

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO SUL
Campus Ibirubá**

RICARDO ALBANO JAEGER

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
Gestão da Qualidade: implementação de carta de Controle Estatístico de Processo no
setor de Pintura Industrial**

**Ibirubá
2022**

RICARDO ALBANO JAEGER

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Gestão da Qualidade: implementação de carta de Controle Estatístico de Processo no setor de
Pintura industrial

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Banca Examinadora designada pelo Curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Campus Ibirubá, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Gestão e monitoramento de Processos Industriais

Orientador: Prof. Me. Flávio Roberto Andara

Ibirubá

2022

JAEGER, Ricardo Albano.

Gestão da Qualidade: implementação de carta de Controle Estatístico de Processo no setor de Pintura industrial / Ricardo Albano Jaeger, 2022.

Orientador: Flávio Roberto Andara

65 páginas, ilustrado

Monografia (Graduação)- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul- Campus Ibirubá. Engenharia Mecânica, Ibirubá, 2022.

1. Engenharia Mecânica. 2. Cartas de controle estatístico de processo. 3. Gestão da Qualidade. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul- Campus Ibirubá. Engenharia Mecânica.

Gestão da Qualidade: implementação de carta de Controle Estatístico de Processo no setor de Pintura Industrial

Ricardo Albano Jaeger

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Banca Examinadora designada pelo Curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Campus Ibirubá, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Ibirubá, 01 de março de 2022.

Banca Examinadora:

Prof. Me. Flávio Roberto Andara
IFRS Campus Ibirubá

Prof. Me. Vitor Hugo Machado da Silveira
IFRS Campus Ibirubá

Prof. Dr. Adão Felipe Oliveira Skonieski
IFRS Campus Ibirubá

A meus pais, João Ricardo Jaeger e Marelise Seibel, e minha irmã Camila Victória Jaeger. Pelo exemplo, incentivo e apoio, me inspiram a cada dia.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pelas oportunidades da vida.

Agradeço a minha família, pelo apoio, exemplo e incentivo em todos os momentos.

Agradeço ao meu Professor e Orientador, Flávio Roberto Andara, que com paciência soube abordar cada detalhe e transmitir seu conhecimento desde o início desta graduação. Estendo ainda minha gratidão a cada professor que me repassou conhecimento ao longo dos dez semestres de Engenharia Mecânica.

Muito obrigado a empresa Stara, por ter me dado todo o suporte necessário para o desenvolvimento deste trabalho, em especial ao Alisson, Atilano, Bruno, Édipo e Rubian, que cederam seu tempo e conhecimento para me aconselhar durante todo o trajeto.

O que não é medido, não é gerenciado

Edward Deming

RESUMO

Com o avanço da globalização e o aumento da competitividade no mercado de trabalho, produzir produtos com o menor custo e maior qualidade, que atendam o cliente de maneira satisfatória se torna um objetivo constante para as empresas se manterem em alto nível no mercado. Com este trabalho, pretende-se demonstrar os benefícios da prática da Gestão da Qualidade Total através de um estudo de caso prático de implementação de uma ferramenta de qualidade no setor de pintura de uma empresa de implementos agrícolas, a carta de Controle Estatístico de Processos. Neste estudo de caso, constata-se um incremento de gestão ao processo, que contribui para a redução de tempo, custos e gargalos na produção, que é diretamente ligado a estratégia de empresas que buscam o sucesso na manufatura de seus produtos. Com o compromisso da gestão e dos colaboradores, verifica-se que a implementação de ferramentas da qualidade se torna uma aliada às metas e visão da companhia, e que sua multiplicação a demais setores é interessante para a melhoria contínua em todos os departamentos.

Palavras chave: Ferramentas da Qualidade. Gestão da Qualidade Total. Controle Estatístico de Processos. Melhoria Contínua.

ABSTRACT

With the advance of globalization and the increase of competitiveness in the market, to manufacture products with the lowest cost and highest quality, which serve the customer in a satisfactory manner, becomes a constant goal for companies to maintain themselves at a high level in the market. This work intend to demonstrate the benefits of the practice of Total Quality Management through a practical case study of the implementation of a quality tool in the Painting Department of an agricultural implements company, the Statistical Process Control chart. In this case study, there is an increase in the management of the process, which contributes to the reduction of time, costs and bottlenecks in manufacture, which is directly linked to the strategy of companies seeking success in the manufacture of their products. With the commitment of management and employees, it is verified that the implementation of quality tools becomes an ally to the company's goals and vision, and that their multiplication to other sectors is interesting for the continual improvement process in all departments.

Key words: Quality Tools. Total Quality Management. Statistical Process Control. Continual Improvement Process

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A_2	Fator para cálculo dos limites de controle
BI	<i>Business Intelligence</i> (Inteligência de Negócios)
CEP	Controle Estatístico de Processo
C_p	Capacidade do processo
C_{pk}	Índice de capacidade de processo
D_3	Fator para cálculo dos limites de controle
D_4	Fator para cálculo dos limites de controle
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i> (Sistema Integrado de Gestão Empresarial)
GQT	Gestão da Qualidade Total
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
SAP	<i>Systemanalysis Programmmentwicklung</i> - software de gestão de dados

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Gráfico de Pareto	20
Figura 2. Diagrama de Causa e Efeito	21
Figura 3. Exemplo de Histograma de medições de pH	23
Figura 4. Exemplo simplificado de carta CEP	26
Figura 5. CEP de Valores Individuais e <i>Range</i> Móvel.....	30
Figura 6. Distribuição dos pontos em padrão normal de variação	33
Figura 7. Interpretação dos índices de Cp e Cpk.....	37
Figura 8. Etapas do processo de fosfatização	39
Figura 9. Consumo de refinador em 2021	44
Figura 10. Histograma de pH do mês de maio/2021	46
Figura 11. Carta CEP de pH do mês maio/2021.....	47
Figura 12. Histograma do pH de setembro/2021	48
Figura 13. Carta CEP de pH do mês de setembro/21	49
Figura 14. Histograma de pH de dezembro/21	50
Figura 15. Carta CEP de pH de dezembro/21	51
Figura 16. MEV fosfato no mês de maio/2021	53
Figura 17. MEV fosfato no mês de setembro/2021	54
Figura 18. MEV fosfato no mês de novembro/2021	55
Figura 19. Custos de Garantias (2015 a 2021).....	56

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	JUSTIFICATIVA.....	13
1.2	OBJETIVOS	13
1.2.1	Objetivos específicos	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	INTRODUÇÃO A QUALIDADE.....	15
2.1.1	História da Qualidade	16
2.1.2	Gestão da Qualidade Total	18
2.2	FERRAMENTAS DA QUALIDADE	19
2.2.1	Diagrama de Pareto	19
2.2.2	Diagrama de Causa e Efeito	20
2.2.3	Histogramas	22
2.2.4	Cartas de Controle Estatístico de Processos (CEP)	24
2.3	CARTAS DE CONTROLE DE VALOR INDIVIDUAL E <i>RANGE</i> MÓVEL.....	28
2.4	CARTAS DE CONTROLE DE MÉDIA MÓVEL E <i>RANGE</i> MÓVEL.....	31
2.5	ANÁLISE DO PROCESSO EM CIMA DAS CARTAS CEP	33
2.5.1	Limites de controle x especificações de projeto	34
2.5.2	Capacidade e Performance do processo	35
3	MATERIAIS E MÉTODOS	38
3.1	DESCRIÇÃO DO ESTUDO DE CASO	38
3.1.1	Variáveis mapeadas para monitoramento	39
3.1.2	Instrumentos ou métodos utilizados para coleta dos valores das variáveis	40
3.1.3	Frequência de medições e processamento dos dados	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1	CONSUMO DE MATERIAIS NO PROCESSO.....	43
4.2	CARTAS CEP E ATUAÇÃO NO PROCESSO.....	44
4.3	MEV DO FOSFATO APÓS IMPLEMENTAÇÃO DAS CARTAS.....	52

4.4	IMPACTOS FINANCEIROS	55
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	58
	REFERÊNCIAS	60
	ANEXOS	62

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço da globalização, das tecnologias e do acesso aos produtos e serviços por parcelas da sociedade cada vez maiores, as empresas têm cada vez mais aprimorado seus processos e produtos para se manterem em mercados cada vez mais competitivos e que estão em expansão.

Para controlar as variáveis dos processos, mapear os fluxos da produção, obter dados sobre cada célula produtiva e verificar os custos envolvidos em toda a cadeia produtiva, a implementação da Gestão da Qualidade Total é de extrema importância dentro dos objetivos estratégico das grandes corporações.

A Gestão da Qualidade Total propicia às empresas melhores resultados nos processos produtivos através de ferramentas, técnicas e metodologias para aprimorar a confiabilidade dos procedimentos e produtos, sempre tendo a visão de atender com eficiência a necessidade e expectativa do cliente.

Enfatizado isto acima, este trabalho de conclusão de curso (TCC) tem por finalidade realizar um estudo embasado em cima de diversos livros, outros trabalhos acadêmicos de conclusões de cursos, artigos e conteúdos digitais relacionados ao tema de Gestão da Qualidade Total. Por final, será realizado um estudo de caso prático em uma planta de uma empresa do setor de desenvolvimento e fabricação de tecnologias e implementos do ramo agrícola.

Serão abordados os conceitos de diversas ferramentas e metodologias como, por exemplo, o Diagrama de Pareto, Diagrama de Causa e Efeito, entre outros que são considerados importantes para o corpo deste trabalho. No entanto, neste trabalho haverá um maior esforço no aprofundamento em Cartas de Controle Estatístico de Processo (CEP), ferramentas estas que terão um enfoque maior devido a serem objeto de estudo na implementação de melhorias na empresa do estudo de caso desta monografia.

Será ainda buscado a aquisição de resultados do estudo de caso da companhia citada acima, para a comparação e análise dos efeitos da implementação das ferramentas citadas no parágrafo anterior, a fim de se obter um estudo comparativo da teoria *versus* prática, de variáveis importantes como redução de tempo, custos e retrabalhos.

1.1 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento desse trabalho busca atender as expectativas dos clientes quanto aos serviços e produtos oferecidos sempre com o menor desperdício, atentando na satisfação dos *sponsors* envolvidos em toda a cadeia.

Ainda, busca-se contribuir apresentando ferramentas de controle efetivas para a gestão dos indicadores e tomadas de decisões necessárias de acordo com a estratégia da companhia.

Neste sentido, a implementação da ferramenta de qualidade CEP no processo de controle dos parâmetros envolvidos nos tanques de pintura eletrostática é considerada fundamental para garantir que essa etapa atenda aos requisitos de trabalho nas operações a que as peças serão expostas no campo. O controle de variáveis como a alcalinidade e concentrações de cada componente do fosfato tricatiônico, por exemplo, é necessário para garantir uma boa resistência ao impacto e a corrosão, fenômenos muito comuns enfrentados por máquinas agrícolas como pulverizadores e distribuidores.

Somado a isto, a análise dos resultados obtidos neste setor serve para encorajar a multiplicação da implementação desta ferramenta para demais setores da empresa, seguindo assim o princípio da melhoria contínua em todos os processos.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo do trabalho é realizar um estudo de revisão bibliográfica de diversas literaturas que abordam os conceitos que englobam a Gestão da Qualidade Total. Tão importante quanto a revisão bibliográfica, será a abordagem prática desenvolvida em uma empresa, com o intuito de comparar resultados teóricos com resultados práticos e reais obtidos em uma corporação. Para esta abordagem prática, o mapeamento e aquisição de dados do processo produtivo e a implementação de ferramentas da qualidade, tal como a Carta CEP, por exemplo, serão feitos para uma avaliação dos efeitos.

1.2.1 Objetivos específicos

Estudar detalhadamente as literaturas referentes à Gestão da Qualidade Total (GQT), visando ampliar o conhecimento teórico das ferramentas, programas e metodologias que podem ser empregadas.

Mapear processos produtivos onde houve a implementação de algumas ferramentas da qualidade para analisar as variáveis tempo e custo no antes e depois de sua adoção.

Analisar os dados obtidos antes e depois da implementação da carta CEP no setor de pintura para a constatação de melhorias no que tange aumento de produtividade e redução de custos.

Verificar custos consequentes de problemas na pintura de anos anteriores que podem ser reduzidos com a implementação da ferramenta, para serem realocados em outros orçamentos de acordo com a estratégia da empresa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Com o avanço da globalização, a produtividade atrelada à eficiência e qualidade ao menor custo possível é um requisito para uma companhia se manter forte em mercados cada vez mais acirrados. Com isto, a implementação da Gestão da Qualidade Total (GQT) nas empresas torna-se um pilar para a evolução da companhia. Segundo Besterfield (2003), a Gestão da Qualidade Total é um aprimoramento da maneira tradicional de se fazer negócios. É uma técnica comprovada para garantir a sobrevivência da companhia na competição global.

Juran (2010), aborda que a Gestão da Qualidade é um conjunto de atividades sistemáticas desempenhadas por toda a organização para alcançar de forma eficaz e eficiente os objetivos da organização assim como fornecer produtos e serviços com um nível de qualidade que satisfaça clientes, com o tempo e preço adequados.

A Gestão da Qualidade Total é um processo contínuo que busca se adaptar tanto aos requisitos internos da companhia quando aos requisitos externos (clientes e mercado). Besterfield (2003) reforça esta ideia quando cita que “a GQT é definida como uma filosofia e um conjunto de princípios orientadores que representam a base de uma organização com melhoria contínua”.

Juran (2010) enfatiza que o programa de 5Ss, o Diagrama de Causa e Efeito, o conceito de *Lean Manufacturin*, o diagrama de Pareto e os Histogramas são exemplos de ferramentas utilizadas pelas companhias para gerenciar a garantia da qualidade. Somando-se a estes conceitos e ferramentas, tem-se ainda a carta de Controle Estatístico de Processos, que auxilia nas tomadas de decisão para melhorias e controle da qualidade dos produtos e serviços de uma empresa.

