

Universidade Federal de Ouro Preto Escola de Minas CECAU - Colegiado do Curso de Engenharia de Controle e Automação



Vinícius Faria Barbosa

Aplicação do *Lean Seis Sigma* no Planejamento de Manutenção: proposta para redução do número de paradas corretivas da frota de caminhões *Sany SKT90S*

Monografia de Graduação

Vinícius Faria Barbosa

Aplicação do *Lean Seis Sigma* no Planejamento de Manutenção: proposta para redução do número de paradas corretivas da frota de caminhões *Sany SKT90S*

Trabalho apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro(a) de Controle e Automação.

Universidade Federal de Ouro Preto

Orientador: Prof^a. Dra Irce Fernandes Gomes Guimarães. Coorientador: Prof. Dr Danny Augusto Vieira Tonidandel.

> Ouro Preto 2024



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO REITORIA ESCOLA DE MINAS DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CONTROLE E AUTOMACAO



FOLHA DE APROVAÇÃO

Vinícius Faria Barbosa

Aplicação do Lean Seis Sigma no Planejamento de Manutenção: proposta para redução do número de paradas corretivas da frota de caminhões Sany SKT90S

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação

Aprovado em 15 de abril de 2024.

Membros da banca

[Doutora] - Irce Fernandes Gomes Guimarães - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)

[Doutor] - Danny Augusto Vieira Tonidandel - Coorientador (Universidade Federal de Ouro Preto)

[Doutor] - Helton Cristiano Gomes - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Danny Augusto Vieira Tonidandel, coorientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 25/04/2024.



Documento assinado eletronicamente por **Danny Augusto Vieira Tonidandel**, **PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 25/04/2024, às 10:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do <u>Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015</u>.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?
acesso_externo=0, informando o código verificador **0699822** e o código CRC **6AF4C6BA**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.004871/2024-75

SEI nº 0699822

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35402-163 Telefone: 3135591533 - www.ufop.br

Agradecimentos

Agradeço a Deus que me deu forças para trilhar esta etapa da minha vida de forma satisfatória.

Aos meus pais, Luiz Carlos e Vera, meus irmãos, Eduarda e Luiz Fillipe e minha namorada, Alicia, expresso minha sincera gratidão pelo apoio incondicional, paciência e amor que sempre me ofereceram. Cada um de vocês foi uma fonte valiosa de incentivo e inspiração ao longo desta jornada acadêmica.

Agradeço aos amigos e a toda minha família, em especial à minha tia Marta pela ajuda e apoio constante. Gratidão por serem uma base sólida na minha vida.

À UFOP, instituição de ensino que me acolheu, agradeço pela oportunidade de crescimento e aprendizado, assim como os professores que compartilharam seus conhecimentos e experiências. Em especial, à minha professora orientadora Irce Guimarães, expresso minha profunda gratidão pela paciência e pelos conhecimentos que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Este trabalho não seria possível sem o apoio e contribuição de cada uma dessas pessoas especiais em minha vida. Obrigado por fazerem parte deste percurso e por tornarem esta jornada acadêmica tão enriquecedora e inesquecível.

"Cada segundo é tempo para mudar tudo para sempre."

— Charles Chaplin.

Resumo

O Lean Seis Sigma é uma abordagem amplamente utilizada para melhorar a eficiência operacional e a qualidade dos processos em diversas indústrias. O setor de manutenção é essencial para garantir o bom funcionamento das operações e a disponibilidade dos ativos industriais. No entanto, muitas vezes, a falta de planejamento adequado pode levar a paradas não programadas, aumento de custos e baixa produtividade. Neste sentido, este estudo apresenta uma revisão bibliográfica abrangente sobre as principais ferramentas e conceitos do Lean Seis Sigma visando entender como estes mecanismos podem ser aplicados ao planejamento de manutenção de equipamentos de transporte, com o objetivo de reduzir o número de manutenções corretivas de uma frota específica de caminhões em uma indústria no ramo da mineração. São abordados nesta pesquisa, temas como redução de desperdícios, melhoria de processos, análise de dados e a importância da cultura de melhoria contínua. Os métodos de pesquisa científicas utilizados para análise dos resultados foram a revisão de literatura e um estudo de caso único. Além disso, é analisado o impacto das mudanças implementadas, resultando uma maior consistência e estabilidade nas operações e uma diminuição da porcentagem de dados fora da meta especificada, indicando progresso, porém, com espaço para melhorias.

Palavras-chave: Lean Seis Sigma, Planejamento de Manutenção, Mineração.

Abstract

Lean Six Sigma is a widely used approach to improve operational efficiency and process quality in several sectors. The maintenance sector is essential to ensure the proper functioning of operations and the availability of industrial assets. However, the lack of adequate planning can often lead to unscheduled downtime, increased costs and low productivity. In this sense, this study presents a comprehensive bibliographic review on the main tools and concepts of *Lean Six Sigma* and begins to understand how these mechanisms can be applied to planning the maintenance of transport equipment, with the aim of reducing the number of corrective maintenance of a specific fleet of trucks in a mining industry. This research involves topics such as waste reduction, process improvement, data analysis and the importance of a culture of continuous improvement. Furthermore, the impact of the implemented changes is analyzed, resulting in greater consistency and stability in operations and a decrease in the percentage of data outside the specified target, indicating progress, however, with room for improvement.

Key-words: Lean Six Sigma, Maintenance Plannig, Mining.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Casa do <i>Lean</i>	15
Figura 2 — Desperdícios do Lean	16
Figura 3 – Metodologia DMAIC	19
Figura 4 – Diagrama de Causa e Efeito	21
Figura 5 — Hierarquia da Manutenção	24
Figura 6 – Tipos de Pesquisa	27
Figura 7 — Metodologia do trabalho	29
Figura 8 – Frota de Equipamentos Médio Porte	32
Figura 9 – Caminhões SANY SKT90S	32
Figura 10 – Métodos de Manutenção	33
Figura 11 – Matriz SIPOC	34
Figura 12 – Relatório Resumo	35
Figura 13 – Carta de Controle	36
Figura 14 – Capacidade do Processo	37
Figura 15 – Árvore de Estratificação	37
Figura 16 – Sistema Funcional	38
Figura 17 – Componentes	38
Figura 18 – Diagrama de Ishikawa	39
Figura 19 – Condição de operação da pista	40
Figura 20 – 5 Porquês	40
Figura 21 – Plano de Ação	41
Figura 22 – Matriz Esforço x Impacto	42
Figura 23 – Melhorias na pista	12
Figura 24 – Projeto para ou não para	43
Figura 25 – Cadastro dos itens para estoque de segurança	14
Figura 26 – Relatório de acompanhamento diário	14
Figura 27 – Carta de Controle final	45
Figura 28 – Capacidade do Projeto	46
Figura 29 – Quadro de Desperdícios	47

Lista de tabelas

Tabela 1 – Defeitos por Milhão de Oportunidade (DPMO)	18
---	----

Lista de abreviaturas e siglas

DMAIC Define, Measure, Analyse, Improve, Control

DPMO Defeitos por Milhão de Oportunidades

MFV Mapeamento do Fluxo de Valor

SIPOC Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customer

CEP Controle Estatístico de Processo

KPI Indicadores Chave de Desempenho

CP Capacidade do Processo

CPK Capabilidade do Processo

MCC Manutenção Centrada na Confiabilidade

PCM Planejamento e Controle da Produção

MTBF Tempo Médio entre Falhas

MTTR Tempo Médio de Reparo

Sumário

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Justificativas e Relevância	11
1.2	Objetivos	12
1.3	Organização e Estrutura	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1	Lean Manufacturing	14
2.2	Seis Sigma	17
2.2.1	DMAIC	18
2.2.2	Ferramentas da Qualidade	19
2.3	Gestão da Manutenção	22
2.3.1	Planejamento e Controle da Manutenção (PCM)	23
2.3.2	Engenharia de Manutenção	24
3	MATERIAIS E MÉTODOS	27
4	ESTUDO DE CASO	31
4.1	Ambiente de Estudo	31
4.2	Aplicação do Lean Seis Sigma	33
4.2.1	Define	33
4.2.2	Measure	36
4.2.3	Analyse	36
4.2.4	<i>Improve</i>	40
4.2.5	Control	43
4.3	Discussão dos Resultados	46
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
	Referências	51

1 Introdução

A indústria de mineração desempenha um papel vital na economia global, fornecendo matérias-primas essenciais para diversas atividades industriais e infraestruturais. Nesse contexto, o transporte exerce uma função crucial, sendo um elo fundamental na cadeia de suprimentos. A eficiência e eficácia do transporte têm um impacto direto não apenas nos custos de produção e na rentabilidade das operações de mineração, mas também na sustentabilidade ambiental e na segurança dos trabalhadores envolvidos.

Dessa forma, com o advento da globalização, a intensificação da concorrência tem se tornado mais acentuada. Diante desse cenário, as organizações precisam empreender esforços na busca e criação de novas abordagens e técnicas de gestão, com o propósito de se manterem competitivas no mercado, e uma dessas formas é por meio de análises estatísticas dos dados. O *Lean Seis Sigma* representa uma abordagem integrada entre dois princípios que surgiram de maneira independente: o *Seis Sigma* que foi destaque nas grandes empresas desde sua origem, na *Motorola* em 1987 e o *Lean*, originado na década de 50 no Japão. No entanto, tem se observado que os benefícios provenientes da combinação dessas duas abordagens têm demonstrado uma relevância significativa (MANI; PÁDUA, 2008).

Nesse sentido, o foco central deste estudo é analisar como a aplicação do Lean Seis Sigma pode resultar na redução do número de manutenções corretivas em caminhões utilizados na mineração. Como enfase secundária extende-se esta análise em verificar quais mecanismos podem ser utilizados para aumentar a disponibilidade operacional e contribuir para uma gestão mais eficaz dos recursos. É investigado como essa abordagem pode auxiliar para a identificação de causas raiz de falhas recorrentes e a implementação de melhorias.

