e $C_{pk} = 1.38$)
 - PPM total = 17.13
- Rugosidade
 - Normal
 - Estável
 - Capaz ($C_{pk} = 2.28$)
 - PPM total = 0
- Número de riscos = 0
- Número de peças com rebarba: redução de 93%
- Produção: 30 peças/h exceto no começo do turno quando ocorre a troca de serra.

Gráfico 29 – Capabilidade do processo em relação ao comprimento



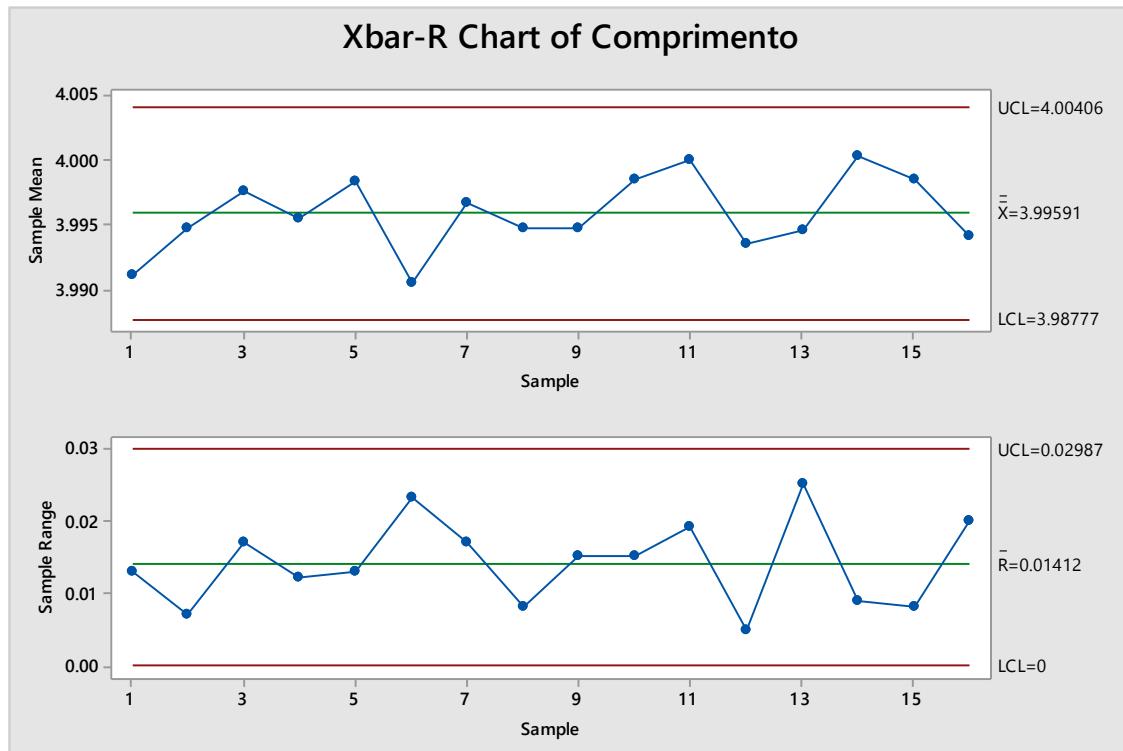
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 30 – Capabilidade do processo em relação à rugosidade