2.1 INTRODUÇÃO A QUALIDADE

Primeiramente, é importante uma revisão do conceito de qualidade, segundo alguns autores. Dale (2003) sugere que no mundo dos negócios atual não há uma definição única de qualidade aceita. Geralmente, a palavra é utilizada para distinguir uma organização, evento, produto, serviço, processo, pessoa, resultados ou outros. Juran (2010) resume de maneira sucinta que qualidade, seja se for em relação a um bem ou serviço, refere-se a algo apto para o propósito.

Segundo Dale (2003) a qualidade pode ser dividida em dois grandes grupos de definições: qualitativa e quantitativa. Segundo o autor, a primeira se refere a uma linguagem não técnica sobre uma condição ou situação. Como exemplo, podem-se citar slogans de *marketing* -“A melhor qualidade encontra-se aqui”- por exemplo, em que o valor do parâmetro variável não pode ser mensurado, pois é intrínseco a percepção do cliente.

Já quando aborda-se a definição da palavra quantitativo, para Qualidade, encontra-se já em um primeiro momento com a introdução do termo Nível Aceitável de Qualidade. Ainda de acordo com Dale (2003), nesta metodologia, institui-se a quantidade de peças não conformes que podem haver em uma amostra, de acordo com o tamanho do lote. Esta quantidade não conforme é definida pelo cliente, e a forma de segregação para retrabalho é alinhado entre o cliente e o fornecedor (pode ser devolvido o lote total ou feita a inspeção completa do lote pelo fornecedor na planta do cliente). Em qualquer uma das duas maneiras, o fornecedor perde tempo, dinheiro e credibilidade perante ao cliente, e em paralelo o cliente perde produtividade em sua planta devido à falta de peças aptas a utilização.

Outra forma de medir a qualidade de um produto, no campo qualitativo, é com a implementação da ferramenta *Sigma*, que é um indicador de variação estatística e será abordado a frente.

Já Besterfield (2003) cita ainda que na Qualidade Total, o hábito de Melhoria Contínua sempre está presente e por isso o nível de qualidade aceitável está em constante mudança, com a necessidade, valores e expectativas do cliente gradativamente aumentando e exigindo assim a implementação de estratégias cada vez mais assertivas por parte das corporações para reduzir o número de erros.

2.1.1 História da Qualidade

A qualidade pode ser dividida em quatro grandes eras, de acordo com Besterfield (2003):

1. Era artesanal: a experiência dos artesãos antes das revoluções industriais fornecia a habilidade e o domínio a eles para a qualidade do produto final;
2. Era da inspeção: com o avanço das Revoluções Industriais e a implementação das linhas de montagens contínuas, com a divisão de tarefas específicas para cada

operador, surge a necessidade de as peças saírem conformes de cada posto para possibilitar a montagem no posto posterior. Assim, implementa-se a inspeção em cem por cento dos itens antes de ir ao próximo local da montagem, e os itens não conformes segregados;

3. Era da Garantia da Qualidade: com o aumento da demanda, a inspeção de cem por cento das peças começa a ser custosa devido ao tempo dedicado a esta tarefa. Assim, surgem métodos estatísticos na indústria para substituir o antigo método pelo método da inspeção por amostragem.

Nesta era, inicia-se a busca pela causa raiz do problema, para assim solucionar a não conformidade antes mesmo de a mesma aparecer.

Em 1924, W.A. Shewhart introduziu uma carta para o controle das variações dos produtos. A partir deste momento, grandes nomes da área da qualidade iniciaram a publicação de seus estudos, com H.F Dodge e H.G. Roming desenvolvendo a substituição da inspeção 100% na mesma década de 1920 e com W. Edwards Deming e Joseph Juran iniciando uma série de palestra sobre o tema no Japão a partir da década de 1950.

O Japão, após numerosos estudos e pulverização do conhecimento em suas áreas produtivas, se tornou uma referência da melhoria contínua e da qualidade total. A partir deste momento, altos executivos da indústria americana começam excursões para o Japão a fim de aprender os métodos japoneses de qualidade na produção.

4. Era da Gestão da Qualidade Total: a partir de 1980, as indústrias reforçam o tema sobre gestão da qualidade total, implementando ainda mais ferramentas para o controle estatístico de processos. Genechi Taguchi introduz os conceitos de parâmetros e tolerância nos desenhos, a fim de auxiliar o controle da qualidade.

Na década de 1990, começam a ser implementadas normas mundiais para o sistema da gestão da qualidade, como, por exemplo, a ISO 9000 (sistema de gestão da qualidade) e ISO 14000 (sistema de gestão ambiental).

2.1.2 Gestão da Qualidade Total

A GQT implica aplicar os princípios da qualidade em todos os setores e níveis da organização, integrando sistemas e aprimorando práticas do negócio e técnicas de gestão de processos e de pessoas. Dale (2003), escreve que “a GQT pode ser resumida como uma cooperação mútua entre todos em uma organização e de processos de negócios associados, a fim de produzir produtos e serviços com uma boa relação custo-benefício que atendam ou até superem as necessidades ou expectativas dos clientes”.

Já Juran (2010) cita que “a GQT pode ser definida como um conjunto de atividades sistemáticas desenvolvidas por toda a organização a fim de atingir de forma efetiva e eficiente os objetivos da organização assim como fornecer produtos e serviços com um nível de qualidade que satisfaça os clientes com um preço e tempo adequados”.

A norma ISO 9000 (2000), segundo Dale (2003) elenca oito princípios para a gestão da qualidade total, que são:

- Foco no cliente: organizações precisam focar em seus clientes a fim de entender necessidades, requisitos e procurar atender ou superar expectativas atuais e futuras destes;
- Liderança: líderes devem desenvolver um ambiente na organização em que todos os colaboradores mantenham o espírito para atingir os objetivos da empresa;
- Envolvimento dos colaboradores: o envolvimento dos colaboradores e as habilidades destes para o benefício da empresa é essencial;
- Abordagem como processo: melhores resultados são alcançados quando atividades e recursos são tratados como processos;
- Abordagem do sistema para gerenciamento: mapear e gerenciar atividades e sistemas correlacionados produz maior eficiência a fim de alcançar os objetivos;
- Melhoria Contínua: sempre deve ser um objetivo permanente da companhia;
- Tomadas de Decisões em cima de fatos: tomadas de decisões eficientes são feitas com análise de dados e informações;
- Relações benéficas com fornecedores: relações de benefício mútuo entre fornecedor e companhia fomentam a estratégia ganha-ganha, fortalecendo as relações entre as partes e criando valor para ambas as corporações.

Para auxiliar no suporte, desenvolvimento e avanço da melhoria contínua, e consequentemente no fortalecimento da GQT, há a disponibilidade de várias ferramentas da qualidade, da qual pode-se destacar algumas fundamentais: diagrama de causa e efeito (Ishikawa), cartas de controle estatístico de processo, histogramas, Gráfico de Pareto e gráficos de dispersão.

2.2 FERRAMENTAS DA QUALIDADE

Existem dezenas de ferramentas e técnicas utilizadas para o controle estatístico dos processos, porém conforme Besterfield (2003), podem-se destacar algumas como básicas para o fortalecimento da GQT: Diagrama de Pareto, diagrama de fluxos, diagramas de causa e efeito, folhas de verificação e cartas de dispersão. Além disso, informações de capacidade de processo como C_p e C_{pk} são utilizadas para análise a fim de determinar se o processo está capaz e centrado.

2.2.1 Diagrama de Pareto

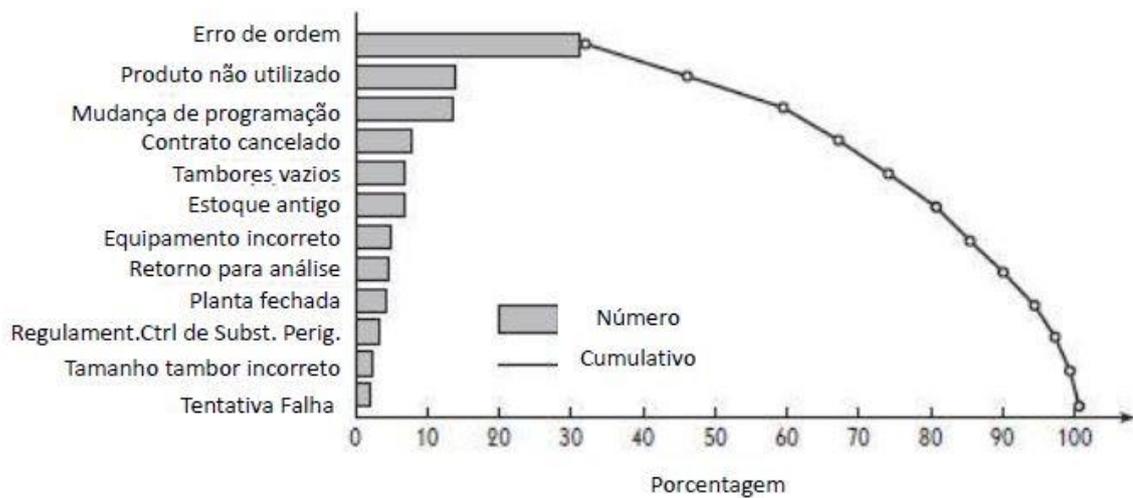
Esta é uma ferramenta utilizada para auxiliar no mapeamento dos problemas e na tomada de decisão de qual problema priorizar primeiro. Tal técnica pode ser utilizada em diversos campos, não apenas restringindo-se a qualidade, mas podendo ser utilizada em finanças, controle de estoques, alocamento de recursos entre vários outros.

O diagrama surgiu no século de 1900, quando o economista Wifredo Pareto observou que uma grande quantia de valor monetário se concentrava em uma pequena fração da população. Daí surgiu a expressão 80/20 (80 por cento do valor concentrado em 20 por cento dos objetos de estudo). Em 1950, Juran utilizou a mesma técnica para mapear problemas de qualidade, e verificou que nesta área também se replicou a constatação de Pareto: grande quantidade de problemas estavam concentrados em uma pequena quantidade de causas.

A técnica consiste em coletar e ranquear dados, com o problema mais comum sendo alocado na parte superior e o menos na parte inferior do gráfico. A fração de contribuição de cada problema é expressa no gráfico em forma de porcentagem e as porcentagens cumulativas destes problemas são expostas para verificar o efeito destes problemas. Geralmente, o *ranking*

destes problemas se dá em termos de ocorrência ou custo (DALE, 2003). A Figura 1 exemplifica um modelo de diagrama de Pareto.

Figura 1. Gráfico de Pareto



Fonte: Google Imagens

2.2.2 Diagrama de Causa e Efeito

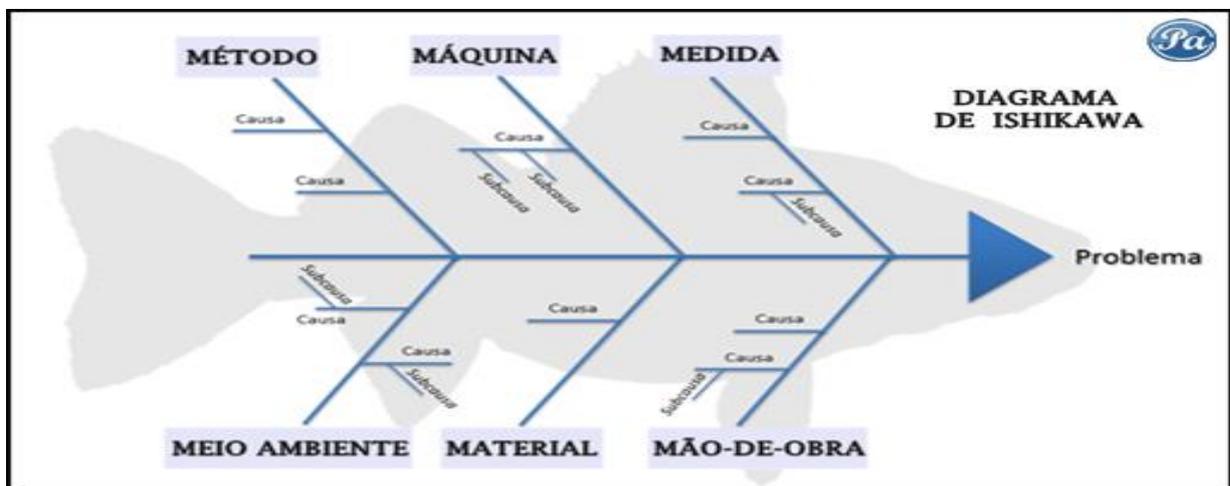
Essa ferramenta, também conhecida como diagrama de Ishikawa ou Diagrama Espinha de Peixe (devido sua geometria se assemelhar a espinha desses animais), é utilizada para mapear as principais causas de um problema, encaixando-as em campos pré-definidos, que levarão à solução da causa raiz que leva ao efeito (problema).

O diagrama desenvolvido por Ishikawa em 1976, é mais comumente utilizado no formato de 6M (seis ramificações, cada uma representando uma causa externa potencial, onde possível fatores podem ser alocados para mapear a causa externa causadora do efeito colateral). São estes os integrantes do grupo 6Ms: mão de obra, máquina, medida, meio ambiente, métodos e materiais. Revisando, cada possível fator é alocado então em cada uma das ramificações, cada uma representado um dos 6Ms. Encabeçando esta espinha, tem-se o efeito, representado pela cabeça do animal. A

Figura 2 é um exemplo de diagrama de Ishikawa. Cada um dos 6Ms inclui os fatores listados abaixo, conforme Siqueira (1997):

1. Máquina: inclui o desgaste de ferramentas, ajuste de máquinas, vibrações das máquinas, flutuações elétricas, hidráulicas e pneumáticas;
2. Métodos: alterações nos parâmetros dos processos ou tecnologia utilizada podem ser causa de não conformidades;
3. Materiais: propriedades mecânicas e químicas dos materiais podem resultar em efeitos não conformes, dependendo da variação em relação ao padrão da norma;
4. Meio ambiente: temperatura, umidade, luminosidade e radiação podem interferir no produto final;
5. Mão de Obra: as condições físicas e emocionais, além do treinamento e habilidade do operador interferem no resultado final do produto ou serviço;
6. Medidas: falhas nos equipamentos de medição, leituras e manuseio inadequado dos equipamentos e utilização incorreta de padrões de qualidade também podem ser uma das causas raízes das variações do processo.