1.1 Justificativas e Relevância

A busca incessante pela excelência operacional e a melhoria contínua tem conduzido as organizações a adotarem metodologias robustas e eficazes para aprimorar seus processos e maximizar sua eficiência. Nesse contexto, a combinação das filosofias *Lean e Seis Sigma* tem se destacado como uma abordagem interessante a fim de melhorar as operações, reduzir desperdícios e elevar a qualidade, resultando em benefícios tangíveis para diversos setores industriais (PACHECO, 2014).

Este trabalho se concentra na aplicação da metodologia *Lean Seis Sigma* no planejamento de manutenção, com um foco específico na redução do número de paradas corretivas na frota de caminhões *Sany SKT90S*. A escolha desse tema advém do reconhecimento da

manutenção como uma peça fundamental para garantir a operação contínua e confiável de equipamentos industriais, bem como para minimizar interrupções não programadas que podem gerar perdas significativas em termos de produtividade e custos.

A decisão do tema também foi influenciada pela experiência prática adquirida durante o meu período estágio em uma empresa do setor industrial. Durante esse período, vivenciei os desafios enfrentados pela equipe de manutenção e as oportunidades de melhoria que surgiram. Assim, decidi explorar a importância do lean seis sigma na manutenção, motivado tanto pela relevância teórica da metodologia quanto pelo desejo pessoal de contribuir para resolver problemas reais enfrentados pela organização.

1.2 Objetivos

Nessa seção serão apresentados os objetivos geral e específicos que orientarão o desenvolvimento deste trabalho.

Geral

Objetiva-se apresentar diretrizes utilizando a Filosofia *Lean Seis Sigma* visando reduzir o número de paradas corretivas de uma frota de caminhões.

Específicos

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre a metodologia *Lean Seis Sigma* e Gestão da Manutenção
- \bullet Diagnosticar, por meio de um caso real, os principais motivos de paradas corretivas da frota de caminhões Sany.
- Avaliar por meio do histórico de dados de paradas corretivas e utilizar métodos de análise visando identificar desperdícios, os pontos de ineficiência no processo e as causas raiz. Bem como, elaborar caminhos possíveis para alcançar melhorias na gestão da manutenção.

1.3 Organização e Estrutura

Este trabalho se organiza da seguinte forma: primeiramente é feita uma introdução ao tema, em que se verifica uma justificativa plausível para a realização da pesquisa de campo.

Já em um segundo momento, na revisão de literatura, é realizada uma discussão acadêmica acerca do *Lean Manufacturing* . Ainda no capítulo 2 será apresentada a literatura

pertinente ao que seja o Seis Sigma, criado pela Motorola em 1987, apresentando também o método DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar), além de abordar assuntos como a Gestão da Manutenção e a Engenharia da Manutenção, que se traduz em execução de ações em equipamentos e/ou ítens, nas modalidades: manutenção preventiva e manutenção corretiva e suas especificidades, bem como seu gerenciamento.

O capítulo 3 -Materiais e Métodos, abordará o tipo de pesquisa utlizada nesse trabalho, especificando sua finalidade; sua natureza; sua forma de abordagem; seus objetivos e, principalmente, quanto ao procedimento técnico que é a "pesquisa de campo".

O capítulo 4 -Estudo de Caso- é o cerne do trabalho, é onde todo o detalhamento da pesquisa será apresentado. Iniciar-se-á pelo detalhamento do ambiente, ou seja, a empresa em si; seguido da aplicação da metodologia DMAIC com ênfase na redução das manutenções corretivas dos caminhões Sany; travando algumas disussões preliminares acerca dos resultados obtidos.

Por fim, no capítulo 5, ter-se-á as considerações finais, consolidando os resultados alcançados, discutindo as implicações práticas, e sugerindo possíveis direções para pesquisas futuras. Lembrando sempre que a pesquisa deve sempre se colocar aberta a outros resultados futuros, sempre que houver empenho e novas tecnologias disponíveis para tal.

2 Revisão de literatura

O propósito deste capítulo é apresentar os conceitos que abordam o tema, utilizando de fontes acadêmicas e literárias, que fornecerão um embasamento teórico que sustentará o desenvolvimento do trabalho.

2.1 Lean Manufacturing

O Lean Manufacturing é uma iniciativa que busca eliminar desperdícios, isto é, excluir o que não gera valor para o cliente e imprimir velocidade à empresa. As origens do Lean Manufacturing remontam ao Sistema Toyota de Produção, também conhecido como Produção Just-in-Time ¹ (no momento certo). O executivo da Toyota Taiichi Ohno iniciou, na década de 50, a criação e implantação de um sistema de produção cujo principal foco era a identificação e a posterior eliminação de desperdícios, com o objetivo de reduzir custos e aumentar a qualidade e a velocidade de entrega do produto aos clientes (WERKEMA, 2011).

Assim, a produção enxuta representa um processo contínuo e sistêmico cujo foco é a identificação e eliminação de desperdícios e atividades desnecessárias. Nesse contexto, desperdício abrange atividades que não contribuem para o valor do processo, mas aumentam os custos e o esforço. Essa abordagem de eliminação sistemática é implementada por equipes altamente organizadas e conscientes de sua atividade. O Lean Manufacturing, notável por sua busca incessante de aumento da produtiva com eficiência, visa criar empresas mais eficazes, inovadoras e eficientes. Sua verdadeira força reside na habilidade contínua de descobrir oportunidades de melhoria, muitas vezes ocultas em toda a organização. Reconhece-se que sempre haverá áreas com potencial de aprimoramento, e a meta é estabelecer uma cultura que reconheça tais oportunidades e se empenhe em encontrá-las (SOCCONINI, 2019).

A filosofia Lean é guiada pela meta contínua de alcançar maior qualidade, menor custo e um lead time (tempo de espera) mais curto. A implementação conjunta do Just in Time e do nivelamento da produção (Heijunka) é respaldada pela otimização do layout no chão-de-fábrica, redução dos tempos de setup, programação eficiente da produção e adoção de lotes mínimos. A evolução do Jidoka para a qualidade incorporada e a promoção da melhoria contínua estão ancoradas na redução de desperdícios, resposta eficaz a defeitos e no uso de dispositivos à prova de falhas. Adicionalmente, um terceiro pilar destaca o

O Just in Time é uma filosofia de reorganização para alavancar o sistema produtivo e eliminar os desperdícios. Ele tem como objetivo reduzir os custos por meio de fornecimento e de produção dos materiais na quantidade e locais corretos, além de ser na hora que o cliente necessita, conforme Coutinho (2021).

envolvimento humano, apoiado por princípios como trabalho em equipe, trabalhadores multifuncionais, liderança em qualidade, motivação e responsabilidade descentralizada. Esses três pilares são sustentados pela estabilidade e padronização, evidenciados pela manutenção regular de máquinas, trabalho padronizado e comunicação visual, proporcionando uma base sólida para a aplicação bem-sucedida dos princípios *Lean* nas práticas industriais, conforme ilustrado pela Figura 1.

Maior Qualidade, Menor Custo e Lead Time mais Curto **Just in Time** Jidoka · Parar e notificar Fluxo Contínuo anormalidades Takt Time Separar o Sistema trabalho humano Puxado do trabalho das máquinas Trabalho Nivelamento da Melhoria Contínua Produção **Padronizado** Estabilidade

Figura 1 – Casa do *Lean*.

Fonte: Womack (2004)

Segundo Rother e Shook (2003), o Mapeamento do Fluxo de Valor é uma ferramenta simples que auxilia na introdução e utilização do pensamento enxuto por meio da identificação da criação do valor. Sua principal missão é evitar abordagens isoladas que não resultam em efetivas reduções de custos, aprimoramentos na qualidade ou benefícios tangíveis para clientes e fornecedores, abrangendo desde o consumidor até o fornecedor. A capacidade do MFV em identificar desperdícios, ilustrados na Figura 2, possibilita a aplicação de práticas *Lean* para sua eliminação, sendo considerada um mapa de processo empregado no nível operacional para diagnosticar, implementar e manter abordagens enxutas. É possível destacar as características fundamentais do MFV, enfatizando sua capacidade de proporcionar uma visão holística do fluxo, identificar fontes de desperdício, facilitar a comunicação entre processos, utilizar um conjunto diversificado de técnicas enxutas e facilitar a implementação de um sistema enxuto de produção. Embora o desperdício seja, por vezes, inevitável, o propósito do MFV é visualizar esses casos e avaliar a possibilidade de redução ou eliminação dos desperdícios, emergindo como instrumento crucial na implementação de estratégias de gestão enxuta e proporcionando melhorias

significativas nos processos e na entrega de valor aos clientes (RIBEIRO; FORCELLINI; PEREIRA, 2020).

Figura 2 – Desperdícios do Lean



Fonte: Brandão (2020)

Existem sete tipos de desperdícios, que são identificados e combatidos pela filosofia Lean para melhorar a eficiência e a eficácia nos processos de produção:

- Excesso de produção: produzir mais do que o necessário resulta em estoques excessivos, ocupação de espaço e custos desnecessários
- Tempo de espera: qualquer tempo em que o produto, material ou pessoa não esteja sendo processado é considerado desperdício. Isso pode ocorrer devido a atrasos, interrupções ou ociosidade.
- Superprocessamento: refere-se a gastar mais recursos do que o necessário para realizar uma tarefa, seja em termos de energia, materiais ou tempo.
- Transporte: movimentar produtos ou materiais de um lugar para outro sem agregar valor ao produto final é considerado desperdício. Isso pode incluir excesso de manuseio e custos associados ao transporte.
- Estoque/Iventário: manter estoques excessivos além do necessário resulta em custos adicionais, espaço ocupado e maior risco de obsolescência.
- Defeitos, produto fora da especificação: qualquer produto que não atenda às especificações ou que necessite retrabalho representa um desperdício significativo, envolvendo recursos adicionais e podendo impactar a satisfação do cliente.
- Movimentações desnecessárias: refere-se a qualquer movimento não essencial de pessoas ou equipamentos durante o processo de produção, que não contribui diretamente para o valor do produto.

A identificação e eliminação desses desperdícios são fundamentais para a abordagem *Lean*, buscando maximizar a eficiência, reduzir custos e melhorar a qualidade, resultando

em processos mais ágeis e eficazes (CAMPOS; RODRIGUES; OLIVEIRA, 2016).