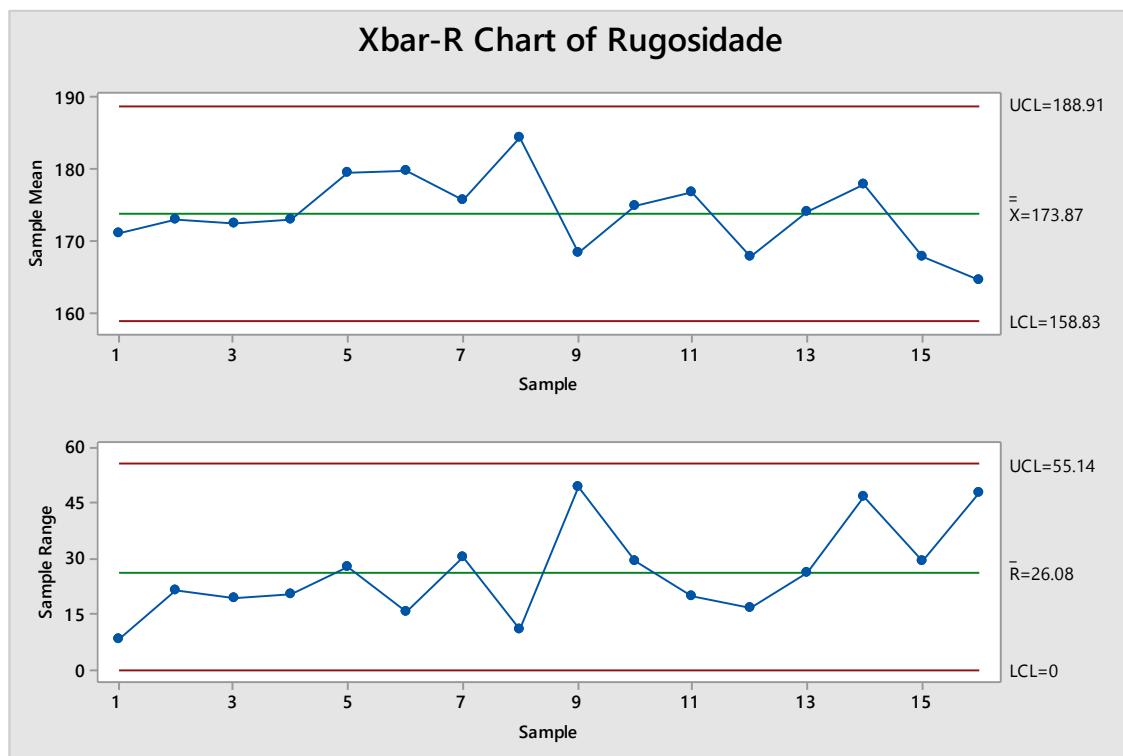
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 31 – Xbar-R para comprimento



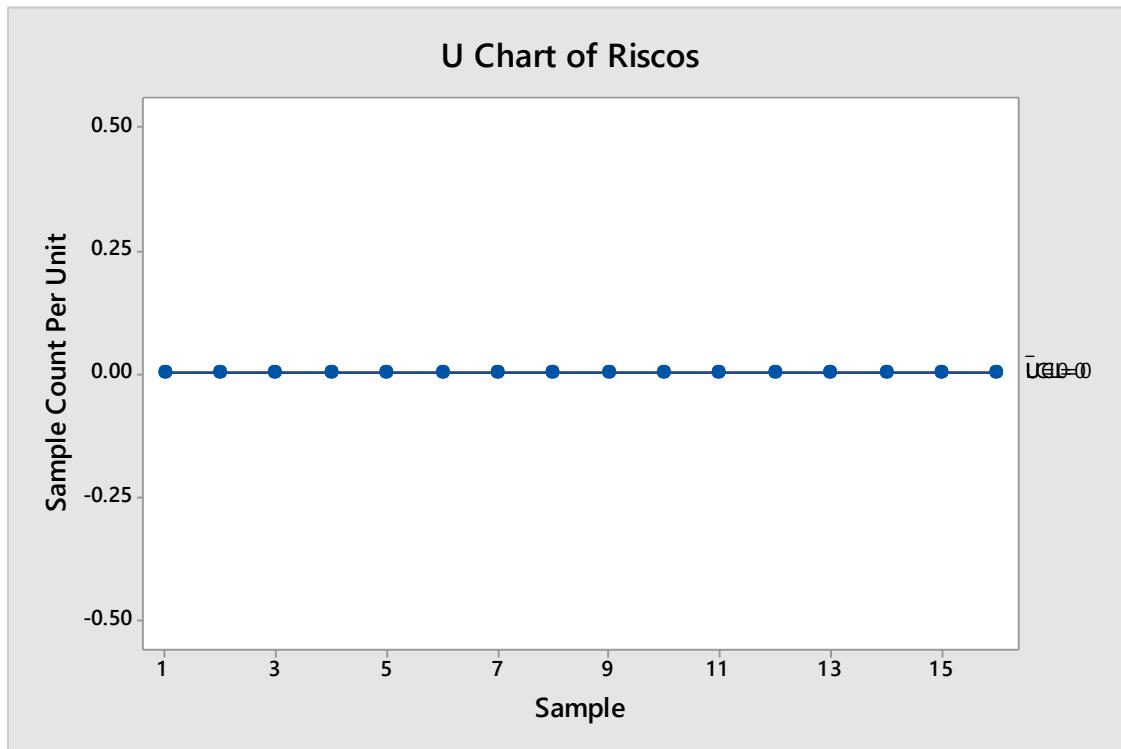
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 32 – Xbar-R para a rugosidade