Figura 2. Diagrama de Causa e Efeito



Fonte: Site Portal Administração

Para um bom desenvolvimento desta técnica, é necessária uma equipe com bom conhecimento técnico sobre o problema e fatores que influenciam no processo, para assim, em um *brainstorming*, elencarem as principais causas que podem incorrer no problema. Após, todos os possíveis fatores que podem causar a falha de estudo precisam ser elencados e distribuídos corretamente em cada um dos seis subgrupos.

Em uma segunda rodada de *brainstorming*, já com mais informações sobre a situação, o grupo decide quais são as possíveis causas principais que causam a não conformidade e elencam de forma crescente cada um dos grupos do 6M que podem estar acarretando na falha. O diagrama de Pareto pode auxiliar na tomada de decisão de qual campo focar primeiro.

Por fim, planos de ação, testes e monitoramento das ações tomadas são implementados para verificar se as medidas definidas foram satisfatórias e mitigaram a recorrência do problema.

2.2.3 Histogramas

Histogramas são representações gráficas que buscam agrupar dados semelhantes a fim de encontrar padrões na amostra total. Em resumo, é um gráfico de barras verticais com a distribuição das frequências das medições, em um intervalo de dados.

Dale (2003) define histogramas como um gráfico de representação de valores medidos individualmente em um conjunto de dados de acordo com a frequência ou a frequência relativa de ocorrência. Ainda, para Werkema (2012), o histograma é um gráfico de barras que dispõe as informações de modo que sejam possíveis a visualização da forma da distribuição de um conjunto de dados do fenômeno analisado. Reforçando sua importância no contexto de monitoramento da qualidade tem-se para Rosa (2009), que trata-se de uma ferramenta que permite conhecer, com um exame rápido, a tendência central e a dispersão de um conjunto de dados ao longo de sua escala de medição.

Para se construir uma dispersão de frequências, é necessário dividir a faixa de dados em intervalos, que são conhecidos como intervalo de classes. Na medida do possível, para os dados ficarem mais nítidos para o analista, é recomendado que todas as colunas sejam de iguais larguras. De acordo com Montgomery (2012), 5 a 20 intervalos são suficientes para a maioria dos casos, e o aumento no número de intervalos deve crescer de acordo com o número de amostras.

Montgomery (2012) descreve que uma fórmula que satisfaz o número de intervalos ideal para um histograma é calculando a raiz quadrada do número de observações n , conforme a Equação 1:

$$\sqrt{\eta} = \text{número de intervalos} \quad (1)$$

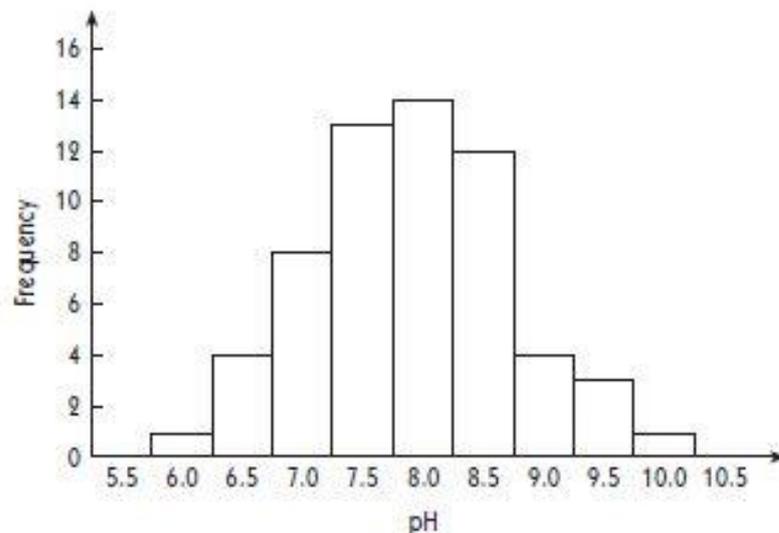
Equação 1. Cálculo número de intervalos recomendado do histograma

Feita a operação acima, deve-se plotar as barras no gráfico, de acordo com os passos abaixo:

1. Marcar os limites do intervalo de classes no eixo horizontal;
2. Marcar no eixo vertical as frequências obtidas nas medições;
3. Acima de cada intervalo, desenhar um retângulo que seja de altura igual a frequência obtida nas medições.

Feito o gráfico acima, obtém-se uma distribuição que de acordo com seu formato irá indicar se o processo está dentro dos parâmetros do projeto ou está fora de controle. A Figura 3 retrata um histograma de medições de pH:

Figura 3. Exemplo de Histograma de medições de pH



Fonte: Dale,2003

Uma ressalva importante é que não necessariamente o gráfico terá uma geometria simétrica como acima, podendo ter sua curva deslocada para a esquerda ou também para a direita.

Alguns conceitos importantes a serem reforçados, ainda, quando abordada a ferramenta de Histogramas, são:

- Média (aritmética): é o resultado da soma de todas as medições obtidas dividido pelo número de medições
- Mediana: representa o valor central de um conjunto de dados. Para obter-se a mediana, organiza-se os dados em ordem crescente ou decrescente, e após seleciona-se o valor central. Para casos em que o número de dados é par, pega-se os dois valores centrais e divide-se por dois;
- Moda: representa o valor mais frequente apresentado no conjunto de dados.

2.2.4 Cartas de Controle Estatístico de Processos (CEP)

A carta de controle é uma ferramenta muito utilizada no campo da gestão da qualidade para monitorar e avaliar se as condições do processo estão dentro dos parâmetros, a fim de atender as medidas e/ou qualidade final de um produto ou serviço.

De acordo com Siqueira (1997), “a carta de controle é uma ferramenta extremamente útil para verificar se as variações observadas num processo são decorrentes de causas comuns de variação, ou de causas especiais de variação, que neste caso precisam ser identificadas e removidas do processo, pois são de grande significância”. Montgomery (2012) complementa ainda que é de extrema importância o analista compreender os dados do processo e verificar se a variabilidade é comum, intrínseca do processo, ou de uma causa especial. Só assim a equipe poderá tomar a decisão correta da ação a se tomar em cima do processo.

O sucesso da implementação das cartas CEP está diretamente ligado ao comprometimento de todas as partes da corporação e depende de uma mudança de cultura organizacional. Toledo et al (2017) reforçam que “sua implementação está também relacionada a questões sociais, ambientais, técnicas e culturais, fatores estes que garantirão que o uso dos gráficos seja integrado às rotinas de processo”

Ainda de acordo com Montgomery (2012, p.332) “o objetivo final das do controle estatístico de processo (CEP) é a eliminação da variabilidade no processo”. A eliminação

total, por experiência prática, dificilmente será obtida, pois conforme visto no parágrafo anterior, há uma proporção de variabilidade inerente aos processos que é considerada comum dentro do estudo.

Existem dois grandes grupos de cartas de controle: as cartas de controle por variáveis e as cartas de controle por atributos. Devido ao estudo de caso deste trabalho ser voltado para o primeiro grande grupo, o enfoque maior será neste. Porém, é importante a introdução destes dois conceitos, de acordo com Siqueira (1997):

- Variáveis não existem dois corpos iguais e medições com o equipamento adequado podem ser realizadas para verificação do valor exato do objeto de estudo. Algumas variações podem ser facilmente percebidas enquanto outras necessitam de equipamentos e técnicas precisas para serem notados. As variações podem ser: internas, quando ocorrem em um mesmo item; item a item, quando a variação ocorre entre itens produzidos em períodos próximos; e tempo a tempo, quando a variação ocorre entre itens produzidos em diferentes períodos do dia.
- Atributo: refere-se a uma característica que pode estar ou não conforme. Essa forma é utilizada em situações onde não é possível medir as características do mesmo ou em situações onde há gabaritos em que só se toma a nota de Ok ou não Ok (dispositivo passa-não-passa, por exemplo). De maneira análoga, pode-se utilizar o exemplo dos números binários, onde só existem duas possibilidades: 0 ou 1 (ou seja: conforme ou não conforme, bom ou ruim).

O responsável pelo desenvolvimento e das cartas CEP deve conhecer o negócio, os principais parâmetros a serem controlados e os limites do processo, para assim mapear as variáveis a serem observadas e selecionar a carta correta a ser utilizada para cada caso. Madanhire (2016) destaca que “na aplicação do CEP, é importante entender e identificar as principais características do produto que são críticas para os clientes ou chaves de variação de processo”.

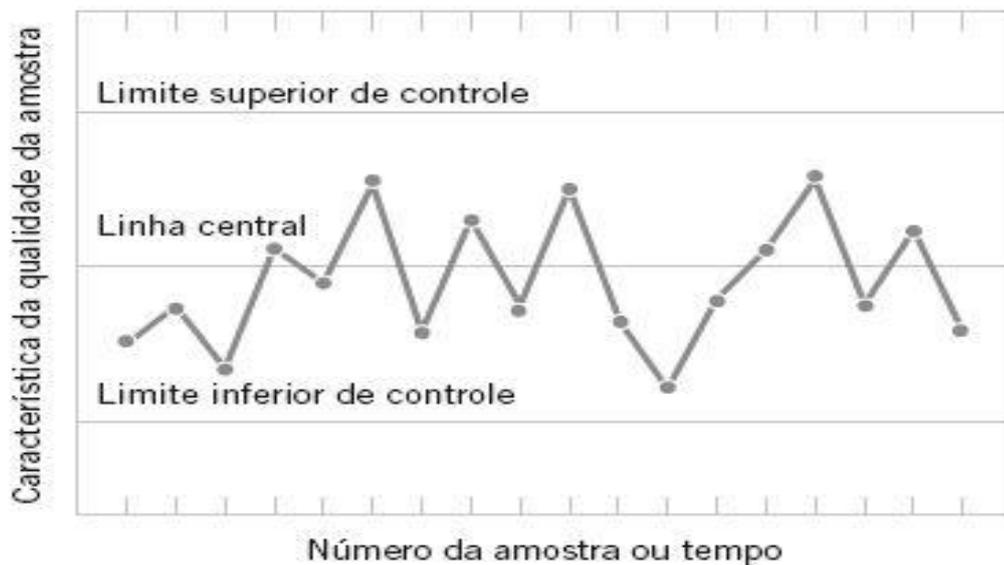
Um gráfico de CEP comum apresenta uma linha central (LC) que representa o valor médio de uma característica monitorada aceitável para ser classificada como dentro do estado

de controle. Além desta linha, há outras duas referências, uma na parte superior e outra na parte inferior, e são denominadas de limite superior de controle (LSC) e limite inferior de controle (LIC).

As medidas feitas no processo (podem ser a cada minuto, horas ou dias, dependendo da especificação e de sua criticidade) são então plotadas no gráfico, através de pontos que indicam a posição da medida no tempo ou o número da amostra (eixo x) versus valor obtido da variável que está sendo controlada (eixo y). A

Figura 4 exemplifica, de forma simplificada, uma carta CEP. Em suma, se todos os pontos estão entre o LIC e o LSC, o processo está sob controle. Entretanto, como cita Montgomery (2012), caso um ponto saia de um dos limites de controle, é interpretado que o processo saiu de controle e uma ação corretiva deve ser tomada para erradicar a causa raiz e retornar o processo a uma condição estável.

Figura 4. Exemplo simplificado de carta CEP



Fonte: Montgomery, 2012

Com frequência, médias de uma quantidade de amostras são utilizadas em lugar de valores individuais. Isso se deve ao fato de que valores médios indicam mudanças na variação muito mais rapidamente (SIQUEIRA,1997).

As posições dos limites de controle são normalmente fixadas a ± 3 desvios padrões da linha central. A fórmula do desvio padrão pode ser observada na Equação 2:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (2)$$

Equação 2. Fórmula de desvio padrão

Onde: σ =desvio padrão, Σ = somatório, x_i = amostra atual, \bar{x} = valor da média nas amostras e n = número de amostras.

Conhecendo o desvio padrão e o LC, pode-se, com cálculos simples, chegar-se ao valor da LIC e LSC através das Equação 3:

$$\begin{aligned} \text{LIC} &= \text{LC} - 3\sigma \\ \text{LC} &= \text{LC} \\ \text{LSC} &= \text{LC} + 3\sigma \end{aligned} \quad (3)$$

Equação 3. Cálculo dos limites superior e inferior CEP

Existem vários modelos de cartas de controle de processo, cada um se adequando mais para cada tipo de operação. A análise da carta mais adequada é feita pela equipe de qualidade, que deve definir qual característica deverá ser controlada, o método de amostragem, a forma da coleta dos dados, o valor central e os limites de controle.

Como reforça Siqueira (1997), é impossível construir cartas de controle para todas as variáveis que possam afetar o processo. Por isso, uma análise com o auxílio do gráfico de Pareto pode auxiliar a equipe a tomar a decisão de quais variáveis realmente necessitam de controle em um primeiro momento.

Outra definição importante se refere ao método de amostragem. Existem duas formas comumente utilizadas para a retirada de amostras: o método instantâneo, que consiste em segregar amostras consecutivas durante a produção; e o método periódico, que consiste retirar

uma amostra aleatória, em um período de tempo determinado, para esta amostra representar o estado de toda a produção ou processo.