No livro "O Modelo Toyota", Liker (2021) introduziu um oitavo desperdício. Segundo ele, a empresa perde tempo, ideias, habilidades, oportunidades de melhoria e de aprendizagem ao não envolver ou ouvir seus funcionários. Chamou de "Desperdício da criatividade dos funcionários".

2.2 Seis Sigma

O Seis Sigma nasceu na Motorola, em janeiro de 1987, com o objetivo de tornar a empresa capaz de enfrentar os concorrentes estrangeiros, que estavam fabricando produtos de melhor qualidade a um custo mais baixo. Hoje é possível definir o Seis Sigma como uma estratégia gerencial disciplinada e altamente quantitativa, que tem como objetivo aumentar drasticamente a lucratividade das empresas, por meio da melhoria da qualidade de produtos e processos e do aumento da satisfação de clientes e consumidores (WERKEMA, 2011).

O Seis Sigma busca minimizar ao máximo a variabilidade por meio de um conjunto de ferramentas e princípios. Todo esse processo é fundamentado em metas sólidas e projetos internos voltados para aprimorar os procedimentos empresariais. Mediante essa abordagem, a atenção se volta para a avaliação dos defeitos que não contribuem para a melhoria do processo, produto ou serviços. Nesse contexto, o objetivo almejado é alcançar uma taxa de, no máximo, 3.4 erros em um conjunto de um milhão de amostras.

Sob o ponto de vista estatístico, o sigma é uma medida de variabilidade intrínseca de um processo definido pelo desvio padrão e representado pela letra grega Sigma (σ). Para fins de comparação, a Tabela 1 estabelece uma correlação entre a taxa de erro, a taxa de acerto e o nível de Defeitos por Milhão de Oportunidades (DPMO) para várias faixas de valores da Escala Sigma. O nível sigma é uma medida de variação de um processo, dentro de um ambiente empresarial. Quanto maior for o nível Sigma, menor será a variabilidade final do processo ou produto. O objetivo de uma empresa deve ser sempre diminuir a taxa de variabilidade e, consequentemente, aumentar o nível sigma (TRAD; MAXIMIANO, 2009).

Taxa de Acerto	Taxa de Erro	Defeitos por Milhão de Oportunidades (DPMO)	Escala Sigma
30.,9%	69,1%	691.462	1,0
69,1%	30,9%	308.538	2,0
93,3%	6,7%	66.807	3,0
99,38%	$0,\!62\%$	6.210	4,0
99,977%	0,023%	233	5,0
99,99966%	0,00034%	3,4	6,0

Tabela 1 – Defeitos por Milhão de Oportunidade.

Fonte: Trad e Maximiano (2009)

2.2.1 *DMAIC*

Parte integrante da estrutura do Seis Sigma é a formação de equipes designadas para conduzir projetos que desempenhem um papel significativo na concretização dos objetivos estratégicos da empresa. Esses projetos são desenvolvidos com base no método denominado DMAIC, conforme a Figura 3. O método DMAIC consiste em cinco fases distintas:

Definir (*Define*), na qual o escopo do projeto é delimitado com precisão;

Medir (*Measure*), para identificar a localização ou ponto focal do problema;

Analisar (Analyze), destinada a identificar as causas subjacentes de cada problema prioritário;

Melhorar (*Improve*), englobando a proposição, avaliação e implementação de soluções para os problemas prioritários; e, por fim,

Controlar (*Control*), com o intuito de assegurar a manutenção a longo prazo do alcance das metas estabelecidas (WERKEMA, 2011).

Define Measure Analyze **Improve** Control Definição do Medição do Encontrar a Mudança como Perpetuar as estado atual uma predição melhorias problema e causa raiz do prioridades problema conquistadas

Figura 3 – Metodologia DMAIC

Fonte: Matsumota (2020)

2.2.2 Ferramentas da Qualidade

Gráfico/Diagrama de Pareto

De acordo com Pedra (2024), o economista italiano Vilfredo Pareto, nos primórdios do século XX, foi quem primeiro observou que 80% da riqueza do povo italiano, provinha de somente 20% de sua população. Esta descoberta foi aplicada a outros países, e, também ao mundo empresarial. É também denominado "Regra 80/20" ou "Regra de Pareto". A regra 80/20 é uma ferramenta útil para priorizar os itens que devem ser tratados com maior prioridade em um determinado contexto. Ele oferece uma análise profunda da frequência com que as ocorrências se apresentam para que você possa desdobrar as causas gerais desses problemas.

SIPOC

A ferramenta SIPOC - Consiste em um formulário para auxiliar na definição de um processo antes de se começar a mapeá-lo, mensurá-lo ou melhorá-lo. SIPOC corresponde à abreviação em inglês de: Suppliers (Fornecedores); Inputs (Entradas); Process (Processo); Outputs (Saídas) e Customer (Clientes). Pode, e deve ser utilizado na fase "Definir"do Roteiro DMAIC, método base da metodologia Seis Sigma. O diagrama SIPOC ajuda identificar pontos críticos e gargalos em um processo. Quando se monta o diagrama, se está mapeando os processos da sua organização, só isso já permite a identificaçãpo de falhas, corroborando na tomada de decisão, de forma preventiva, contribuindo para uma melhor eficiência operacional, diminuindo sobremaneira o retrabalho e o desperdício (SANTOS, 2015).

Carta de Controle

A carta de controle, também conhecida como gráfico de controle ou carta de controle estatístico de processo (CEP), é uma ferramenta estatística que analisa a variação de dados em um determinado processo, permitindo determinar se as variações estão dentro dos limites aceitáveis. Ao utilizar o gráfico de controle, é possível demonstrar a estabilidade do processo ao longo do tempo, facilitando análises de capacidade produtiva. Além disso, a comparação fácil entre desvios da média possibilita a avaliação de resultados de mudanças nos processos. Ao representar visualmente os desvios na linha de produção, a carta de controle facilita a identificação rápida de problemas em máquinas ou processos. Isso permite a implementação ágil de melhorias, evitando retrabalhos e a entrega de produtos não conformes aos clientes (EPRCONSULTORIA, 2023).

Diagrama de Ishikawa

De acordo com Jeison (2018), o Diagrama de Ishikawa, também conhecido como Diagrama de Espinha de Peixe ou Diagrama de Causa e Efeito, à primeira vista é uma ferramenta da qualidade que ajuda a levantar as causas-raízes de um problema. Por isso, analisa todos os fatores que envolvem a execução do processo. Criado na década de 60, por Kaoru Ishikawa, o diagrama leva em conta todos os aspectos que podem ter levado à ocorrência do problema. Dessa forma, ao utilizá-lo, as chances de que algum detalhe seja esquecido diminuem consideravelmente. A figura 4 ilustra a utilização da ferramenta que atua em seis (6) diferentes frentes, que são os 6-m: Método, Mão de Obra, Material, Medição, Meio Ambiente e Máquina. Na metodologia, todo problema tem causas específicas, e essas causas devem ser analisadas e testadas, uma a uma. Sobretudo, a fim de comprovar qual delas está realmente causando o efeito (problema) que se quer eliminar. Por isso, eliminando as causas, elimina-se o problema.

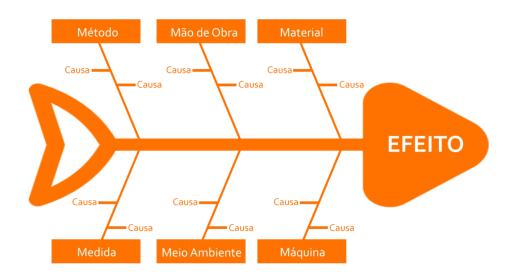


Figura 4 – Diagrama de Causa e Efeito

Fonte: Soares (2022)

5 Porquês

Ferramenta criada por Taiichi Ohno, funcionário do sistema Toyota de produção, nos anos de 1950. Esta metodologia consiste na repetição da pergunta "Por quê?" diante da questão a ser analisada na empresa, tornando mais fácil detectar a causa/raiz do problema, com clareza e estratégia. Muito utilizada devido a sua simplicidade e eficiência, que consiste em inserir múltiplas vezes o porquê de um problema ou defeito ter ocorrido, a fim de descobrir a sua real causa, ou seja, a causa raiz.

Rabello (2024) assevera que: "A lógica é que ao indagar diversas vezes 'mas por quê' será possível chegar até a causa raiz do problema e encontrar a verdadeira causa que está gerando complicações em escala".

Matriz de Esforço e Impacto

A Matriz Esforço x Impacto é uma ferramenta de gerenciamento de projetos que ajuda a priorizar tarefas ou atividades com base na avaliação de dois fatores principais: o esforço necessário para concluir a tarefa e o impacto que ela terá no projeto. Em uma matriz, primeiramente são desenhados dois eixos: um para impacto e outro para esforço. Em seguida, são desenhadas duas linhas partindo do meio de cada um dos eixos, gerando assim quatro quadrantes:

Alto impacto, pouco esforço: fazer agora.

Alto impacto, alto esforço: programar para fazer.

Baixo impacto, pouco esforço: fazer quando der.

Baixo impacto, muito esforço: não fazer (GABRIEL, 2022).

Capacidade do Processo

A capabilidade do processo refere-se à capacidade de um processo em atender às expectativas dos clientes, e é medida por métricas ou indicadores-chave de desempenho (KPIs). Para avaliar essa capabilidade, usamos o Controle Estatístico de Processos (CEP), uma ferramenta estatística que busca controlar os resultados do processo, minimizando a variabilidade. O CEP é comumente usado em projetos Seis Sigma, que visam alcançar melhorias financeiras consistentes ao manter o desempenho obtido por meio de projetos de melhoria. A métrica Seis Sigma, por exemplo, procura atingir apenas 3.4 defeitos por milhão de oportunidades, indicando um alto nível de desempenho do processo. A capabilidade do processo é avaliada comparando a faixa de variação real do processo (faixa característica) com a faixa de especificação definida pela empresa ou cliente (limites inferior e superior). Para ser considerado capaz, o processo deve permanecer dentro desses limites de controle. No CEP, analisamos a capacidade (CP) e a capabilidade do processo (CPK). A CP mede a capacidade potencial do processo, considerando apenas seus níveis de variação. Já a CPK vai além, representa a capacidade real do processo de ser preciso e consistente ao permanecer dentro dos limites de controle. Em resumo, CPK mostra o desempenho real do processo, enquanto CP mede seu potencial (COUTINHO, 2020).