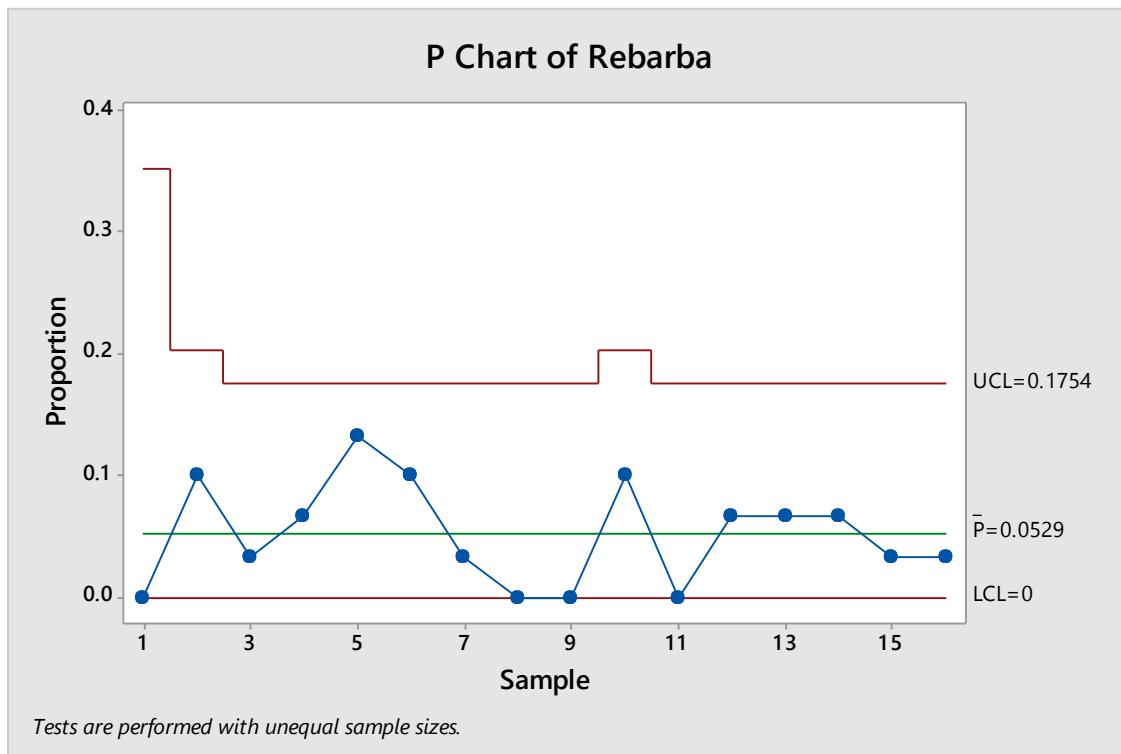
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 33 – Gráfico U para riscos