Dentre várias cartas, podem-se destacar algumas amplamente utilizadas nas indústrias: carta de controle de média (Carta \bar{X}), carta de controle de *range* móvel (Carta RM) e cartas para média móvel e *range* móvel. Devido ao estudo de caso desta monografia ser desenvolvido em cima destas últimas duas cartas, será abordado com mais aprofundamento somente as cartas de valor individual e *range* móvel, e média móvel e *range* móvel nesta revisão bibliográfica.

O motivo da seleção destas cartas se deve ao fato de as amostras serem retiradas de um tanque da solução tratada como homogênea, ou seja, os valores de medições realizadas em diferentes pontos serão muito próximos para uma mesma coleta. Entretanto, os valores encontrados em diferentes coletas podem apresentar alta variação. Ramos (2000) ressalta que o CEP para processos contínuos presta-se a situações onde o produto costuma ser de natureza contínua sem ser possível definir claramente o que seja uma unidade do produto. Ainda segundo Montgomery (2012) o controle sobre a qualidade média é exercido pelo gráfico de controle para as médias, enquanto a variabilidade do processo pode ser controlada pelo gráfico de amplitude.

2.3 CARTAS DE CONTROLE DE VALOR INDIVIDUAL E *RANGE* MÓVEL

Este tipo de carta é utilizado em processos em que formar subgrupos é economicamente inviável, a produção é organizada em bateladas em que tendem a serem homogêneas ou a característica sendo medida é estável para curtos períodos de tempo. A medida do pH de um processo pode ser um exemplo de uso em que a carta de valor individual e *range* móvel pode ser utilizada.

Segundo Siqueira (1997), em muitas situações uma única medida pode ser tomada para determinada característica de qualidade, em casos onde o custo de inspeção é elevado, o tempo de inspeção é alto ou há pouca quantidade de itens a serem inspecionados.

A amplitude móvel, em si, é definida como a diferença em módulo de dois valores consecutivos. Deve-se observar que, como o primeiro valor do processo não tem um valor antecedente, estabelece-se que há $k-1$ valores individuais para o cálculo do *range* móvel.

Para a construção desta carta de controle, primeiramente deve-se calcular a média dos valores individuais e após a resultante do *range* móvel, conforme a Equação 4 abaixo:

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{k} \qquad Rm = \frac{\sum Rm}{k-1} \qquad (4)$$

Equação 4. Cálculo de valor individual e *Range* móvel

Onde:

\bar{X} = média dos valores individuais

x = valor individual

k = tamanho da amostra

Rm = *Range* móvel individual

Após o cálculo acima, é necessário a definição dos limites de controle da carta, que são obtidos através da resolução dos cálculos da

$$LSC_X = \bar{X} + E_2 + \overline{Rm} \qquad (5)$$

$$LM_X = \bar{X}$$

$$LIC_X = \bar{X} - E_2 + \overline{Rm}$$

e

$$LSC_{Rm} = \bar{X} + E_2 + \overline{Rm}$$

$$LMC_{Rm} = \bar{X}$$

$$LIC_{Rm} = \bar{X} - E_2 + \overline{Rm}$$

Equação 5 abaixo:

$$LSC_X = \bar{X} + E_2 + \overline{Rm} \quad (5)$$

$$LM_X = \bar{X}$$

$$LIC_X = \bar{X} - E_2 + \overline{Rm}$$

e

$$LSC_{Rm} = \bar{X} + E_2 + \overline{Rm}$$

$$LMC_{Rm} = \bar{X}$$

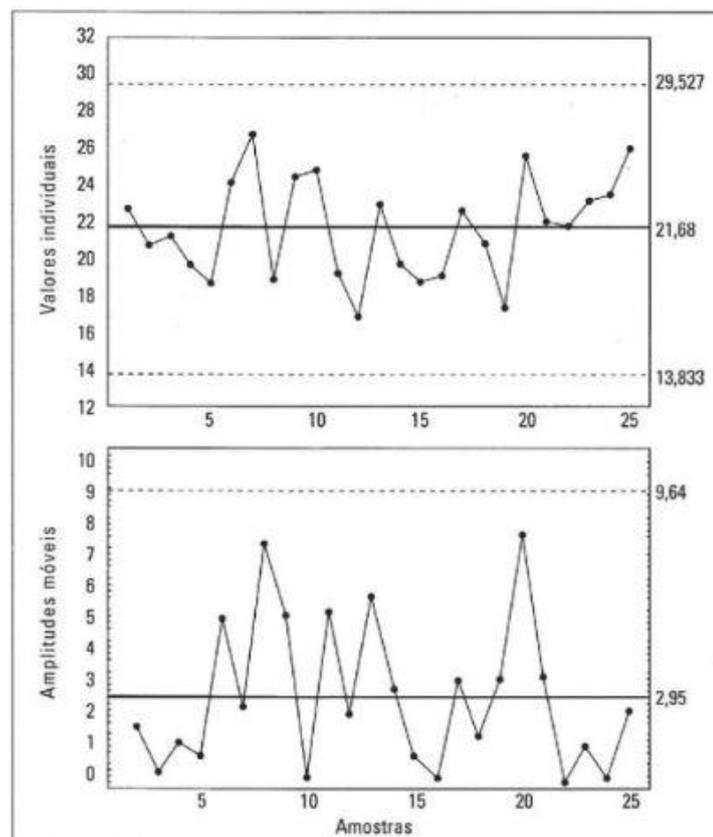
$$LIC_{Rm} = \bar{X} - E_2 + \overline{Rm}$$

Equação 5. Cálculos de limite

Os valores de E_2 , D_3 e D_4 podem ser encontrados no anexo 1.

A Figura 5 a seguir retrata um gráfico obtido após o monitoramento de um processo e construção de uma carta CEP de Valores individuais e *range* móvel:

Figura 5. CEP de Valores Individuais e Range Móvel



Fonte: Ramos, A.W, 2000

Plotado o gráfico acima, o analista pode constatar como está a estabilidade do processo. No caso da imagem acima, pode-se constatar que o processo está com todos os valores medidos dentro dos limites estipulados para o processo. Caso seja necessário, o monitoramento pode continuar a acontecer, sendo necessário apenas acrescentar os dados através de pontos em ordem cronológica no gráfico.

2.4 CARTAS DE CONTROLE DE MÉDIA MÓVEL E *RANGE* MÓVEL

A carta de controle de média e *range* móvel é menos utilizada em comparação às cartas de média e *range*. Porém, para determinados processos e aplicações, como em processos e indústrias químicas e produção contínua esta carta se torna uma ferramenta útil (SIQUEIRA,1997). A vantagem deste tipo de gráfico com relação aos valores individuais é que as médias são mais sensíveis à presença de causas especiais (RAMOS,2000). Siqueira (1997), complementa ainda que valores extremos têm grande influência nas primeiras, uma vez que esses valores entram no cálculo das médias de três dias consecutivos nesta carta.

Para o cálculo da média X_m um período m é definido para a realização de cada média. Este período pode ser 2 dias, 3 dias, 4 turnos, ou qualquer outro que se adeque ao processo.

Matematicamente, pode-se expressar as fórmulas desta carta conforme Equação 6 abaixo:

$$x_{m_i} = \frac{x_1+x_2+\dots+x_i}{m} \quad i=1,2,3,.. k-1 \quad (6)$$

$$\overline{Rm} = \frac{\sum Rm}{k-1}$$

Equação 6. Cálculo de média e *range* móvel

Já para calcular os limites da carta tanto para a média quanto para o *range* móveis, utiliza-se, respectivamente, as expressões Equação 7 abaixo. Os valores de A_2 , D_3 e D_4 podem ser encontrados no anexo 1.

$$LSC_{Xm} = \bar{x}_m + A_2 \overline{Rm} \quad (7)$$

$$LM_{Xm} = \bar{x}_m$$

$$LIC_{Xm} = \bar{x}_m - A_2 \overline{Rm}$$

e

$$LSC_{Rm} = D_4 \overline{Rm}$$

$$LM_{Rm} = \overline{Rm}$$

$$LIC_{Rm} = D_3 \overline{Rm}$$

Equação 7. Cálculo dos limites de média e *range* móveis

Para elucidar, em sequência simula-se $m=3$: Nos primeiros três dias, nenhum cálculo é realizado. Após, o terceiro dia, a média e o *range* são calculados e plotados na carta. No quarto dia, é realizado uma nova medição, adicionando-se este valor mensurado ao conjunto de dados e eliminando o primeiro valor dos últimos três dias. Este processo ocorre continuamente, daí designando-se média móvel. O *range* é obtido subtraindo-se os dois valores extremos entre os três números. A Tabela 1 exemplifica como funciona este trabalho, de forma simplificada:

Tabela 1. Cálculo da média móvel e *range* móvel

VALOR DIÁRIO	SOMA MÓVEL 3 DIAS	MÉDIA MÓVEL	RANGE MÓVEL
35	*		
26	*		
28	89	29,7	9
32	86	28,7	6
36	96	32,0	8

Fonte: Autoria própria

Após a realização do cálculo acima, plota-se o gráfico conforme as outras cartas CEP mostradas anteriormente.

2.5 ANÁLISE DO PROCESSO EM CIMA DAS CARTAS CEP

Conforme visto nos tópicos acima, um processo sob controle tem diversas vantagens sob o ponto de vista de manter-se estável. As variações são menores, há uma diminuição no custo de inspeção, ocorre uma maior confiabilidade do processo e produtos obtidos com a implementação dessa ferramenta.

Em uma primeira análise, caso todos os pontos das amostras estiverem dentro dos limites de controle, induz-se que o processo está sob controle. Porém, há situações em que o comportamento das distribuições, mesmo que dentro dos limites de controle, pode demonstrar que o processo pode estar sofrendo variações devido a causas especiais. Ramos (2000) deixa claro este ponto de atenção quando cita que é necessário conhecer os testes de estabilidade estatística de processo para avaliar se não há causas especiais atuando dentro do processo.

É importante ressaltar que a distribuição dos pontos em uma carta CEP deve ocorrer predominantemente na forma de uma curva normal de distribuição. Em seu trabalho, Siqueira (1997), estabeleceu que uma forma prática de avaliar um processo é dividir a carta em seis intervalos, conforme a Figura 6 abaixo. De acordo com ele, cerca de 34% dos pontos devem estar em cada faixa de C, 13,5% em cada faixa de B e 2,5% em cada faixa de A.

Figura 6. Distribuição dos pontos em padrão normal de variação



Fonte: Siqueira, 1997

Alguns padrões de anormalidade já foram estudados por Nelson L. e estão descritos conforme abaixo (apud SIQUEIRA, 1997):

1. Padrão 1: um único ponto além da zona A;
2. Padrão 2: nove pontos consecutivos acima ou abaixo do valor central;
3. Padrão 3: seis pontos continuamente aumentando ou diminuindo no gráfico;
4. Padrão 4: quatorze pontos consecutivos alternando-se para cima e para baixo;
5. Padrão 5: dois em três pontos consecutivos situados na mesma zona A no gráfico;
6. Padrão 6: quatro em cinco pontos consecutivos situados nas zonas A ou B de um mesmo lado no gráfico;
7. Padrão 7: quinze pontos consecutivos situados nas zonas C, acima ou abaixo da linha média;
8. Padrão 8: oito pontos consecutivos de ambos os lados da linha média sem nenhum dentro da região C.

2.5.1 Limites de controle x especificações de projeto

Dentro de uma produção, além dos limites intrínsecos da capacidade do processo, deve-se levar em conta os limites, tolerâncias e especificações estabelecidos pela engenharia do produto. Conforme ressalta Siqueira (1997) os limites de controle são obtidos em função da média e desvio padrão do processo, enquanto as especificações são estabelecidas pela engenharia em função das necessidades do projeto.

Há três situações possíveis quanto ao estabelecimento dos limites de controle *versus* especificações de projeto:

1. CASO I: a variabilidade do processo é menor que a especificação do projeto. Neste caso, o processo comporta tranquilamente as especificações da engenharia e é o caso mais desejado;
2. CASO II: neste caso a variabilidade do processo é igual a especificação da engenharia e neste cenário qualquer anomalia no processo resultará em produtos fora da especificação do projeto;

3. CASO III: para este caso, a variabilidade do processo é maior que as especificações do projeto, e nesta situação, mesmo com o processo em estabilidade no ponto de vista de variabilidade, estará sem capacidade de produção do ponto de vista de especificação de engenharia. Nesta condição em específico, é necessário rever o processo, ou rever as tolerâncias e especificações do projeto.

2.5.2 Capacidade e Performance do processo

O estudo da capacidade tem por intuito verificar se o processo atende ou não as especificações do projeto. Ramos (2000) ressalta que dois cuidados devem ser atendidos para a realização desse estudo: o processo deve ser estável e seguir uma curva de distribuição normal. Essa constatação é verificada também na literatura de Siqueira (1997) que afirma que o processo deve estar otimizado e estabilizado para uma análise poder ser realizada.

A fórmula mais comum de capacidade é igual a 6σ , sendo *sigma* o desvio padrão do processo.

Para verificar a adequação de um processo às necessidades da engenharia, utiliza-se o estudo da capacidade do processo, que de acordo com seu valor irá auxiliar na melhor tomada de decisão a ser feita quanto ao processo. A Equação 8 desta análise é evidenciada abaixo:

$$\text{Índice de capacidade} = C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (8)$$

Equação 8. Cálculo da capacidade do processo

Onde: LSE= limite superior de especificação;

LSI= limite inferior de especificação;

6σ = Capacidade do processo

A análise da situação do processo pode ser feita com as regras abaixo:

- Processo Incapaz ($C_p < 1$) : capacidade do processo é inadequada à tolerância exigida sendo necessário altera-lo ou diminuir a sua variabilidade ou alterar as especificações do projeto;
- Processo Marginalmente Capaz ($1 \leq C_p \leq 1,33$): a capacidade do processo está próxima da diferença entre as especificações. Com esta faixa, os mesmos cuidados da faixa vermelha devem ser tomados para evitar custos de retrabalho e refugos;
- Processo Capaz ($C_p \geq 1,33$) : o processo satisfaz as especificações do projeto e deve-se monitorar e controlar para manter sua estabilidade.