2.3 Gestão da Manutenção

Segundo Kardec e Nascif (2009), o conceito central de manutenção reside em assegurar a confiabilidade e disponibilidade das funções dos equipamentos e instalações, de maneira a atender eficazmente a processos de produção ou serviços, garantindo segurança, respeito ao meio ambiente e controle de custos.

Para Xenos (1998) a gestão da manutenção é definida como a combinação de ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida. Em outras palavras, manter significa fazer tudo que for preciso para assegurar que um equipamento continue a desempenhar as funções para as quais foi projetado, num nível de desempenho exigido.

O processo de planejamento de manutenção implica nas etapas de organização para os serviços de manutenção preventiva, determinando o momento em que essas atividades serão realizadas. Isso abrange a alocação dos serviços de manutenção ao longo de um período específico, juntamente com a antecipação das exigências relacionadas a materiais e ferramentas. Esse planejamento das ações preventivas possibilita a adequada configuração

desses recursos, conferindo uma abordagem previsível ao processo de manutenção (XENOS, 1998).

2.3.1 Planejamento e Controle da Manutenção (PCM)

Sobre o PCM, Souza et al. (2008) define:

Um conjunto estratégico de ações para preparar, programar, controlar e verificar o resultado da execução das atividades da função manutenção contra valores pré-estabelecidos e adotar medidas de correções de desvios para a consecução das metas e objetivos da produção, consequentemente da missão da empresa.

De acordo com Branco Filho (2008), o Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) desempenha um papel fundamental no reforço do ciclo de gerenciamento da manutenção em uma organização. Ele alcança isso através da implementação de uma série de atividades-chave. Essas atividades incluem auxiliar a gerência na programação e controle das atividades de manutenção, exercer uma gestão eficaz sobre todas as operações de manutenção, facilitar a comunicação e negociação entre os departamentos de manutenção e produção, revisar e coordenar os cronogramas, planos e instruções de manutenção, realizar avaliações para identificar pontos de perda de produtividade e oferecer sugestões para melhorias, além de detalhar claramente as responsabilidades de cada membro da equipe de manutenção. Essas ações visam promover a eficiência, reduzir custos e garantir a maximização da disponibilidade dos equipamentos na organização.

O Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) desempenha um papel crucial na garantia do controle eficaz do desempenho dos ativos, mantendo-os em condições operacionais ideais. Sua principal função é prever falhas, através de um planejamento de intervenções baseado em padrões, parâmetros e histórico de funcionamento dos equipamentos. Além de estabelecer cronogramas para as manutenções, o PCM também gerencia recursos e custos associados, padroniza registros de informações sobre os ativos e monitora dados e indicadores para avaliar o desempenho dos equipamentos. O objetivo central do PCM é reduzir falhas por meio de uma programação estratégica de manutenções, otimizando o desempenho geral dos ativos, prolongando sua vida útil e organizando as rotinas de manutenção de maneira eficiente. Isso resulta em benefícios como o uso eficiente dos equipamentos, aumento da produtividade, contenção de perdas na produção e garantia do cumprimento das normas de segurança.

As etapas do PCM são estruturadas em cinco passos principais: planejamento, elaboração do cronograma, programação das paradas, acompanhamento do processo e utilização da tecnologia adequada. Cada passo é crucial para o sucesso do processo, desde a definição de objetivos e estratégias até a implementação de ferramentas tecnológicas para facilitar o controle e a execução das atividades de manutenção. O PCM é centrado em três

chaves essenciais: pessoas, processos e ativos. O envolvimento e capacitação adequada dos profissionais, o estabelecimento e controle de processos eficientes, e a gestão estratégica dos ativos são fundamentais para garantir a eficácia do PCM e alcançar os objetivos de manutenção estabelecidos pela organização (SILVA, 2024).

2.3.2 Engenharia de Manutenção

Engenharia de Manutenção diz respeito elaboração de novos métodos, acompanhamento acurado dos métodos de manutenção e previsão e programação continua de ações de manutenção em equipamentos, itens e prédios. Isso engloba a formulação de ideias, critérios e exigências técnicas nas etapas iniciais e de aquisição. A finalidade é assegurar a aplicação e a manutenção contínua dos resultados durante a fase operacional, assegurando o respaldo para a manutenção eficiente dos equipamentos (SELEME, 2015).

De acordo com Almeida (2018), existem três tipos principais de manutenção: corretiva, preventiva e manutenção centrada na confiabilidade (MCC), conforme Figura 5. A manutenção corretiva pode ser classificada como imprevista ou emergencial e programada. A preventiva inclui a manutenção condicional e a sistemática. Por fim, a confiabilidade de manutenção pode ser subdividida em extensão da vida útil e equipamentos com manutenção otimizada.



Figura 5 – Hierarquia da Manutenção.

Fonte: Almeida (2018)

Manutenção Corretiva

Para Kardec e Nascif (2009) a manutenção corretiva é a atuação para a correção da falha ou do desempenho menor do que o esperado. Quando se interage com um equipamento que demonstra um defeito ou um desempenho abaixo das expectativas, isso configura uma situação de manutenção corretiva. No entanto, é importante destacar que a manutenção corretiva não se limita exclusivamente a intervenções emergenciais.

O Engenheiro Mecânico Moro (2007), nos elucida com clareza, sobre o que seja a manutenção corretiva, conforme se verifica a seguir:

A manutenção corretiva corresponde ao estágio mais primitivo da manutenção mecânica. Entretanto, como é praticamente impossível acabar totalmente com as falhas, a manutenção corretiva ainda existe. É definida como um conjunto de procedimentos que são aplicados a um equipamento fora de ação ou parcialmente danificado, com o objetivo de fazê-lo voltar ao trabalho, no menor espaço de tempo e custo possível. É, portanto, uma manutenção não planejada, de reação, no qual a correção de falha ou de baixo desempenho se dá de maneira aleatória, isto é, sem que a ocorrência fosse esperada. Implica em altos custos, porque causa perdas na produção e geralmente a extensão dos danos aos equipamentos é maior. É importante observar que pode englobar desde a troca de um simples parafuso de fixação quebrado como substituir todo um sistema elétrico em pane.

Manutenção Preventiva

Manutenção preventiva refere-se à execução de ações de manutenção em períodos predefinidos ou conforme critérios estabelecidos, com o propósito de minimizar a possibilidade de falhas ou deterioração no desempenho de um item. Essas medidas são implementadas como precaução para prevenir ou reduzir a probabilidade de falhas, bem como para evitar um nível inaceitável de degradação durante o serviço, em contraste com a abordagem de corrigir problemas somente após sua ocorrência (SELEME, 2015).

Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC)

A Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) é um método estruturado para estabelecer estratégias de manutenção eficazes, reunindo diversas técnicas de manutenção de forma equilibrada. Ao garantir a confiabilidade e disponibilidade de itens críticos para a produção, a MCC emerge como uma estratégia de gestão de ativos valiosa, embora seu alto custo e a não criticalidade de todos os equipamentos possam requerer o uso de outras técnicas, como a TPM (Manutenção Produtiva Total), em complemento. Originada na indústria aérea há mais de 25 anos, a RCM visa a preservação da função do sistema, analisando falhas, probabilidades de recorrência e definindo procedimentos de priorização baseados em fatores econômicos e práticas eficientes. O principal objetivo da MCC é aumentar a produtividade e disponibilidade dos equipamentos. Além disso, ela proporciona benefícios em áreas como segurança, qualidade dos produtos, preservação do meio ambiente

e retorno eficiente do capital investido. Para gerenciar efetivamente a MCC, é fundamental estabelecer e monitorar indicadores de desempenho, como MTBF (tempo médio entre falhas), MTTR (tempo médio de reparo) (ENGEMAN, 2017).

3 Materiais e Métodos

Segundo Fontelles (2009), para um pesquisador que deseja planejar um experimento, é crucial seguir uma sequência lógica de raciocínio. Inicialmente, ele deve selecionar, dentre os variados tipos de pesquisa disponíveis, aquele que melhor se adequa à população a ser estudada e que atende de maneira mais eficaz aos seus objetivos. Em seguida, é necessário definir o delineamento mais apropriado para garantir o alcance dos objetivos propostos. Com base nesse princípio, observa-se que um mesmo tipo de pesquisa pode ser configurado de maneiras distintas. Por esse motivo, o trabalho segue o modelo de classificação como mostrado na Figura 6.

Classificação Tipos de pesquisa · Pesquisa básica ou fundamental Quanto à finalidade · Pesquisa aplicada ou tecnológica Pesquisa observacional Quanto à natureza Pesquisa experimental Pesquisa qualitativa Pesquisa quantitativa Quanto à forma de Descritiva abordagem Analítica Pesquisa exploratória Quanto aos objetivos · Pesquisa explicativa Pesquisa bibliográfica Quanto aos Pesquisa documental procedimentos Pesquisa de laboratório técnicos Pesquisa de campo · Pesquisa transversal Quanto ao · Pesquisa longitudinal desenvolvimento no · Pesquisa prospectiva tempo

Figura 6 – Tipos de Pesquisa.

Fonte: Fontelles (2009)

A presente pesquisa é o tipo de pesquisa cujo objetivo é produzir conhecimentos científicos para aplicação prática voltada para a solução de problemas concretos, específicos da vida moderna. É a pesquisa que, além de produzir conhecimento, gera novos processos tecnológicos e novos produtos, com resultados práticos imediatos em termos econômicos e na melhoria da qualidade de vida. Portanto se classifica como aplicada, neste caso, a metodologia do Lean Seis Sigma visa resolver um problema real no planejamento de manutenção da frota de caminhões Sany.