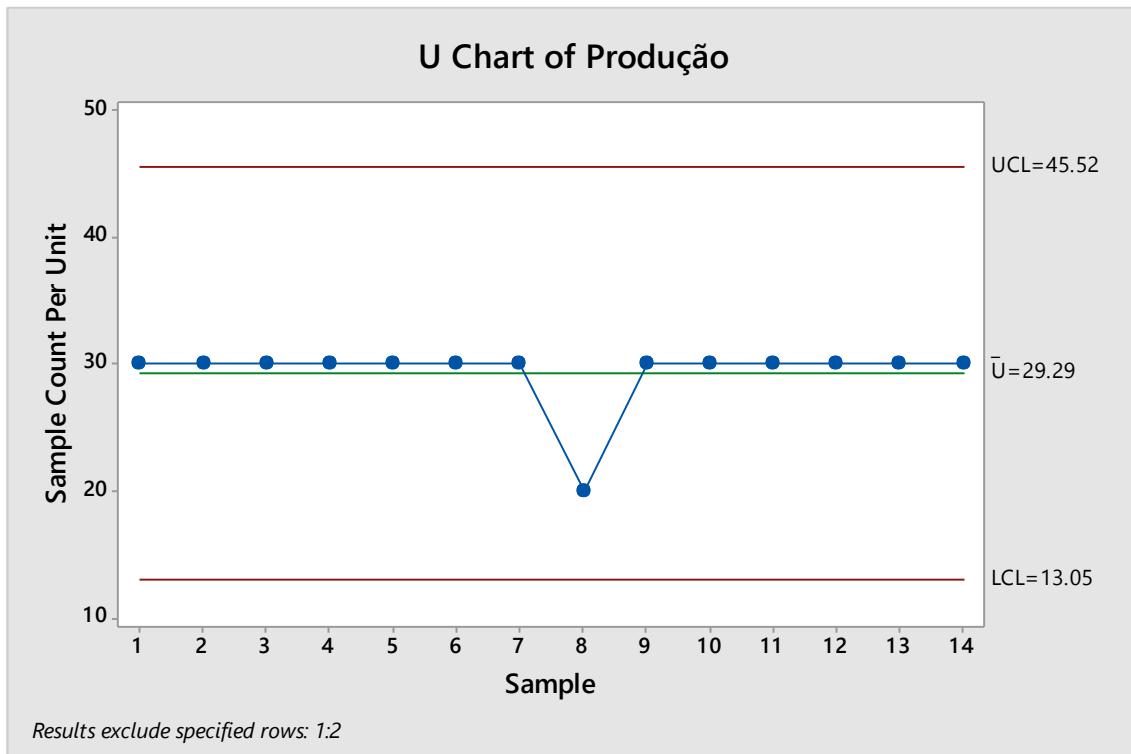
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 34 – Gráfico P para rebarbas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 35 – Gráfico U para a produção



Fonte: Elaborado pelo autor.

Act

As ações que deverão ser tomadas são:

1. Adotar as seguintes características para o processo:

MP usada – W1

Máquina usada – SW-103

Serra usada – Toughy

Instrumentos de medição – comprimento ACME

Operador – Maria

Velocidade da serra – 500

Avanço da serra – 2.5

Pressão do grampo – 38

Pressão do líquido – 68

Concentração do líquido – 3.76

Ajuste da guia – 0.01

Posição da barra – Side

2. Fazer a troca com o fornecedor ou revender os instrumentos de medição (GC-012, GL-211, Empire, Standard e GM-215); serras (National, Armer, Brite e Magic) e matéria prima (A-1 Foundry e Quality Metal Prod.) utilizados anteriormente. Assim pode-se liberar espaço para uma melhor utilização do mesmo e tentar recuperar o valor investido;
3. Determinar que não seja feita a compra destes produtos acima citados;
4. Manter o controle estatístico do processo ao longo do tempo;
5. Realizar reuniões mensais para buscar novas oportunidades de melhoria.

3.3.4 Control (Controlar)

Na última etapa, a de controle, o objetivo foi garantir que os ganhos seriam preservados, até que novos conhecimentos e dados mostrem que há uma maneira ainda melhor de operar o processo. Nesta fase perpetuou-se os conhecimentos e as melhorias conquistados.