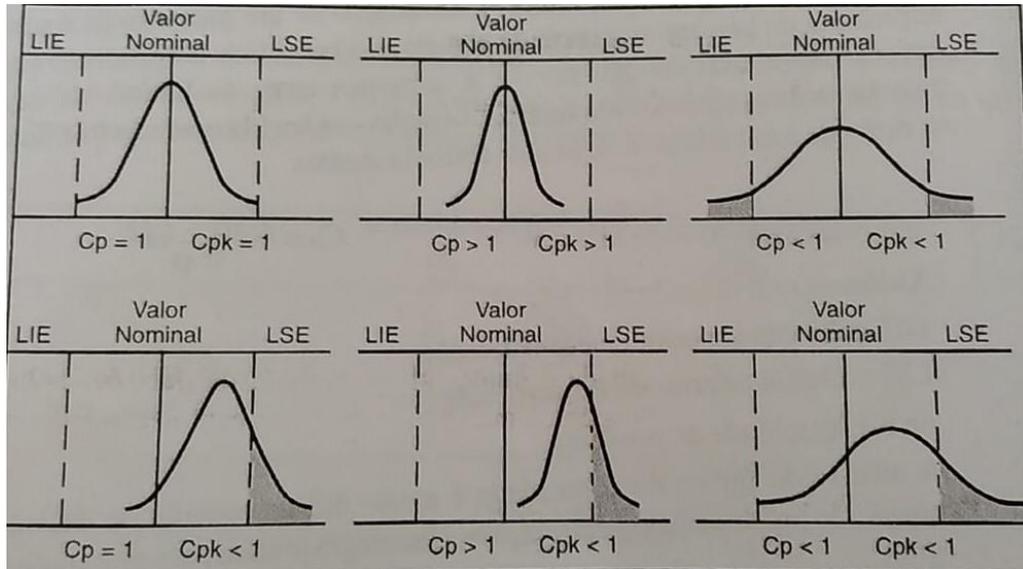
Enquanto a análise pelo índice de capacidade leva em consideração que o processo está centrado na média, o índice de performance leva em consideração a distância da média aos limites do processo. Portanto, para levar-se em consideração a hipótese do processo não estar centrado, Kane (apud Siqueira (1997)) desenvolveu o Índice de performance, que pode ser compreendido abaixo:

$$\text{Índice de performance} = C_{pk} = \frac{\bar{X} - LIE}{3\sigma}, \frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma} \quad (9)$$

Equação 9. Cálculo do índice de performance

A Figura 7 abaixo visa ilustrar graficamente a interpretação das duas equações abordadas acima.

Figura 7. Interpretação dos índices de Cp e Cpk



Fonte: Siqueira, 1997

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão abordados os principais materiais, métodos e atividades desempenhadas para a execução deste trabalho de desenvolvimento de cartas de controle, bem como as técnicas de coleta e manipulação dos dados para após serem analisadas com mais profundidade.

3.1 DESCRIÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Esta monografia tem todo seu embasamento, métodos e técnicas desenvolvidos em parceria com uma indústria do setor de fabricação de implementos agrícolas, que no ano de 2021 iniciou a execução de um plano estratégico para a implementação do controle estatístico de processo em suas áreas produtivas, sendo o setor de pintura escolhido para ser o departamento para iniciar a execução do projeto.

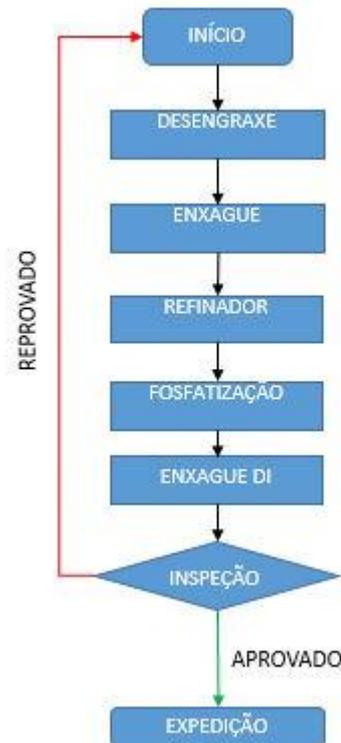
Os principais *softwares* utilizados para armazenamento e processamento de dados, e para a alimentação das cartas CEP são: o ERP SAP, *Smartsheet* e Excel. Os dados que serão compartilhados nesse trabalho também foram retirados do banco de dados destes programas.

Quanto ao período de coleta e análise dos dados das cartas, o trabalho se restringe ao intervalo de maio de 2021 até janeiro de 2022, sendo considerada uma janela satisfatória para a análise preliminar dos resultados obtidos com a implementação da ferramenta no processo. Além disso, dados do consumo de materiais no processo de janeiro a dezembro de 2021.

Para uma análise ainda mais precisa, buscou-se ainda um histórico de custos, de 2015 a 2021, de casos de deslocamento de pintura a campo e seus custos aproximados, procurando-se assim deixar a análise mais robusta, com valores monetários reais que podem ser evitados de serem deslocados à desperdícios e retrabalhos, e serem melhor realocados dentro do orçamento estratégico da corporação.

Todas as variáveis mapeadas têm relação ao processo de fosfatização das peças, que ocorre antes do processo de pintura e tem papel fundamental para evitar a corrosão dos itens nos ambientes a campo, que podem ser altamente agressivos devido aos elementos utilizados nas diversas etapas do ciclo de colheita. O processo de fosfatização segue o fluxograma destacado na Figura 8 abaixo.

Figura 8. Etapas do processo de fosfatização



Fonte: Autor, 2022

3.1.1 Variáveis mapeadas para monitoramento

As variáveis selecionadas pelo time de métodos e processos e qualidade da pintura da empresa para serem mensurados e analisados através das cartas CEP foram: alcalinidade, temperatura, condutividade, pH, concentração de zinco, sólidos totais, camada do fosfato e acelerador do fosfato. Cada uma destas variáveis é medida em ao menos uma das etapas do processo do banho na pintura, que são: desengraxe, enxague refinamento da camada, fosfatização e enxague final.

O principal ganho com o monitoramento destas variáveis é na utilização correta dos produtos nos banhos de pré-tratamento da pintura, onde se evita o consumo excessivo em cada uma de suas etapas. Assim, os operadores conseguem visualizar o momento correto de agir no processo. Outro ganho com a implementação das cartas é a decisão de que, caso alguma das variáveis estiver fora dos limites estabelecidos a reprovação das peças ocorre ainda dentro da pintura, evitando assim que estas cheguem não conformes na montagem das máquinas, ou, ainda pior, desenvolvam o problema já com o cliente final no campo.

3.1.2 Instrumentos ou métodos utilizados para coleta dos valores das variáveis

Para a execução do trabalho de coleta das amostras das variáveis, utilizou-se os instrumentos abaixo, que estão devidamente calibrados e registrados junto ao departamento de Sistema de Gestão da Qualidade da empresa.

1. **Titulação:** utilizado para a coleta de dados de alcalinidade, concentração de zinco, acelerador do fosfato, acidez do fosfato, concentração de sólidos totais e camada do fosfato. Resolução do equipamento= 0,1 [mL];
2. **Temperaturas:** utilizado o próprio termômetro do equipamento da fábrica para a coleta de dados. Resolução do equipamento= 0,1 [°C];
3. **Peagâmetro:** utilizado para medir o valor de PH de processos. Resolução do equipamento= 0,01 [pH];
4. **Condutivímetro:** para a coleta de amostras da condutividade. Resolução do equipamento=0,01 [$\frac{\mu S}{cm}$].

Além dos instrumentos acima, ainda são enviadas amostras para um terceiro autorizado da empresa realizar MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura) para avaliar a massa do revestimento por área e o tamanho médio dos cristais da amostra.

O tamanho dos cristais interfere diretamente na resistência a corrosão do material. Cristais com contornos de grão grosseiros proporcionarão uma região com um grau maior de porosidade devido as limitações físicas que os grãos impõem uns aos outros. Teixeira (2005) ressalta em seu trabalho que a porosidade facilita o acesso de oxigênio e umidade, acelerando

o processo corrosivo. Teixeira (2005) ressalta ainda que o comprometimento da nucleação resulta em contornos de grãos grosseiros e descontinuidades na camada de fosfato levando à ocorrência de defeitos no filme de tinta quando exposto a ambientes agressivos.

Com isso, no processo de fosfatização, controlam-se os parâmetros a fim de obter cristais de tamanhos menores, que resultarão em áreas porosas também menores. Tal efeito é obtido através do monitoramento dos parâmetros já citados anteriormente e do controle das quantidades dos elementos químicos consumidos em cada etapa do processo de fosfatização, que influenciarão na quantidade de sítios de nucleação e conseqüentemente no tamanho dos cristais. Quanto mais sítios de nucleação houverem no material, menor será o tamanho de cristal médio deste.

3.1.3 Frequência de medições e processamento dos dados

Em um primeiro instante, para a coleta das amostras de cada variável no setor de Pintura, foi definido junto ao setor de analistas da área que a cada duas horas seria realizado uma medição.

Como parte-se da condição de que o banho é homogêneo, a coleta de uma amostra é suficiente. É também devido a esta condição que a equipe de qualidade definiu que cartas de média e range móvel atenderiam satisfatoriamente a necessidade de informações para controlar e monitorar processo.

Para alimentar o banco de dados, um formulário para cada variável foi criado no programa *Smartsheet*, onde o operador seleciona o processo de atuação, a variável medida, o valor obtido e a data e hora da coleta. Após inseridos os valores neste formulário, os dados são compilados em um layout de BI (inteligência de negócios em tradução livre) para gerar o relatório das cartas.

O ERP SAP é utilizado para apontar os registros de não conformidades de pintura tanto ainda nos departamentos internos da empresa quanto após o faturamento do implemento (Garantia e Pós-vendas). Com as informações alimentadas neste software, relatórios podem ser gerados, como por exemplo, quanto ao número de horas de retrabalho, postos de trabalho afetados, materiais consumidos, custos de retrabalho e custos adicionais.

O setor de pintura definiu que, caso uma das variáveis esteja fora dos limites estipulados, todo o lote de peças da barra de carga é reprovado e necessita repassar novamente

por todo o retrabalho da pintura. Para estes casos, não é apontado o problema no SAP, o que é um ponto a ser revisto internamente devido à perda de informações sobre a condição do processo. Registros de não conformidades internas são gerados no ERP apenas por clientes internos afetados pelo setor de pintura. Para Garantias de campo, todas as ocorrências são registradas, conforme estabelece o processo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos e que serão expostos nesta seção referem-se ao período de estudo e monitoramento de maio a dezembro de 2021. A redução de consumo de materiais durante os processos, a atuação em peças não conformes antes de estas serem expedidas e o impacto financeiro da adoção desta ferramenta no setor de pintura serão abordados nos tópicos abaixo.

4.1 CONSUMO DE MATERIAIS NO PROCESSO

Com a implementação das cartas de controle, um maior monitoramento da utilização dos consumíveis durante os processos de pré-tratamento de pintura pôde ser obtido. Com isso, o custo despendido pelo setor em materiais necessários no procedimento de pré-tratamento foi reduzido, entregando assim como resultado positivo uma parcela menor abatida do centro de custo do setor para esta atividade.

A Figura 9, que retrata o consumo de refinador, comprova que após a implementação do projeto, em maio de 2021, níveis mais controlados e menores de consumo foram alcançados, o que colabora positivamente na argumentação de que custos desnecessários com o excesso de consumo eram gastos antes da implementação das cartas. Comparando-se o mês que obteve o menor consumo com o que mais se consumiu, chega-se a um valor de 83,9% de redução de consumo de refinador no processo.

É importante ressaltar que o dispêndio com materiais depende também dos níveis de produção mensais, ou seja, quando há mais ordens de produção, pode haver uma forte ligação com o aumento do consumo de material no processo. Porém, como no caso de estudo tem-se os números da produção para a faixa cronológica de análise, pode-se afirmar que os altos índices de março ou períodos anteriores são ligados a falta de controle e medições das variáveis do processo.

Como um dos processos medidos é o refinamento, percebeu-se nos testes de pH e titulação que os valores obtidos estavam acima dos limites, o que culmina em um tamanho de grão de fosfato maior do que o requerido pelos analistas de qualidade da pintura.