Pesquisa experimental, que envolve algum tipo de experimento. Neste tipo de

estudo, o pesquisador participa ativamente na condução do fenômeno, processo ou do fato avaliado, isto é, ele atua na causa, modificando-a, e avalia as mudanças no desfecho. Neste tipo de pesquisa, o investigador seleciona as variáveis que serão estudadas, define a forma de controle sobre elas e observa os efeitos sobre o objeto de estudo, em condições pré-estabelecidas. O estudo de caso é uma abordagem adequada quando se pretende investigar um fenômeno em seu contexto real. A aplicação do Lean Seis Sigma na frota de caminhões Sany é analisada de forma específica, considerando as características e particularidades dessa empresa.

Quanto à forma de abordagem, a pesquisa pode se adequar na forma quantitativa analítica. É aquela que trabalha com variáveis expressas sob a forma de dados numéricos e emprega rígidos recursos e técnicas estatísticas para classificá-los e analisá-los. É o tipo de pesquisa quantitativa que envolve uma avaliação mais aprofundada das informações coletadas em um determinado estudo, observacional ou experimental, na tentativa de explicar o contexto de um fenômeno no âmbito de um grupo ou população, uma vez que procura explicar a relação entre a causa e o efeito. Dessa forma, a coleta e análise de dados para medir a redução de paradas corretivas são abordagens quantitativas, utilizando-se dos princípios do Lean Seis de forma analítica.

Classifica-se como pesquisa exploratória, uma vez que visa uma primeira aproximação do pesquisador com o tema, para torná-lo mais familiarizado com os fatos e fenômenos relacionados ao problema a ser estudado. A coleta de dados a partir de registros de manutenção e observações diretas possibilita a classificação dos procedimentos técnicos como pesquisa de campo. Além de se enquadrar em uma pesquisa bibliográfica, utilizada para compor a fundamentação teórica a partir da avaliação atenta e sistemática de livros, periódicos, documentos, textos, mapas, fotos, manuscritos e, até mesmo, de material disponibilizado na internet.

Com base nas classificações, o trabalho pode ser sintetizado a um estudo de caso a ser conduzido em uma empresa do ramo da mineração, focado no setor de manutenção. O objetivo central é identificar as causas subjacentes a um problema identificado nesse setor e, posteriormente, sugerir melhorias nos processos para atender à meta estabelecida, seguindo os princípios e metodologias do *Lean Seis Sigma*.

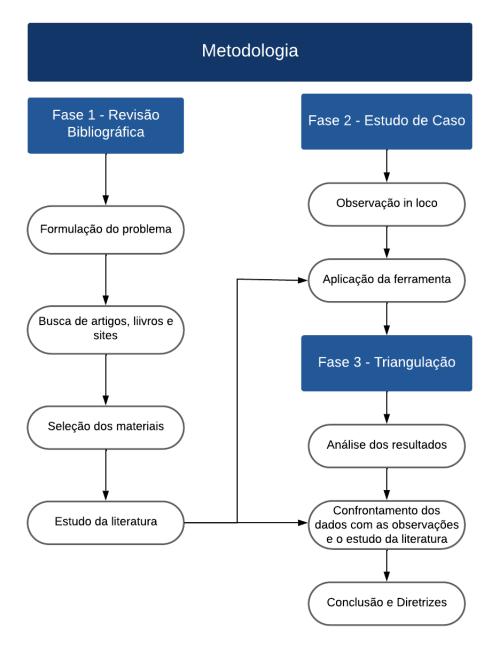


Figura 7 – Metodologia do trabalho.

Fonte: documentação da pesquisa 2024.

Pelo fluxograma na Figura 7 nota-se que a revisão bibliográfica foi conduzida com base em um conjunto específico de palavras-chave: lean manufacturing, seis sigma e gestão da manutenção. Essas palavras-chave foram selecionadas devido à sua relevância para o tema em questão, visando abranger aspectos relacionados à eficiência operacional, qualidade e gestão dos processos de manutenção. As fontes de informação foram obtidas a partir de plataformas reconhecidas, como o Google Acadêmico e a Biblioteca Virtual da UFOP (Sistema Sisbin), garantindo acesso a uma variedade de recursos acadêmicos, incluindo artigos de revistas especializadas, trabalhos apresentados em congressos e livros.

Para o estudo de caso, serão adotadas duas abordagens complementares: a observação in loco das rotinas e atividades do planejamento e controle de manutenção, aliada à análise documental. Além disso, será aplicada na prática a metodologia do lean seis sigma, incorporando seus princípios, ferramentas e técnicas estatíscas trabalhadas com dados do período de junho de 2022 até novembro de 2023, sendo fundamental para embasar as conclusões do estudo.

Por fim, será realizada uma triangulação, na qual as análises dos dados e as observações in loco serão confrontadas e integradas com os conhecimentos encontrados na literatura. Essa abordagem visa não apenas agregar uma análise mais profunda, mas também garantir que as conclusões e recomendações não se baseiem exclusivamente em uma única fonte de informação. Ao harmonizar diferentes perspectivas e fontes de dados, será possível obter uma compreensão mais abrangente e robusta dos desafios enfrentados pelo setor de manutenção, bem como identificar soluções mais eficazes e sustentáveis para otimizar seus processos e resultados.

4 Estudo de Caso

O capítulo aprofunda-se no ambiente da empresa, concentrando-se nos processos operacionais. Destaca-se a aplicação minuciosa das ferramentas do *Lean Seis Sigma* para otimizar o planejamento de manutenção. Inicia-se com uma análise detalhada do contexto empresarial, abordando suas características, em seguida, é apresentada a metodologia do *Lean Seis Sigma*, descrevendo procedimentos, critérios de seleção e estratégias como forma de melhorar o processo. O capítulo culmina na discussão dos resultados, proporcionando uma análise das melhorias e de seu impacto no desempenho da empresa.

4.1 Ambiente de Estudo

Este estudo foi realizado em uma das principais empresas brasileiras do setor de mineração, reconhecida por sua posição como exportadora de minério de ferro, com reservas que ultrapassam bilhões de toneladas. A empresa opera em uma escala significativa, com uma capacidade de produção que atinge dezenas de milhões de toneladas por ano. Seu escopo de atividades abrange desde a extração do minério de ferro até o transporte, beneficiamento e tratamento de rejeitos, refletindo sua importância no cenário nacional e internacional.

O trabalho recai sobre o setor de manutenção dos equipamentos de médio porte empregados nas operações de mineração. Na Figura 8 é demonstrado um esquema dos processos realizados pelo equipamentos de médio porte no contexto estudado. As frotas compreendem, de forma geral, caminhões de transporte de minério e manejo de rejeitos(6x4 e 8x4) e equipamentos de carga. Assim como os equipamentos de apoio e manutenção de vias utilizados pela infraestrutura da mina.

1. Carregamento dos caminhões

2. Transporte para embarque

5. Barragem

Alimentação do britador

Manutenção das vias de acesso e Serviços de Apoio

pilhas de minério

Figura 8 – Frota de Equipamentos Médio Porte.

Fonte: documentação da pesquisa 2024

O objeto de estudo será a frota de caminhão fora de estrada SANY, que se destaca como um componente essencial na categoria de máquinas para mineração, desempenhando funções cruciais no transporte de minério da mina ao complexo de beneficiamento e no deslocamento de rejeitos dentro da barragem. Este estudo concentra-se na busca pela redução das paradas de manutenções corretivas na frota de caminhões SANY SKT90S que são utilizados nas operações da barragem.



Figura 9 – Caminhões SANY SKT90S.

Fonte: Sany (2024)

Os métodos e práticas de manutenção adotados pela empresa, juntamente com os pontos de entrada de informações em cada processo, estão detalhadamente descritos e apresentados na tabela conforme a Figura 10.

Entradas de informação ntervenções realizadas em intervalos regulares, de acordo com as horas trabalhadas d Deve ser aplicada nos equipamentos que necessitam de maior confiabilidade. Intervenções realizadas baseadas no conhecimento do estado/condição de um item Troca de no tempo Mapa de 52 Análise de vibração Baseada na Termografia: através de medições periódicas ou continuas de um ou mais parâmetros Preditiva condição Análise de Fluidos Preventiva (aperiódica) estabelecidos da condição normal e desvios podem ser identificados e (lubrificantes e diesel): acompanhados. Baseada na É a atuação efetuada através de análises dos sistemas de proteção dos equipamentos. Busca detectar/antecipar falhas ocultas e/ou não-perceptíveis ao Detectiva condição Telemetria: (aperiódica) pessoal de operação e manutenção Neste caso, tem-se uma falha ou condição anormal de operação de um equipa a correção depende de decisão gerencial, em função de acompanhamento preditivo ou pela decisão de operar até a quebra. A decisão de adotar a política de manutenção Programada corretiva planejada pode ser originada com base em vários fatores, tais como: parâmetros: Baseada na negociação de parada do processo produtivo com a equipe de operação, aspectos Inspeções condição ligados à segurança, melhor planejamento dos serviços, garantia de ferramental e Sensitivas: programada Backlog; peças sobressalentes, necessidade de recursos humanos tais como serviços Medições; ontratados. Ess tipo de manutenção possibilita o planejamento dos recursos necessários para a intervenção de manutenção, uma vez que a falha é esperada. (PINTO e XAVIER, 2001 apud MUASSAB, 2002). Intervenções que visam modificar situações permanentes de mau desempeño, Perfil de Perdas: Baseada na correção de problemas crônicos Perfil de Perdas: e desenvolver a manutenibilidade Análise de Projetos Engenharia de condição dos equipamentos. Manutenção Acompanhamento (aperiódica) É aplicável em todas as etapas de vida dos equipamentos: dimensionamento, projeto, de desempenho; start-up, ramp-up e operação normal. Baseada na Intervenção das equipes em fatos que já ocorreram, sejam desempenhos inferiores ac CIM/Operadores; Corretiva (reparo) condição almejado ou a falha propriamente dita. Não há tempo para a preparação de

Figura 10 – Métodos de Manutenção.

Fonte: documentação da pesquisa 2024.