O plano de implementação foi realizado com sucesso seguindo os parâmetros definidos anteriormente e todo o novo sistema foi documentado e padronizado. As áreas envolvidas na melhoria receberam treinamentos apropriados e manteve-se o controle estatístico do processo para monitorar o sistema a fim de garantir que os ganhos seriam duradouros. Além disso, estabeleceu-se que uma vez por mês seria realizada uma reunião entre a alta gerência e os funcionários para buscar novas oportunidades de melhoria e a manutenção do sistema.

Os resultados obtidos com a simulação e o uso da metodologia DMAIC foram descritos ao longo do trabalho. Contudo, para facilitar o entendimento, segue um resumo dos principais pontos de cada ciclo PDSA realizado; os fatores e níveis testados no DOE e as recomendações que o time de melhoria implementou:

Quadro 17 – Resumo dos ciclos PDSA

PDSA	Objetivo	Conclusão
1	Conhecer o estado atual das CTC's	As CTC's comprimento e rugosidade não são capazes. O processo apresenta riscos e rebarbas
2	Avaliar o sistema de medição da Tijolinho SA para comprimento e rugosidade	Substituir o instrumento GC012 (variação de 44,18%) pelo ACME (variação de 7,81%)
3	Conhecer o estado atual da CTC comprimento após a alteração do instrumento de medição	As CTC's comprimento e rugosidade não são capazes ainda mas já melhoraram. O processo ainda apresenta riscos e rebarbas
4	Avaliar a influência do comportamento das CTC's da Tijolinho SA com as diferentes MP	A MP W1 é melhor que a A1 (apresenta menos rugosidade)
5	Avaliar o comportamento das CTC's da Tijolinho SA ao longo do tempo usando a MP W1	Nosso processo é normal, estável mas não é capaz em relação à rugosidade ($Cpk=1,05$ e $PPM=803$) e ao comprimento ($Cpk=0,95$)
6	Avaliar a influência das diferentes serras no comportamento das CTC's da Tijolinho SA	A serra Toughy aparenta ser a melhor escolha em relação às CTC's comprimento, rebarba, quebras e custo
7	Experimento confirmatório após troca da serra	Nosso processo é normal, estável mas não é estável em relação à rugosidade ($Cpk=1,04$ e $PPM=908$) e ao comprimento ($Cpk=0.94$). Nº riscos = 0. O número de peças com rebarba também foi reduzido consideravelmente. Trocar todas as serras pela marca Toughy e realizar a troca da mesma a cada fim de expediente
8	Avaliar a influência das variáveis do processo no comportamento das CTC's da Tijolinho SA usando um experimento fatorial fracionado 2 (7-4)	Receita campeã: veloc serra = 500; avanço serra = 2,5; pressão do grampo = 38; pressão do líquido = 68; concentração do líquido = 3,76; ajuste da guia = 0,01; posição da barra = Side
9	Experimento confirmatório após troca de parâmetros. Avaliar o comportamento das CTC's ao longo do tempo	Comprimento ($Cp=1,60$ e $Cpk=1,38$; $PPM=17.13$); rugosidade ($Cpk=2,28$; $PPM=0$); nº riscos = 0. Redução de 93% da rebarba. Produção de 30 peças/h

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 18 – Fatores e níveis testados durante o DOE

Fator	Nível -	Nível +	Receita campeã
Velocidade da serra	100	500	500
Avanço da serra	2,5	10	2,5
Pressão do grampo	45	38	38
Pressão do líquido	45	68	68
Concentração do líquido	0,5	10	3,76
Ajuste da guia	0,01	0,1	0,01
Posição da barra	Side	Flat	Side

Fatores e níveis testados durante o DOE

Quadro 19 – Alterações implementadas e resultados obtidos

Item	Alteração	Resultado
Instrumento de medição	Troca do instrumento de medição: GC012 -> ACME	Maior precisão na medição
Matéria prima	Troca da MP A1 A pela W1	Redução do custo de R\$26 para R\$19. Ganho de R\$7/pç
Serra	Troca da marca da serra de Brite para Toughy	1) Redução do custo de R\$135 para R\$89 2) Aumento da durabilidade da serra. Redução de 4 para 1 por dia 3) Redução na ocorrência de riscos na peça

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 20 – Especificações da máquina antes e após melhoria

Especificação	Velocidade serra	Avanço serra	Pressão grampo	Pressão líquido	Concentração líquido	Ajuste da guia
Anterior	100	4	29,5	45	0,5	0,02
Melhorada	500	2,5	38	68	3,76	0,01

Fonte: Elaborado pelo autor.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando os objetivos iniciais desse trabalho: difundir o conhecimento sobre a metodologia Seis Sigma e comprovar sua eficácia através do uso do DMAIC em um caso simulado, obteve-se êxito.