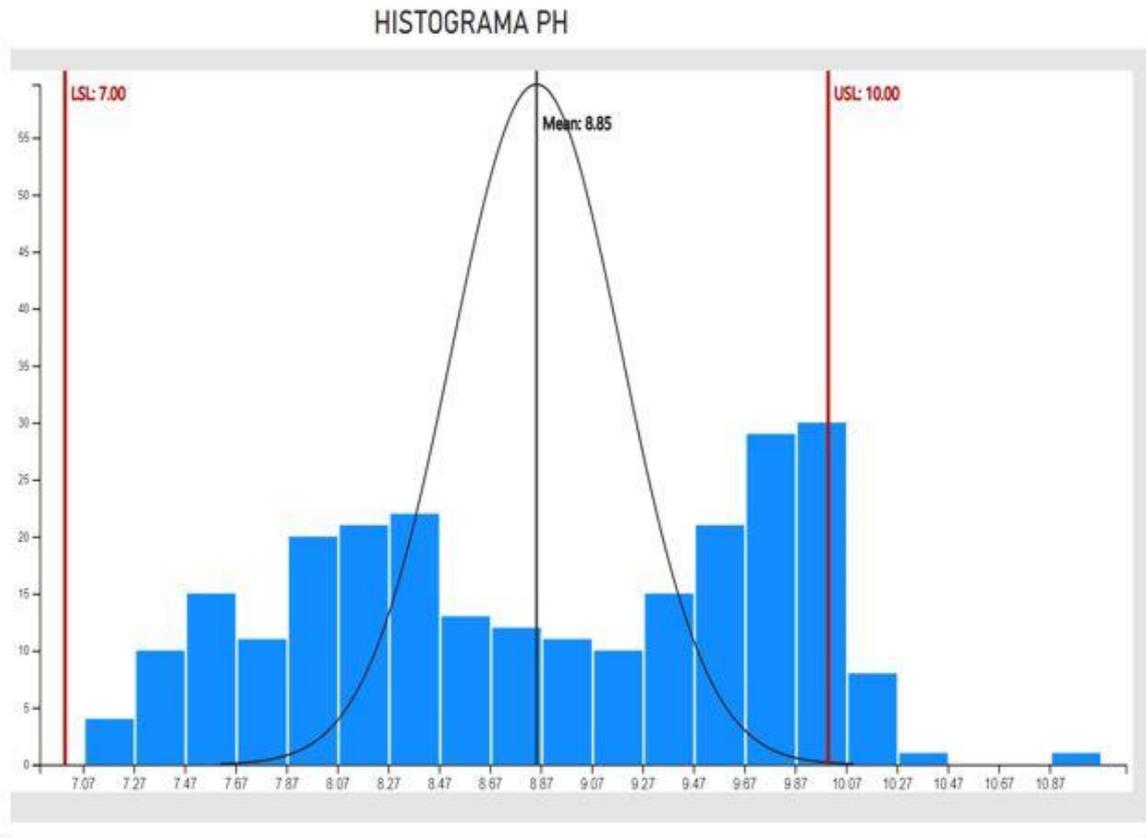
Após a realização do estudo de caso, descobriu-se que a causa especial que gerava o excesso de consumo no processo, e conseqüentemente um valor agregado desnecessário as

com o fornecedor do material que será consumido no processo. Isso ocorre pois ele tem o conhecimento técnico mais profundo das especificações do seu produto. Os limites do projeto são desenvolvidos pelos analistas de processo de pintura em conjunto com engenharia, levando-se em conta os limites do processo e as condições de trabalho a que serão expostas as peças no campo.

Avaliando-se primeiramente o histograma do mês de maio, na Figura 10, conclui-se que não há uma distribuição normal dos valores obtidos nas medições do pH. Ao contrário, medidas dispersas e de forma aleatórias são distribuídas ao longo do eixo x. Isso leva a conclusão de que causas especiais e a falta de controle do processo estavam presentes neste mês e nos meses antecessores.

Um ponto importante a ser observado é a posição dos pontos na carta, no que tange os limites do processo. No mês de maio, constata-se que em vários momentos os valores de pH mensurados estavam extrapolando os limites de processo ou as especificações de projeto em vários momentos. Outro comportamento a ser ressaltado é a aleatoriedade dos pontos em alguns momentos do mês, ou seja, pontos que rapidamente alteram a posição de acima da linha média para abaixo da linha média, ou vice-versa. Ainda, há um terceiro modo de causa especial que pode facilmente ser verificado após o dia 20 de maio: vários pontos de medições realizadas em sequência decrescente. Conforme enfatizado na revisão bibliográfica, este comportamento reflete que algo errado está presente no processo, neste caso, a diminuição gradativa do valor do pH.

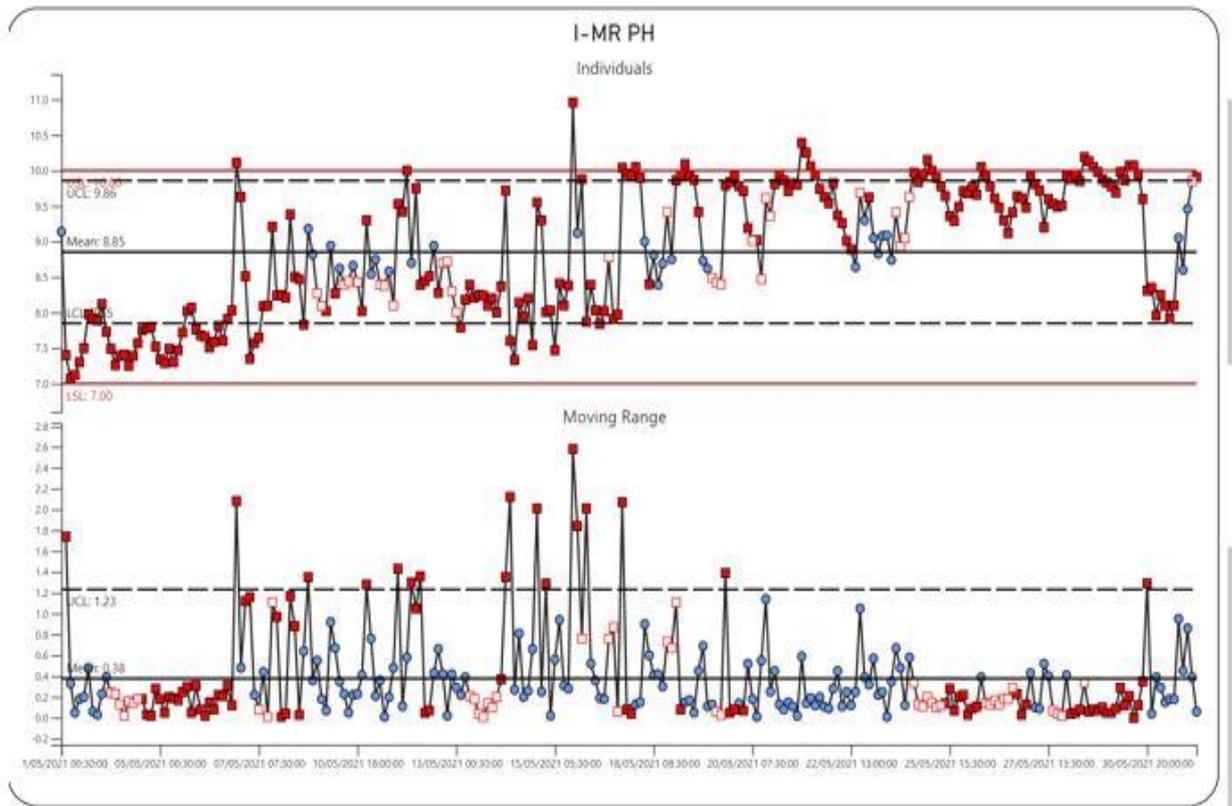
Figura 10. Histograma de pH do mês de maio/2021



Fonte: Stara, 2021

Na Figura 11 abaixo, tem-se a carta CEP do mês de maio, que auxilia visualmente nas informações descritas no parágrafo acima.

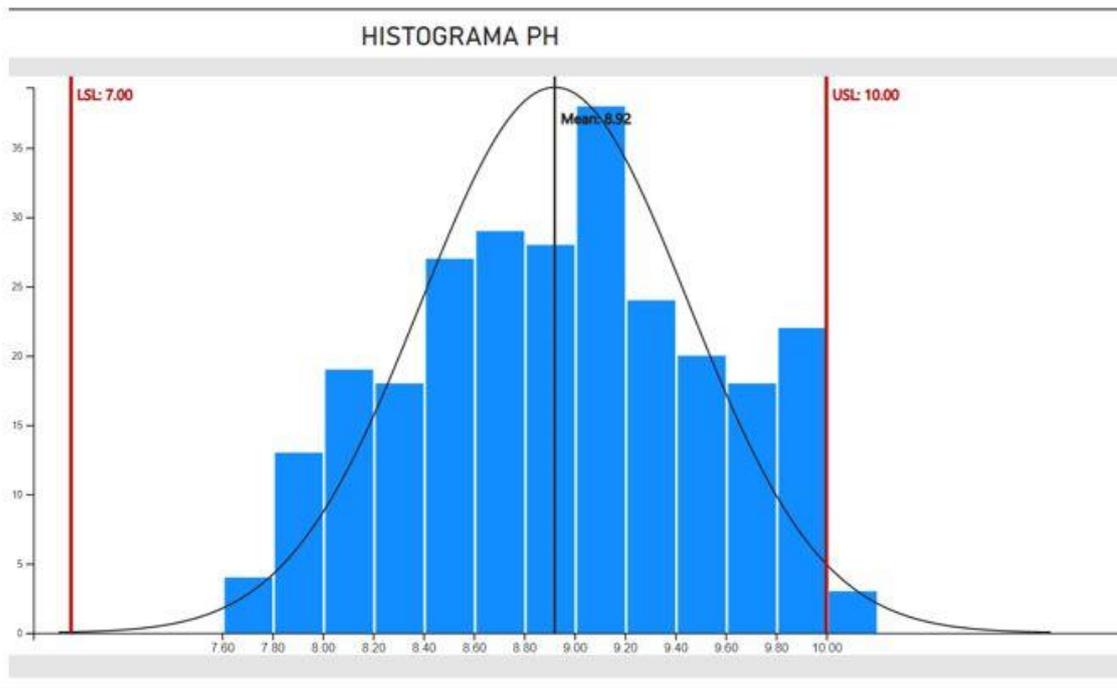
Figura 11. Carta CEP de pH do mês maio/2021



Fonte: Stara, 2021

A carta do mês de setembro, cinco meses após a implementação da ferramenta no setor, já demonstra o reflexo de uma distribuição, no histograma (Figura 12), que já tem a geometria que se aproxima de uma distribuição normal. Na data, o resultado observado reforçou e colaborou positivamente para justificar a energia, custos e empenho gastos na implementação da ferramenta neste projeto.

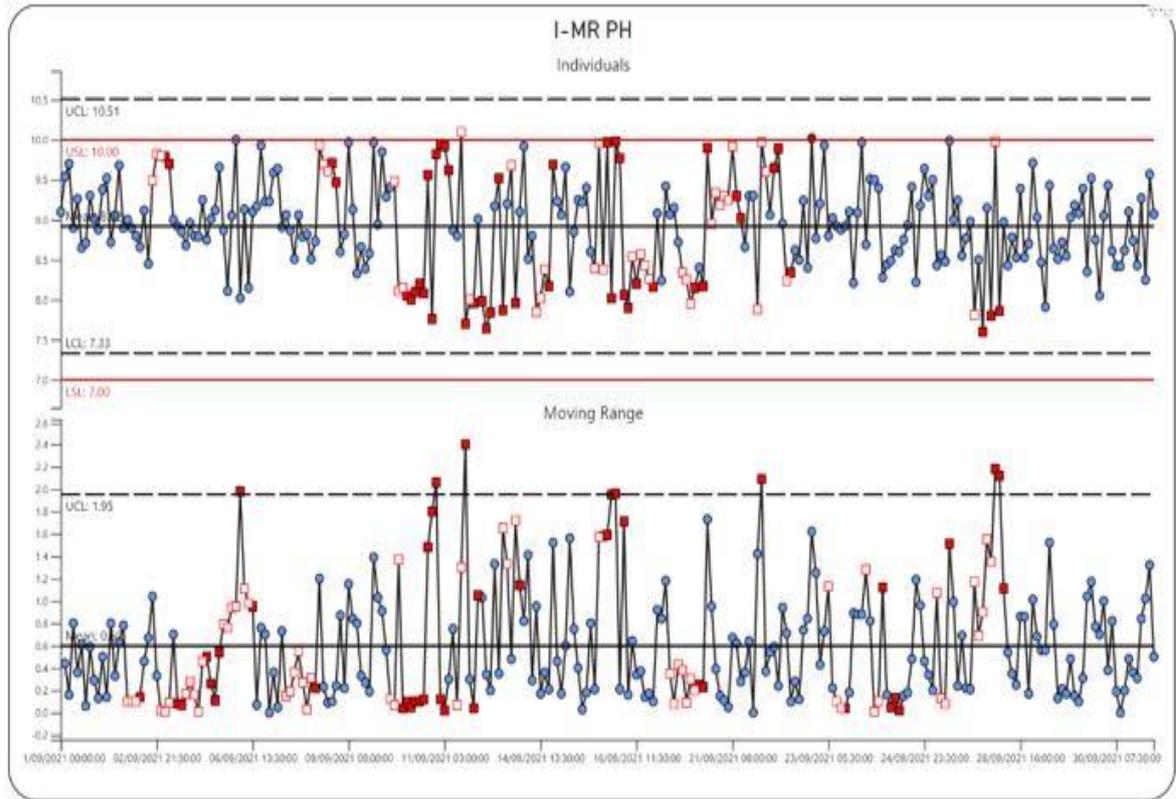
Figura 12. Histograma do pH de setembro/2021



Fonte: Stara, 2021

Analisando os pontos na carta CEP de setembro, na Figura 13, se constata que majoritariamente os pontos plotados estão dentro dos limites tanto do processo quanto do projeto, sendo assim um reflexo das medidas tomadas pelos analistas do processo para aprimorar o controle das variáveis e eliminar causas especiais no pré-tratamento da pintura. É de valia ainda pontuar que a grande maioria dos pontos não apresenta uma anormalidade, diferente do observado na carta anterior do mês de maio, cuja representou um comportamento de grande falta de controle e padrão no processo.