4.2 Aplicação do Lean Seis Sigma

Nesta seção, aplicaremos o Seis Sigma por meio da metodologia DMAIC, em conjunto com a filosofia Lean para analisar o problema em questão. Para tratamento e análise comparativa dos dados, será utilizada o mesmo software adotado pela empresa, Minitab.

4.2.1 Define

Para iniciar a aplicação do Lean Seis Sigma, considera-se a priori a fase Define (definida na seção 2.2.1, capitulo 2), na qual delinearemos o processo a ser aprimorado. Nesse contexto, será empregado o Método DMAIC para reduzir o número de paradas corretivas na frota de caminhões SANY, responsáveis pelo transporte de rejeitos na barragem. Esta etapa é crucial para estabelecer claramente os parâmetros do processo e orientar as ações visando mitigar a elevada variabilidade dos dados associados às manutenções corretivas na frota.

Por meio da matriz SIPOC, uma ferramenta de mapeamento de processos, que visa oferecer uma visão abrangente e estruturada do processo de manutenção corretiva na frota de caminhões SANY, utilizados na empresa. Essa ferramenta desempenha um papel

crucial na definição de elementos fundamentais do processo, fornecendo uma compreensão detalhada de fornecedores, entradas, processos, saídas e clientes envolvidos.

Ao utilizar a matriz SIPOC, almejamos proporcionar uma base sólida para a implementação do DMAIC, facilitando a identificação do escopo do problema e de áreas de oportunidade, pontos de estrangulamento e potenciais melhorias no processo de manutenção corretiva da frota de caminhões SANY. Essa abordagem estruturada permitirá uma implementação eficiente de ações corretivas e preventivas, visando a redução significativa do número de paradas corretivas e, consequentemente, aprimorando a eficiência global do sistema.

SIPOC FORNECEDORES ENTRADAS PROCESSO SAÍDAS CLIENTES Suppliers Process nputs Outputs Customers Inspecionar e avaliar a Ordens de Serviço Inspeção Inspeção programada Analista condição dos sistemas e unidades do equipamento Classificar ordens quanto a Analista Ordens de Serviço Backlog Programador criticidade Planejar e agendar Programador Backlog Plano de Manutenção Aprovisionador manutenções preventivas Disponibilizar material Execução da Manutenção retirado do almoxarifado Peças e materiais para Aprovisionador Almoxarifado manutenção preventiva para execução da Preventiva manutenção Realizar atividades do Manutenção Preventiva Peças e materiais plano de manutenção e Equipamento liberado Operação backlog

Figura 11 – Matriz SIPOC.

Fonte: documentação da pesquisa 2024

Liberação do equipamento

Operação

Execução da Manutenção

Corretiva

Parada não programada

do equipamento

Operação

A partir desse ponto, foram coletados os dados históricos relativos ao número de paradas corretivas semanais, abrangendo o período de junho de 2022 a abril de 2023, formando o baseline. Com base nesse ponto de partida, utilizando essas informações como referência, foi utilizado o software Minitab para gerar um relatório resumo contendo informações estatísticas relevantes sobre o problema em questão.

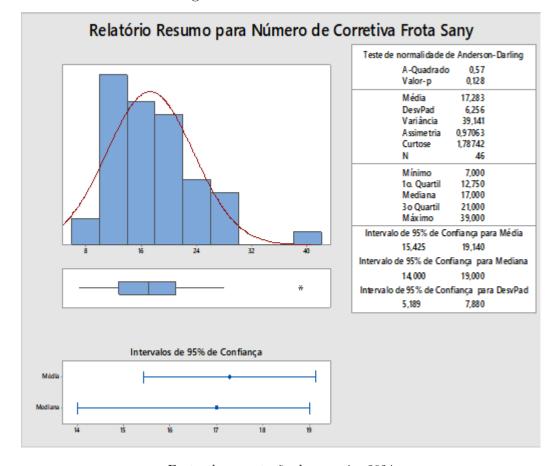


Figura 12 – Relatório Resumo.

Fonte: documentação da pesquisa 2024

No gráfico da Figura 12, observa-se que a média semanal de paradas corretivas para os caminhões Sany é de 17,28. Seguindo a abordagem do primeiro quartil, quanto menor melhor, estabeleceu-se a meta de reduzir o número de manutenções corretivas para 12,75 por semana.

Ao plotar a carta de controle, Figura 13, com a meta de referência, tornou-se evidente que os dados apresentaram uma grande variabilidade durante o período do baseline, ou seja, no período inicial de observação do processo. Isso significa que os resultados do processo estavam muito dispersos em relação à meta estabelecida, indicando uma falta de estabilidade e consistência nos resultados.

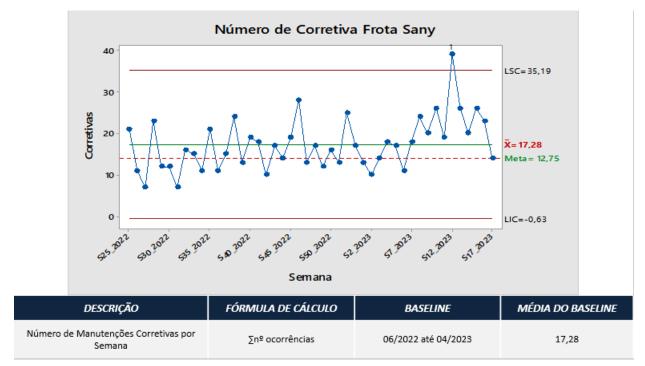


Figura 13 – Carta de Controle.

4.2.2 Measure

Na etapa *Measure* da metodologia DMAIC, o foco principal está na quantificação e avaliação do desempenho atual do processo em relação aos objetivos estabelecidos na fase de definição. Durante esta etapa, são identificadas métricas de desempenho relevantes, dados são coletados de fontes confiáveis e representativas, e a estabilidade e capacidade do processo são analisadas.

O processo é, então, inicialmente avaliado quanto à sua capacidade utilizando o baseline, com o limite superior definido como a meta estabelecida. Por meio do relatório, Figura 14, revela que cerca de 76% dos dados estão fora da meta desejada. Além disso, o relatório de capacidade do processo fornece o Z.Bench, indicando um nível sigma inicial de -0,72.

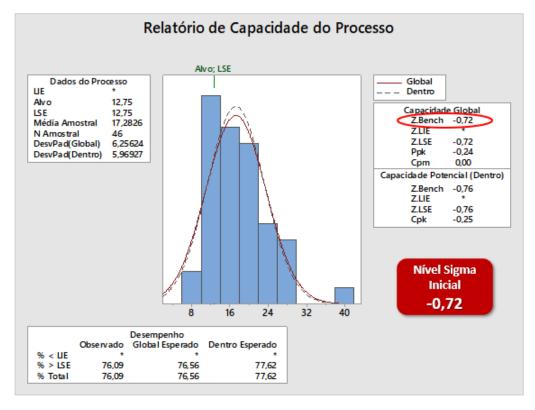


Figura 14 – Capacidade do Processo.

Ainda na fase do *Measure*, foi realizada a estratificação do problema, utilizando ferramentas como a árvore de estratificação mostrada na Figura 15, seguida pela aplicação do gráfico de Pareto.

Transporte de Rejeitos

Sistema Funcional

Componentes

Figura 15 – Árvore de Estratificação.

Fonte: documentação da pesquisa 2024

Como mostrado pela Figura 15, é possível estratificar as paradas corretivas por sistema funcional do equipamento e dentro do sistema funcional é possível classificar por

componentes. A partir dessa observação foi gerado um gráfico de pareto para cada uma dessas estratificações, Figuras 16 e 17.

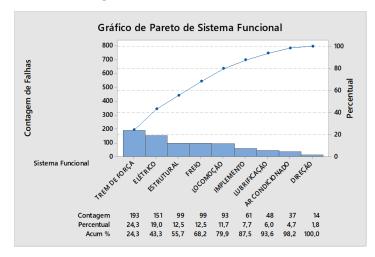


Figura 16 – Sistema Funcional.

Fonte: documentação da pesquisa 2024

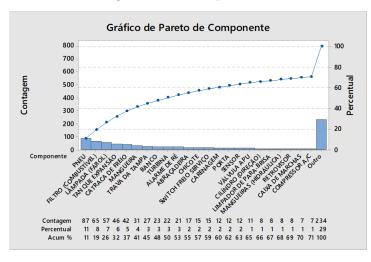


Figura 17 – Componentes.

Fonte: documentação da pesquisa $2024\,$

Observa-se, na Figura 16 que os sistemas trem de força e o sistema elétrico se destacaram com mais de 150 manutenções corretivas no período analisado, porém no geral os dados estão distribuidos de forma sistêmica.

Na estratificação por componentes, Figura 17 destacam-se pneu, filtro de combustível, lâmpada do farol, tanque de expansão e catraca de freio como maiores causadores de paradas indesejadas. Porém esses cinco itens que mais se destacaram correspondem a 37% dos dados totais, concluindo que o problema deve ser abordado de forma geral.

4.2.3 Analyse

Na etapa Analyze do DMAIC, a equipe concentra-se na investigação aprofundada das causas subjacentes aos problemas identificados na fase de medição. Isso é alcançado por meio da aplicação de ferramentas analíticas e técnicas estatísticas para entender melhor as relações entre as variáveis do processo. A equipe começa identificando potenciais causas raiz por meio de ferramentas como o diagrama de Ishikawa (espinha de peixe, Figura 18) que ajuda a visualizar e priorizar os fatores que podem influenciar o desempenho do processo.

MÁQUINA **MEDIÇÃO** MÃO DE OBRA Falha prematura dos filtros de combustível Vazamento na tampa de expansão Baixa qualificação de mão de obra • Falhas de Pneus (manutenção) Equipamento operando em sobrecarga Pino da trava da tampa da báscula · Catraca de freio Junta da turbina Falhas de parafuso do cilindro Mangueira de direção Falhas de parafuso de roda · Mangueira trocador de calor Número de Paradas Corretivas da Frota Sany • Irregularidades na pista Peso do material transportado Ângulos de rotatória inadequados Avaliação inadequada da inspeção Baixa compactação do solo Umidade do material transportado · Atraso na troca de peças Paradas para reparos que não impactam a operação cúmulo de material morto na báscula Inexperiência de operadore: MEIO AMBIENTE MATERIAL MÉTODO

Figura 18 – Diagrama de Ishikawa.