Com as melhorias propostas e implementadas na simulação, observou-se uma melhora significativa em todos os indicadores medidos, bem como o atingimento dos requisitos exigidos pelo cliente.

Agora, com todo o sistema documentado e testado, o projeto poderia tomar maiores proporções, sendo expandido para as duas outras fábricas da Tijolinho SA. A utilização do DMAIC fez com que o projeto caminhasse de maneira estruturada e que não houvesse dúvidas a respeito do objetivo do time e das etapas a serem seguidas.

Não é preciso ter um conhecimento estatístico avançado para conseguir entender as medições e resultados e isso faz com o SS seja ideal para a otimização de processos. Ele pode ser adaptado para a realidade da maioria das empresas, não importando o setor de atuação. Contanto que haja oportunidades de melhoria e indicadores a serem medidos, é possível implementar o SS.

É importante ressaltar que, apesar de ser uma metodologia de aplicação relativamente simples, é preciso tomar alguns cuidados especiais. É necessário que toda a informação do processo possa ser coletada e que a mesma seja confiável. No caso de não possuir equipamentos de medição regulados e padronizados, por exemplo, a empresa pode precisar investir nesses aparelhos. O mesmo se aplica aos funcionários envolvidos no sistema, se eles não possuírem alguns treinamentos específicos, mais investimentos serão necessários.

Justamente pelo alto potencial de resultados ótimos e possível necessidade de investimento de tempo e dinheiro por parte das pessoas e empresa, é preciso que o time de melhoria planeje cuidadosamente todos os passos do projeto e que tenha claro quais são seus objetivos para, assim, obter êxito na implementação da metodologia Seis Sigma.

5. BIBLIOGRAFIA

- BESTERFIELD, Dale H.. *Quality Improvement*. 9. ed. New York: Pearson, 2013.
- CONE, G. *6-Sigma, um programa em ascensão*. HSM Management, São Paulo. HSM do Brasil, n. 4, jan.fev. 2001
- COSTA, Antonio Fernando Branco; EPPRECHT, Eugenio Kahn; CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. *Controle Estatístico de Qualidade*. São Paulo: Atlas S.a., 2004.
- GEORGE, Michael L.. *Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality With Lean Speed*. New York: The Mcgraw-hill Companies, Inc., 2002.
- LANGLEY, Gerald J. et al. *Modelo de Melhoria: uma abordagem prática para melhorar o desempenho organizacional*. Campinas: Mercado de Letras, 2009.
- MAGALHÃES, M. N. & LIMA, A. C. P. *Noções de Probabilidade e Estatística*, São Paulo: Editora USP, 2001.
- PANDE, Peter S.; NEUMAN, Robert P.; CAVANAGH, Roland R.. *Six Sigma Way: How GE, Motorola, and Other Top Companies Are Honing Their Performance*. New York: Mcgraw-hill, 2000.
- PETENATE, Ademir. *Certificação Lean Six-Sigma Green Belt*. Campinas: Escola Edti, 2017.
- PETENATE, Ademir. *Curso Green Belt: Programa Seis Sigma*. Campinas: Escola Edti, 2016.
- RODRIGUES, Marcus Vinicius. *Ações para a Qualidade: Gestão Integrada para a Qualidade Padrão Seis Sigma - Classe Mundial*. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2006.
- RYAN, Thomas P.. *Statistical Methods for Quality Improvement*. New York: Wiley, 1989.
- WATSON, G. *Six Sigma for Business Leaders*. GOAL/QPC. Salem, 2004.