Figura 13. Carta CEP de pH do mês de setembro/21

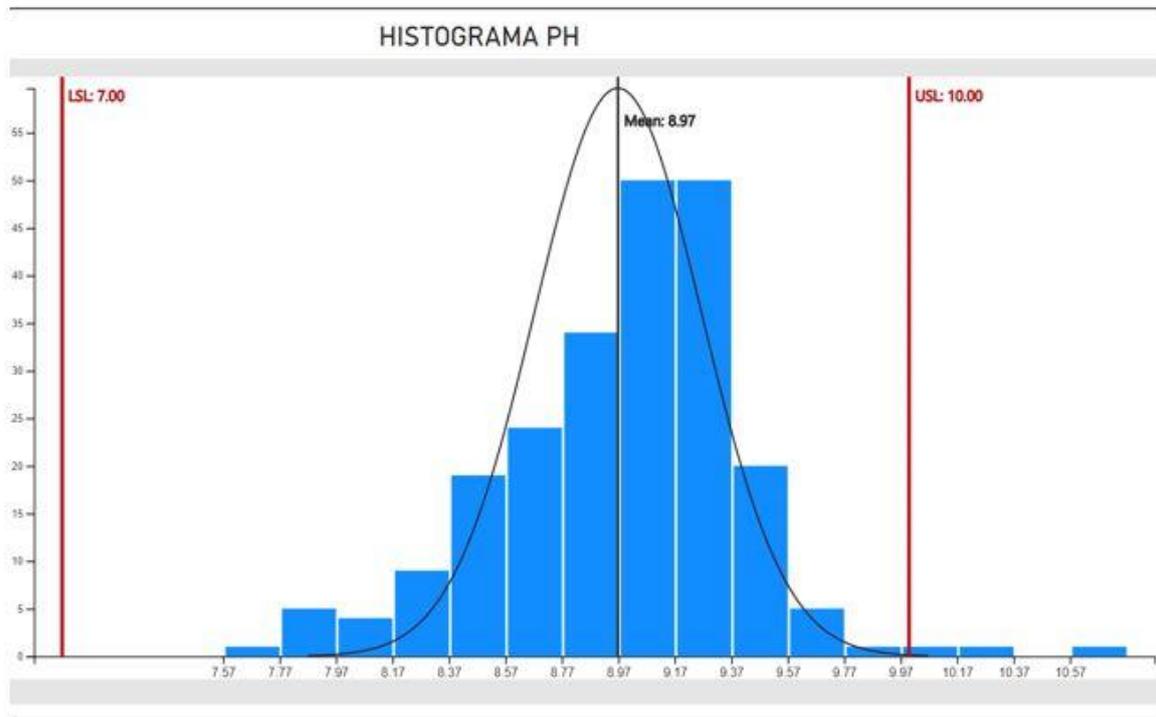


Fonte: Stara, 2021

Por fim, é inserido no trabalho o último mês do ano de 2021, que pode ser observado na Figura 14. Comparando primeiramente o histograma deste, com os histogramas dos outros dois meses destacados acima, percebe-se que um achatamento da curva de distribuição normal ocorreu, ou seja, os valores obtidos durante as várias medições do mês aproximaram-se mais uns dos outros.

É prudente ainda validar que nos meses de setembro e dezembro, a maior parte dos valores do pH estão dentro dos limites de processo, que pode ser observado também nos histogramas.

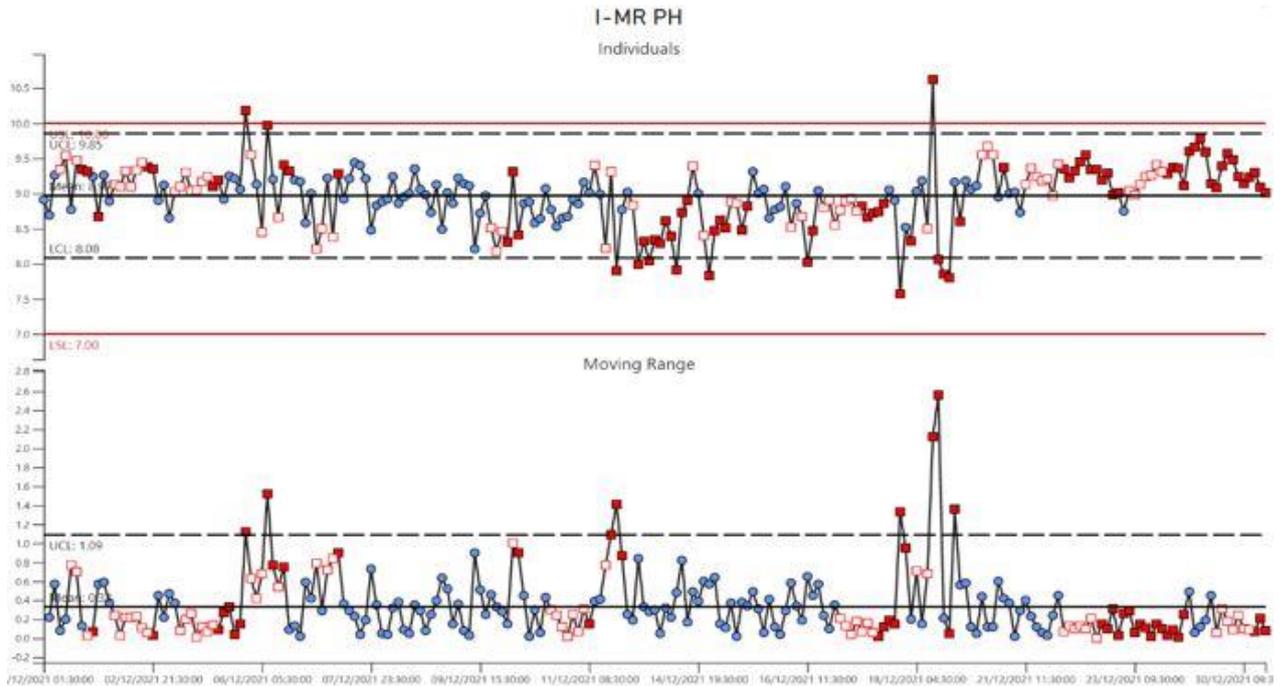
Figura 14. Histograma de pH de dezembro/21



Fonte: Stara, 2021

Na Figura 15 abaixo, observa-se que poucos pontos ficaram nos limites extremos do processo, alocando-se em grande escala próximos a região central da carta, alterando-se cima e abaixo da linha média central, o que de acordo com os padrões definidos por Nelson L. e que foram explicitados na revisão bibliográfica deste trabalho, reflete uma condição satisfatória do processo.

Figura 15. Carta CEP de pH de dezembro/21



Fonte: Stara, 2021

Outra análise que se deve fazer com as informações obtidas nas cartas e histogramas, para constatar se o processo está sendo desempenhado de forma satisfatória, é avaliar o valor de C_p e C_{pk} . Os valores de C_p e C_{pk} de cada mês está também disponível nas imagens dos histogramas acima.

Como pode ser observado, o mês de setembro ficou com o indicador vermelho. Isto pode ser explicado devido ao fato de as amostras se aproximarem do limite superior de processo. O mês que apresentou a melhor capacidade de processo foi dezembro, que obteve C_p igual a 1,69 e C_{pk} igual a 1,16. Como visto no tópico anterior, indicadores de capacidades de processo que estão com *status* verde apresentam valores acima de 1,33. O histograma do mês de maio foi desprezado pois não apresenta uma curva normal de distribuição.

Os resultados obtidos concluem que após a implementação da ferramenta no setor, um maior controle e monitoramento do processo foi obtido em paralelo a eliminação de causas especiais no sistema. Com isso, reforçou-se a importância do investimento em qualidade e melhoria contínua, e o projeto irá continuar com as cartas sendo implementadas agora em outros setores da empresa.

4.3 MEV DO FOSFATO APÓS IMPLEMENTAÇÃO DAS CARTAS

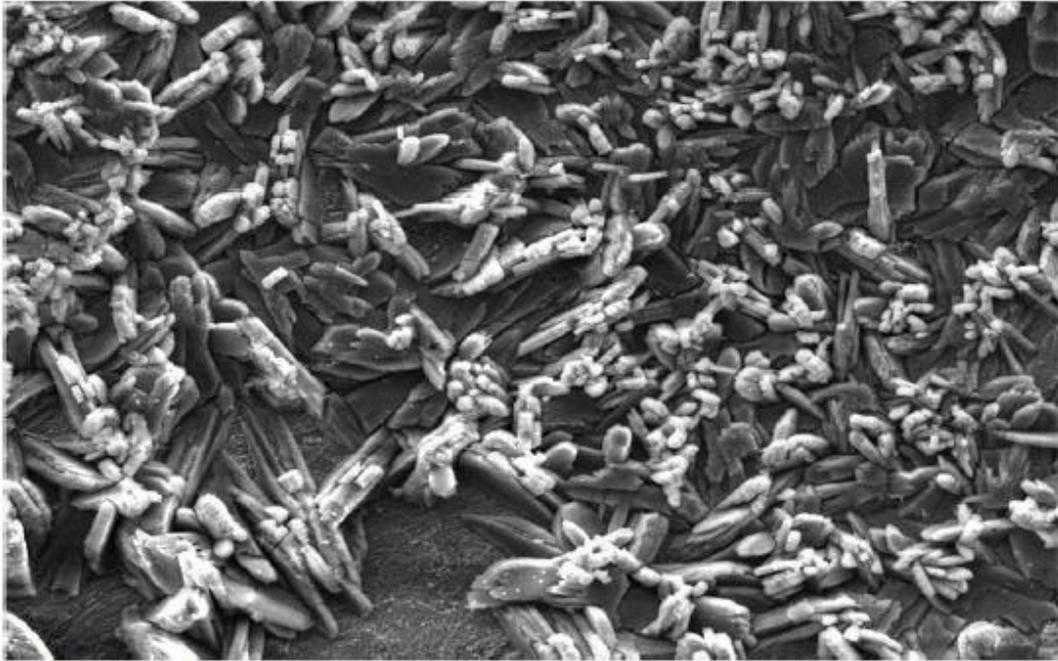
O processo de fosfatização, que é a etapa em que as cartas do tópico anterior foram abordadas, tem como finalidade a formação de uma barreira aderente entre o material e o ambiente, que seja estável do ponto de vista químico, a fim de proteger a peça contra a corrosão. Reis (2014) cita que “o processo de fosfatização consiste em formar uma barreira inorgânica e insolúvel no meio aquoso, contínua entre o substrato e o meio que estará exposto”.

A fosfatização é um processo químico de deposição de cristais que consiste em dois principais eventos, a nucleação e o crescimento dos cristais. A velocidade de formação dos cristais de fosfato depende do número de núcleos formados e da velocidade de crescimento desses núcleos (REIS,2014).

Nas imagens de MEV abaixo, verifica-se a microestrutura do fosfato em três meses distintos, que reforçam a evolução obtida com a implementação da ferramenta CEP na pintura. É importante ressaltar que o trabalho e o relatório é feito por uma empresa terceirizada e que nestes relatórios faltou a resolução de ampliação das imagens, razão esta que justifica a falta desta informação neste trabalho.

Constata-se nitidamente que em maio de 2021 (Figura 16), ainda na fase inicial da utilização das cartas no setor, o tamanho de grão médio (segunda linha de parâmetro avaliado da tabela) está muito acima do máximo estabelecido. Isto se deve a uma baixa nucleação dos sítios e acarreta em regiões com porosidades (na faixa inferior da imagem há um local em que se pode visualizar uma destas regiões porosas), ou seja, que estão sem a camada de proteção do fosfato.

Figura 16. MEV fosfato no mês de maio/2021



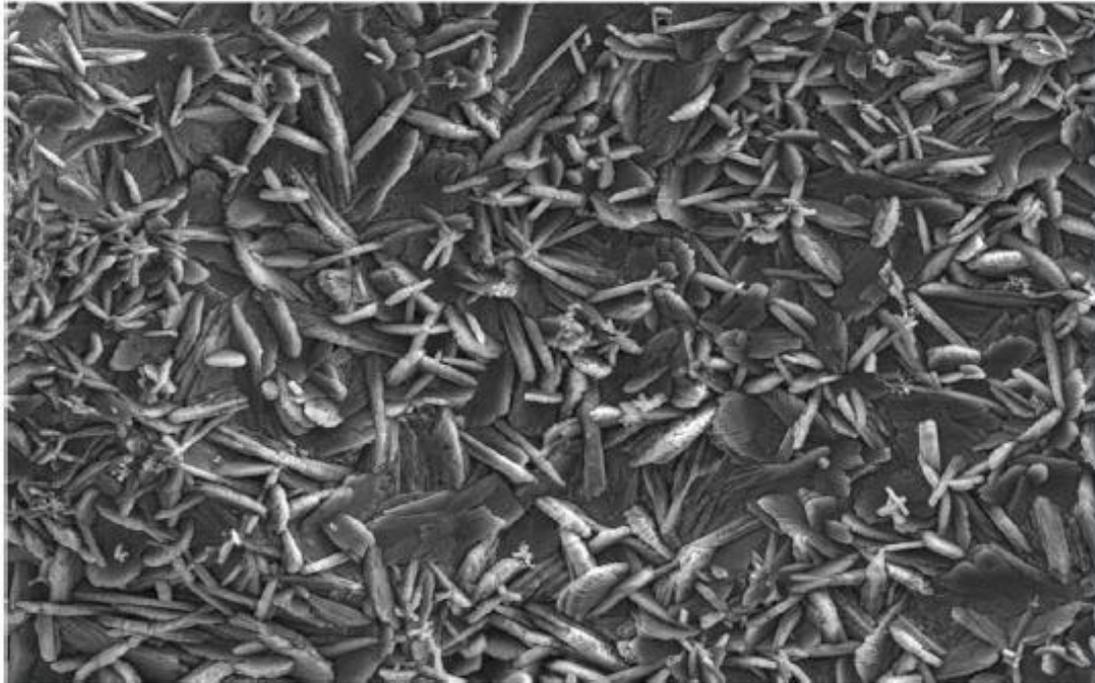
Panel Description:

Código do Produto	Parâmetros de Aplicação Lab	Unidades	Faixa de Especificação			PPG	
			Mínimo	Máximo	Ótimo	Apr 28, 2021	May 28, 2021
Cold Rolled Steel (CRS) - 1	COATING WT - PHOS	mg/ft2	1.0	4.0		3.7	3.4
	CRYSTAL SIZE - AVERAGE	μ		10.0		26.4*	6.0

Fonte: Stara, 2021

Já no mês de setembro, com uma maturidade maior do projeto, constata-se na imagem de MEV que uma melhor nucleação de fosfato foi obtida, culminado em menores regiões de porosidade e tamanho médio de grão também menor e que atende o requisito estabelecido para o processo. Nesta imagem (Figura 17), ao contrário da microscopia do mês de maio de 2021, tanto a massa por área quanto o tamanho médio de grão observados estão com valores satisfatórios.