Fonte: documentação da pesquisa 2024

Após uma sessão de brainstorming realizada com a equipe, foram identificadas e listadas todas as possíveis causas relacionadas ao elevado número de paradas corretivas da frota. Durante esse processo, foram enfatizados os pontos que demandam uma atenção mais detalhada e aprofundada. Como por exemplo, a evidência representada pela Figura 19 de um caminhão em condição de atolamento devido a baixa compactação do solo.

Descrição do problema ou desvio:

BARXA COMPACTAÇÃO DO SOLO, CAMINHÃO EM CONDIÇÃO DE ATOLAMENTO

Figura 19 – Condição de operação da pista

Posteriormente, as principais causas elencadas pela equipe foram submetidas à ferramenta dos "5 Porquês" para indentificar a causa raiz de cada uma delas, conforme demonstrado pela Figura 20.

Por Por Por Por quê? Por quê? Causa quê? quê? quê? Falha de Filtro Obstrução do filtro de combustível Baixa eficiência do filtro de Combustível Ângulos de rotatória inadequados e Irregularidades na pista Falha de Pneus baixa compactação do solo Falta de estoque de segurança Falta de fluxo e controle de itens de giro Atraso na troca de pecas Falta de priorização e avaliação inadequado do Elevado número de ordens do Falhas de catraca de freio componente em inspeção componente em extra backlog Falta de aproveitamento em janelas de Falhas que não impactam a oportunidade segurança e operação Falta de controle e acompanhamento de Falhas recorrentes falhas crônicas Trava da tampa da báscula falha operacional Falhas tanque expansão Método inadequado de avaliação Vazamento na tampa de expansão Junta da turbina Quebra do suporte da turbina Falha de produto Falta de controle de material Equipamento operando em sobrecarga transportado

Figura 20 – 5 Porquês.

Fonte: documentação da pesquisa 2024

4.2.4 *Improve*

Na etapa *Improve* da metodologia DMAIC, o foco está na implementação de soluções para resolver os problemas identificados durante as fases anteriores do processo.

Após a análise das causas raiz, a equipe trabalha na geração de soluções viáveis e eficazes. Isso geralmente envolve a realização de *brainstorming* e a avaliação de diferentes abordagens para tratar as questões identificadas.

Uma vez geradas as soluções, elas são avaliadas quanto à sua viabilidade, impacto potencial. As soluções mais promissoras são então selecionadas para implementação. Para cada solução selecionada é desenvolvido um plano de implementação detalhado, que define os responsáveis pela execução e o *status* de cada ação, representado na Figura 21 pelas cores verde o que foi concluído, amarelo o que está em andamento e vermelho as ações pendentes.

Plano de Ação Responsável Classificação Status ATRASO NA TROCA DE ITENS DE GIRO CRIAÇÃO DE UM ESTOQUE DE SEGURANÇA PARA ITENS DE GIRO FALTA DE ESTOQUE DE SEGURANCA PLANEJAMENTO PRIORITÁRIO ALHAS QUE NÃO IMPACTAM SEGURANÇA E CRIAR DONT GO (PARA OU NÃO PARA) PRIORITÁRIO FALTA DE APROVEITAMENTO EM JANELAS DE OPORTUNIDADE PLANEJAMENTO OPERAÇÃO BAIXA EFICIÊNCIA DOS FILTROS DE COMBUSTÍVEI ELEVADO NÚMERO DE ORDENS EXTRA BACKLOG DE ITENS DE CATRACA DE FREIO FALHAS DE CATRACA DE FREIO REAVALIAR MÉTODOS DE INSPEÇÃO PARA CATRACA DE FREIO FALHA NA PRIORIZAÇÃO DE ORDENS CRÍTICAS E AVALIAÇÃO DOS COMPONENTES EM INSPEÇÃO ANALISTA COMPLEXO REAVALIAR MÉTODO DE INSPEÇÃO PARA TANQUE DE EXPANSÃO TANQUE DE EXPANSÃO VAZAMENTO TAMPA DO TANQUE DE EXPANSÃO FALTA DE CONTROLE E ACOMPANHAMENTO DAS FALHAS REPETITIVAS FALHAS RECORRENTES ACOMPANHAMENTO FOLLOW UP PLANEJAMENTO VER E AGIR BADA COMPACTAÇÃO DO SOLO IRREGULARIDADES NA PISTA AVALIAR CONDIÇÃO E ACOMPANHAR ADEQUAÇÃO DAS VIAS COMPLEXO FALHA DE PNEUS OPERAÇÃO ÂNGULOS DE ROTATÓRIA INADEQUADOS EQUIPAMENTO OPERANDO EM SOBRECARGA INSTALAÇÃO DE UMA BALANÇA COMPLEXO TRAVA TAMPA DA BÁSCULA OPERAR SEM A TAMPA OPERAÇÃO VER E AGIR FALHA OPERACIONAL REALIZAR ANÁLISE DE FALHA E SUBSTITUIR MODELO DO JUNTA DA TURBINA QUEBRA DO SUPORTE DE FIXAÇÃO DO COMPONENTE

Figura 21 – Plano de Ação.

Fonte: documentação da pesquisa 2024

Após a identificação e avaliação das soluções propostas quanto a sua complexidade, estas foram submetidas a uma análise mais aprofundada, utilizando a matriz de esforço-impacto, visualizado na Figura 22. Esta ferramenta analítica permite classificar as soluções com base em dois critérios principais: o esforço necessário para implementação e o impacto esperado sobre o problema identificado. Tal abordagem proporciona uma estrutura objetiva para priorizar as soluções, dando maior ênfase às que demandam menos esforço e proporcionam o maior impacto positivo. Essa classificação é fundamental para a alocação eficiente de recursos e a definição de uma estratégia de implementação que maximize os benefícios obtidos com as melhorias propostas.

ALTO BAIXO
COMPLEXOS DESCARTAR

AVALIAR CONDIÇÃO E
ADEQUAÇÃO DAS VIAS

TROCAR FILTRO DE
COMBUSTÍVEL

REAVALIAR MÉTODOS DE
INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO
PARA CATRACA DE FREIO E
TANQUE EXPANSÃO

PRIORITÁRIOS

CRIAÇÃO DO ESTOQUE DE
SEGURANÇA

CRIAÇÃO DONT GO
SUBSTITUIR MODELO DO
SUPORTE DA JUNTA DA
TURBINA

IMPACTO

BAIXO

VER E AGIR

ACOMPANHAMENTO FOLLOW
UP

OPERAR SEM A TAMPA DA
BÁSCULA

Figura 22 – Matriz Esforço x Impacto.

Foram implementadas diversas ações visando aprimorar o desempenho e a eficiência das operações no setor de manutenção. Uma das iniciativas foi a realização de melhorias nas pistas da barragem, conforme demonstrado pela Figura 23 visando garantir condições ideais para o transporte equipamentos, promovendo assim a segurança e a fluidez das atividades operacionais. Além disso, foi desenvolvido e implementado um documento padronizado que define claramente os critérios para paradas imediatas e estabelece diretrizes sobre quais situações podem aguardar uma janela de oportunidade para reduzir o tempo de inatividade não planejado, mostrado pela Figura 24.



Figura 23 – Melhorias na pista

Fonte: documentação da pesquisa 2024

PROJETO CONTROLE DE PARADAS - "PARA OU NÃO PARA" Condição Situação Status Inicial Proposto Tratamento (Operação) Manter o equipamento em operação e solicitar reparo em janela de oportunidade. Caso não seja substituído até as 17:00 realizar a parada do equipar Durante o dia Operação Durante a noite Manutenção Comunicar a CIM e solicitar o reparo de imediato Sob neblina Manutenção Comunicar a CIM e solicitar o reparo de imediato Comunicar a CIM e solicitar o reparo de imediato Manutenção Manter o equipamento em operação ela de oportunidade. Caso não seja substituído até as 17:00 realizar a parada do e Durante o dia Durante a noite Manutenção Comunicar a CIM e solicitar o reparo de imediato Farol alto não funciona (até 1 farol) Chovendo de dia Manutenção Comunicar a CIM e solicitar o reparo de imediato Comunicar a CIM e solicitar o reparo de imediato Neblina de dia Manutenção Manter o equipamento em operação e solicitar reparo em janela de oportunidade. Caso não seja substituído até as 17:00 realizar a parada do equ Farolete não funciona Durante o dia Operação Em qualquer situação Manutenção Durante o dia Comunicar a CIM e solicitar o reparo de imediato Manutenção À noite Manutenção Comunicar a CIM e solicitar o reparo de imediato Duas não funcionam Comunicar a CIM e solicitar o reparo de imediato Manutenção

Figura 24 – Projeto para ou não para

4.2.5 Control

Na etapa *Control* da metodologia DMAIC, o foco está na implementação de medidas para garantir que as melhorias realizadas durante o projeto sejam sustentáveis e que o processo continue a operar de forma eficaz a longo prazo. Dessa forma, serão apresentadas evidências concretas que atestam a implementação das ações visando benefícios a longo prazo no processo de manutenção. Foi realizado o cadastro dos itens para o estoque de segurança no sistema, conforme se observa na Figura 25.

Durante esta fase, são estabelecidos sistemas de monitoramento e controle para acompanhar regularmente o desempenho do processo e garantir que ele permaneça dentro dos parâmetros desejados. Além disso, foi desenvolvido um relatório para acompanhamento diário das ocorrências, permitindo uma análise precisa das atividades realizadas e das situações que demandam intervenção, representado na Figura 26.

Essas medidas representam um compromisso com a sustentabilidade das melhorias implementadas, assegurando que os processos de manutenção sejam conduzidos de forma eficiente e que os resultados alcançados perdurem no tempo.