Figura 17. MEV fosfato no mês de setembro/2021



Panel Description:

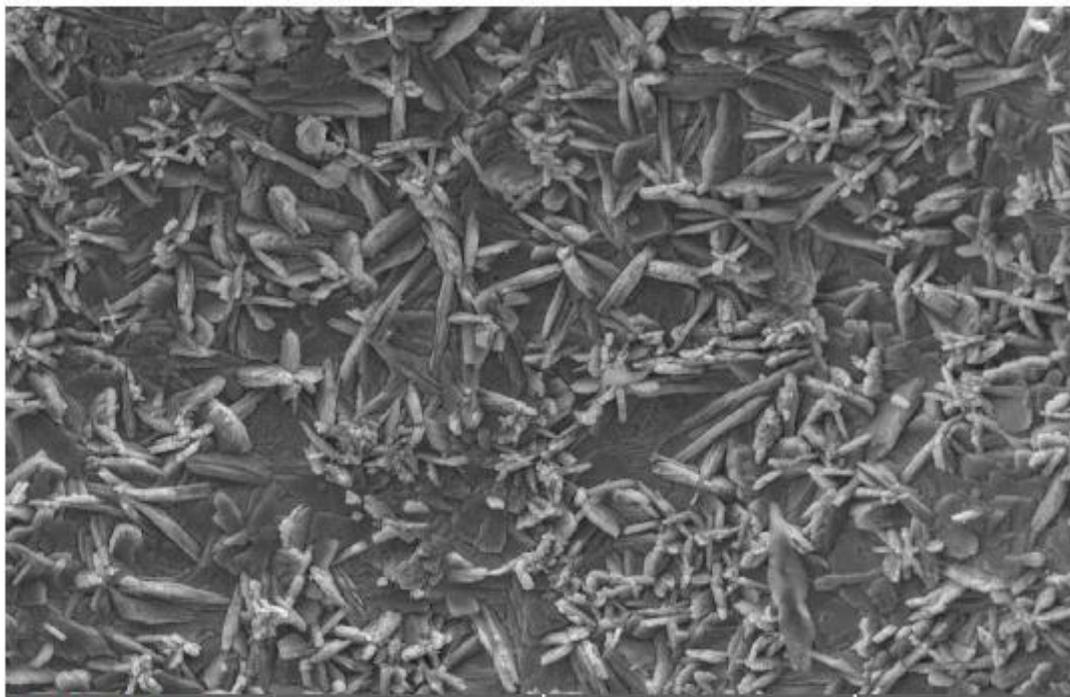
Código do Produto	Parâmetros de Aplicação Lab	Unidades	Faixa de Especificação			PPG	
			Mínimo	Máximo	Ótimo	Aug 03, 2021	Sep 02, 2021
Cold Rolled Steel (CRS) - 1	COATING WT - PHOS	mg/ft ²	1.0	4.0		1.4	3.4
	CRYSTAL SIZE - AVERAGE	μ		10.0		1.3	4.3

Fonte: Stara, 2021

A Figura 18 é também inserida para reforçar os resultados obtidos com a implementação das cartas, pois demonstra que o tamanho de grão médio e a massa por área de revestimento continuam a apresentar valores satisfatórios, ou seja, o processo continua dentro de uma faixa aceitável de variabilidade,

Tal resultado é justificado pelo maior acompanhamento dos parâmetros de cada uma das etapas de fosfatização, em períodos regulares e já pré-estabelecidos, que proporcionam maior confiabilidade perante ao processo e auxiliam a visualizar quando causas especiais estão interferindo no mesmo, além de facilitar nas tomadas de decisão dos profissionais da área quando uma ação deve ser executada.

Figura 18. MEV fosfato no mês de novembro/2021



Panel Description:

Código do Produto	Parâmetros de Aplicação Lab	Unidades	Faixa de Especificação			PPG	
			Mínimo	Máximo	Ótimo	Nov 05, 2021	Nov 10, 2021
Cold Rolled Steel (CRS) - 1	COATING WT - PHOS	mg/ft ²	1.0	4.0		3.7	3.1
	CRYSTAL SIZE - AVERAGE	μ		10.0		6.8	4.9

Fonte: Stara, 2021

4.4 IMPACTOS FINANCEIROS

Os reflexos financeiros da implementação da ferramenta CEP irão surgir de forma gradativa. Isto porque há um fator muito importante que comprova a eficácia da ferramenta: o desempenho da pintura nas máquinas durante o trabalho no campo. Tal informação só poderá ser consolidada após o período de 3 a 5 anos. Em contrapartida, tem-se a informação de quanto a empresa gastou com falhas na pintura nos clientes a campo e que poderão ser evitados futuramente com o aumento da qualidade e controle do processo de pintura.

Os valores a seguir serão divididos em dois períodos, por um motivo simples de controle interno: de 2016 até 2020, os custos de garantia eram contabilizados manualmente em uma planilha; após 2021, os custos totais já são gerados dentro do SAP. Antes deste

período, há dificuldade de informações confiáveis pois não se utilizava o mesmo ERP na empresa e alguns dados podem ter sido perdidos na transição de *software*. Nesta mesma linha de raciocínio, os dados de 2021, por serem extraídos já do SAP, demonstram ser os mais confiáveis. Também deve-se levar em conta que neste período a política de garantias da empresa teve ajustes e isso também interfere nos valores anuais.

A Figura 19 retrata os custos de garantias para o período citado acima. Somando-se o custo de todos os anos, os custos de pintura chegam a cifra de R\$1.028.389,85. Com a implementação do projeto CEP, pretende-se reduzir este valor para aproveitar melhor os orçamentos da corporação, de acordo com a estratégia de longo prazo.

Figura 19. Custos de Garantias (2015 a 2021)



Fonte: Stara, 2021

Nos anos de 2016 e 2017 houve uma recessão nacional e as vendas foram impactadas. Já a partir de 2020, frente a política da queda de juros a fim de incentivar o consumo e fomentar as indústrias em meio a um cenário econômico afetado pela pandemia do SARS-CoV-19, aliado a boas colheitas no campo e ao aumento do número de exportações, fizeram as vendas aumentarem e por consequência o número de ocorrências de problemas a campo ter um incremento comparado aos anos anteriores.

Porém, alguns impactos imediatos já podem ser levantados: a diminuição da quantidade dos consumíveis do banho; evitar que peças não conformes sejam expedidas

através da reprovação de peças ainda na pintura, com a análise dos dados das cartas CEP; a diminuição do número de retrabalhos de pintura devido má qualidade das variáveis do processo.

Evitar que peças não conformes sejam expedidas irá refletir futuramente nos custos de pós-vendas, *recalls* e custos adicionais com revendas e clientes. É prudente ressaltar, que quando há casos de deslocamento de pintura nos clientes a campo, não há somente os custos da pintura. Ainda deve-se acoplar ao problema a disponibilidade dos setores, pois em casos de *recalls*, novas peças necessitam ser fabricadas e enviadas para clientes, ou seja, setores como corte, estamparia, usinagem, solda, além da própria pintura são afetados, deixando de produzir peças para a própria produção de novas máquinas em prol de disponibilizar os centros de trabalho para a produção de peças de retrabalho.

Já a redução do número de retrabalhos internos da pintura afeta positivamente a disponibilidade do setor. Atualmente o setor opera com 85% da capacidade, durante 24 horas por dia. Por isso, deve-se tomar cuidado para que a porcentagem restante não seja consumida inteiramente por retrabalhos de pintura, para assim ser destinada para aumento de produção de itens de linha e também itens em desenvolvimento.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A análise das cartas de média móvel e *range* móvel, no período de maio a dezembro de 2021, demonstraram que um consumo mais eficiente dos materiais consumidos durante os processos de pré-tratamento da pintura foi obtido, através do maior acompanhamento dos parâmetros do processo e da atuação do time responsável quando algum parâmetro estava fora dos limites estabelecido. O exemplo mencionado nos resultados, da causa especial de vazamento na tubulação, que aumentava o consumo de refinador no processo, é um caso interessante que demonstra a importância do acompanhamento frequente do processo e da aplicação das ferramentas da qualidade para reduzir as variabilidades. Conseguiu-se assim uma redução dos custos dos processos aliado a uma garantia de que as variáveis mensuradas estejam dentro dos limites estabelecidos para o processo. Aliado a esta melhoria, evita-se ainda que peças que foram processadas em um banho não conforme sejam aprovadas na expedição, podendo vir a causar problemas com os clientes a campo.

Através de dados obtidos no ERP SAP da empresa, tem-se noção de que mais de um milhão de reais foram gastos em garantias procedidas ao cliente devido má qualidade da pintura de itens no período de 2015 a 2021, que culminam na insatisfação de clientes, retrabalhos desnecessários e custos que poderiam ser melhor alocados em outras áreas estratégicas da empresa.

A oportunidade futura da implementação desta ferramenta no setor de pintura é o monitoramento das máquinas no campo, podendo-se assim comparar custos de retrabalho gastos antes das cartas CEP *versus* custos de retrabalho gastos após as cartas CEP serem implementadas na empresa.

Como consequência dos resultados satisfatórios, obtidos no setor de pintura, pelo monitoramento realizado por meio das cartas de controle estas passarão a ser utilizadas, de forma gradativa, em outros setores da corporação.

O projeto implementado na empresa, e que foi abordado nesta monografia vai ao encontro de conteúdos estudados durante a graduação do Engenheiro Mecânico, e necessitam de um bom embasamento teórico para a análise correta das cartas e qual ação o analista deve tomar para corrigir o processo em busca da redução de variabilidades. Com o aumento da expectativa e a busca contínua de redução de custos em paralelo ao aumento da qualidade e da melhoria contínua de todos os processos, o devido enfoque em cima de ferramentas de

qualidade e seus impactos nos negócios é necessário para preparar o profissional aos desafios que pode enfrentar no mundo corporativo.

REFERÊNCIAS

BESTERFIELD, D.C. **Total Quality Management**. 3ª ed. New Jersey: Prentice Hall, 2003.

BEZERRA, Filipe. Diagrama de Ishikawa: Princípio da causa e efeito. Portal Administração, 2014. Disponível em <<https://www.portal-administracao.com/2014/08/diagrama-de-ishikawa-causa-e-efeito.html>>. Acesso em 06 de fevereiro de 2022.

DALE. B.G. **Managing Quality**. 4ª ed. Malden: Blackwell Publishing Llted, 2003.

JURAN, J. M. **Juran's Quality Handbook**. 6ª ed. New York: Mc Graw-Hill Book Company, 2010.

MADANHIRE, Ignatio; MBOHWA, Charles. Application of Statistical Process Control (SPC) in Manufacturing Industry in a Developing Country. **Elsevier**, v.40, p 580-583, Fev, 2016.

MONTGOMERY, Douglas C.; RUNGER, George C. Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros. 5. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2012.

RAMOS. A.W. **CEP para processos contínuos e em bateladas**. 1ª ed. São Paulo: Editora Blucher, 2000.

REIS, Raquel de Carvalho. **Estudo da cinética de formação de camada de fosfato de Mn em superfície de aço de baixo carbono**. Dissertação de Mestrado-Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, p. 79. 2014.

ROSA, L. C. Introdução ao controle estatístico de processos. Santa Maria, Ed. da UFSM, 2009.

SIQUEIRA.L.G.P. **Controle estatístico do processo**. 1ª ed. São Paulo: Pioneira,1997.

TEIXEIRA, C.H.S.B. **Influência de parâmetros de processo sobre a morfologia de camadas de fosfato e o desempenho de aços fosfatizados e pintados.** Tese de Doutorado-Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2005.

TOLEDO, J. C., LIZARELLI, F. L., SANTANA JUNIOR, M. B. Success factors in the implementation of statistical process control: action research in a chemical plant. **Production**, v. 27, Abril, 2017. DOI 10.1590/0103-6513.220816. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-6513.220816>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2022.

WERKEMA. C. Criando a cultura Lean Seis Sigma. RJ, Elsevier, 2012.

ANEXOS

Anexo 1. Fatores para cálculo de limites de controle

A N E X O
A **FATORES PARA**
CÁLCULO DE LIMITES
DE CONTROLE

n	A_2	A_1	E_2	B_1	B_4
2	1,880	2,695	2,660	–	3,267
3	1,023	1,954	1,772	–	2,568
4	0,729	1,628	1,457	–	2,266
5	0,577	1,427	1,290	–	2,089
6	0,483	1,287	1,184	0,030	1,970
7	0,419	1,182	1,109	0,118	1,882
8	0,373	1,099	1,054	0,185	1,815
9	0,337	1,032	1,010	0,239	1,761
10	0,308	0,975	0,975	0,284	1,716

n	D_3	D_4	D	c_2	d_2
2	–	3,267	0,709	0,798	1,128
3	–	2,574	0,524	0,886	1,693
4	–	2,282	0,446	0,921	2,059
5	–	2,114	0,403	0,940	2,326
6	–	2,004	0,375	0,952	2,534
7	0,076	1,924	0,353	0,959	2,704
8	0,136	1,864	0,338	0,965	2,847
9	0,184	1,816	0,325	0,969	2,970
10	0,223	1,777	0,314	0,973	3,078