Figura 25 – Cadastro dos itens para estoque de segurança

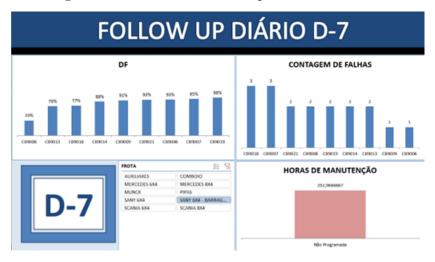


Figura 26 – Relatório de acompanhamento diário

Fonte: documentação da pesquisa 2024

São realizadas avaliações do desempenho do processo para verificar se as melhorias implementadas estão gerando os resultados esperados. Caso sejam identificados quaisquer desvios ou problemas, são feitos ajustes nos planos de controle para garantir que as metas e objetivos sejam alcançados.

Após a execução das medidas de melhoria, foi plotada a carta de controle, Figura 27, visando comparar o desempenho do processo no estágio inicial do baseline com o estágio subsequente do projeto onde as melhorias começaram a ser implementadas, que compreende dados até novembro de 2023. Este método analítico permite uma avaliação sistemática do progresso alcançado e aferição da eficácia das intervenções realizadas. Ao contrastar os dados obtidos antes e após a implementação das melhorias, é possível identificar eventuais

reduções na variabilidade do processo, visto que a média de ocorrências semanais caíram de 17,28 para 15,84 .

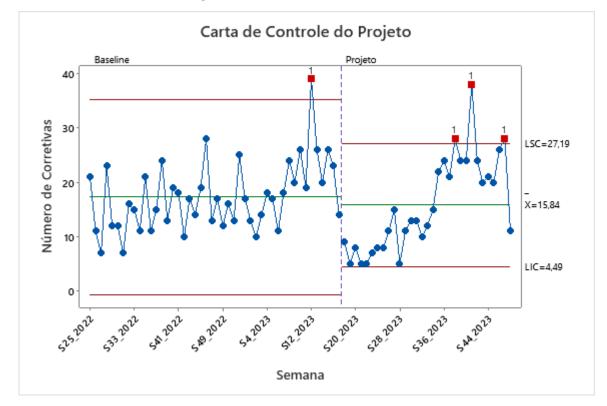


Figura 27 – Carta de Controle final.

Fonte: documentação da pesquisa 2024

Finalmente, um relatório de capacidade do processo foi compilado, Figura 28, destacando uma notável redução na variabilidade. É notável que a proporção de dados ultrapassando o limite superior predefinido diminuiu de 76% para 64%.

Ademais, é imprescindível atentar para o nível Sigma do projeto, que inicialmente estava registrado em -0,72 e, após a implementação das intervenções, evoluiu para -0,36, obtendo um aumento de 50% referente ao nível inicial. Este indicador é fundamental na avaliação da performance do processo, representando a quantidade de desvios padrão entre o limite de especificação e a média do processo.

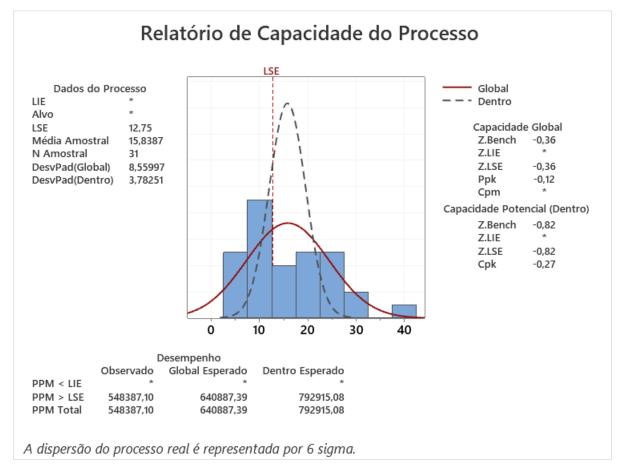


Figura 28 – Capacidade do Projeto.

4.3 Discussão dos Resultados

O trabalho de implementação do Lean Six Sigma para redução do número de paradas corretivas de caminhões Sany revelou uma série de insights importantes sobre o processo de operação e manutenção dos equipamentos. Uma das observações significativas é a redução da variabilidade do processo, o que sugere uma maior consistência e estabilidade nas operações. Além disso, a porcentagem de dados que estavam fora do limite especificado diminuiu de 76% para 64%, indicando uma melhoria na conformidade com as metas estipuladas.

No entanto, apesar dessas melhorias, o nível Sigma inicial de -0,72 aumentou para apenas -0,36 após a implementação das melhorias, representando um aumento de 50%, indicando uma redução nos desvios do processo, comparado com o estágio inicial. Esse resultado sugere que, embora tenha havido progresso, ainda há espaço para melhorias adicionais. A conclusão de que a meta não foi alcançada no período analisado é crucial, especialmente devido à constatação de que algumas das principais ações demandavam um prazo mais longo para produzir resultados significativos.

É importante destacar que muitas das paradas corretivas foram atribuídas às condições da área de operação, como baixa compactação do solo e irregularidades na pista, fatores que exigiam muito dos caminhões e ocasionavam a maioria das falhas. Essa constatação ressalta a necessidade de abordagens de melhoria que se concentrem em questões estruturais de longo prazo, em vez de soluções imediatas.

A presença do Lean Manufacturing também foi identificada como um fator relevante, evidenciando desperdícios em várias áreas, Figura 29. A identificação e correção desses desperdícios, como falta de um estoque de segurança evidenciado pelo atraso na troca de giro que ocasionavam no aumento de MTTR e na redução do MTBF. Desperdício de espera e movimentação desnecessária representado por paradas do equipamento que não impactavam na operação e na segurança do operador, podendo ser feita em conjunto com uma parada mais crítica em uma janela de oportunidade, para isso foi criado um documento padronizado do que é ou não motivo de parada imediata do equipamento. Além de defeitos de produto identificados, por exemplo, a substituição de filtros de combustível por modelos mais duráveis e eficientes e a atualização do suporte de fixação da junta da turbina demonstram uma abordagem proativa para reduzir defeitos e aumentar a confiabilidade do equipamento.

Figura 29 – Quadro de Desperdícios.

Desperdício	Por que é um desperdício?	Ação
Estoque	espera prolongada pela chegada de peças que são utilizadas com uma maior frequência.	Criação do estoque de segurança
Tempo de espera excessivo		
	Caminhão desloca para a oficina por motivos que não interferem na operação nem na segurança do operador.	Criação do projeto "Para ou Não Para"
Movimentações desnecessárias		
Defeitos	Falhas de produtos identificadas em alguns componentes.	Troca dos componentes por modelos mais eficientes

Fonte: documentação da pesquisa 2024

Em suma, o trabalho de *Lean Six Sigma* para redução de paradas corretivas dos caminhões Sany proporcionou uma visão abrangente das oportunidades de melhoria no processo de operação e manutenção. Embora tenham sido alcançados progressos

significativos, há espaço para contínuas análises e aprimoramentos visando à otimização do desempenho operacional e à redução de custos a longo prazo.

5 Considerações finais

Ao longo deste trabalho, uma revisão bibliográfica abrangente foi conduzida, explorando temas fundamentais no contexto da gestão da manutenção. Os conceitos de *Lean Manufacturing*, *Seis Sigma* e a importância da integração dessas metodologias foram examinados em detalhes. Essa análise proporcionou *insights* valiosos sobre como abordagens enxutas e a redução de variações podem contribuir para a eficiência dos processos de manutenção.

Destacou-se a relevância de adotar uma abordagem integrada que capitalize os pontos fortes do *Lean Manufacturing* e do Seis *Sigma*. A combinação dessas metodologias pode resultar em melhorias significativas nos processos de manutenção, promovendo a eficácia operacional e a maximização dos recursos disponíveis.

A aplicação prática do *Lean Seis Sigma* em um estudo de caso real foi fundamental para evidenciar a eficácia dessas metodologias na identificação e resolução de problemas. Além disso, a otimização de processos alcançada por meio dessa abordagem demonstrou sua relevância e aplicabilidade tangível no ambiente organizacional.

Considerando as análises detalhadas realizadas ao longo deste trabalho, é possível chegar a algumas considerações finais relevantes. Inicialmente, é importante ressaltar os avanços significativos alcançados na redução do número de paradas corretivas dos caminhões Sany por meio da aplicação das metodologias *Lean Six Sigma*. A implementação de melhorias resultou em uma redução da variabilidade do processo e uma diminuição na proporção de dados fora dos limites especificados, indicando uma maior consistência e conformidade com as metas estabelecidas.

No entanto, apesar desses progressos, é essencial reconhecer que a meta inicialmente estipulada não foi plenamente alcançada no período analisado. Este resultado pode ser atribuído, em parte, à natureza complexa e multifacetada das causas subjacentes às paradas corretivas dos caminhões, muitas das quais demandam intervenções de longo prazo para serem totalmente resolvidas. Portanto, sugere-se que o foco em soluções de curto prazo pode não ser suficiente para abordar de forma abrangente e eficaz os desafios enfrentados.

Em resumo, embora tenham sido alcançados progressos significativos, este trabalho destaca a necessidade de uma abordagem multifacetada e de longo prazo para enfrentar os desafios complexos associados à operação e manutenção dos caminhões Sany. A permanência dos esforços de melhoria contínua, aliada a uma compreensão mais aprofundada das causas subjacentes aos problemas identificados, é essencial para garantir um desempenho operacional otimizado e sustentável no longo prazo.

Conclui-se, portanto, que a integração do Lean Manufacturing com o Seis Sigma, aliada a uma gestão eficiente da manutenção, pode ser uma estratégia poderosa para alcançar a excelência operacional. Considerando as conclusões deste estudo, recomenda-se explorar ainda mais as possibilidades de implementação dessas metodologias em diferentes contextos organizacionais para impulsionar continuamente o aprimoramento do desempenho e a competitividade.

Referências

ALMEIDA, Paulo Samuel. Gestão da Manutenção Aplicado às Áreas Industrial, Predial e Elétrica. Saraiva Educação SA, 2018. Citado 1 vez na página 24.

BRANCO FILHO, Gil. A organização, o planejamento eo controle da manutenção. Ciência Moderna, 2008. Citado 1 vez na página 23.

BRANDÃO, Tiago. OS OITO DESPERDÍCIOS DO LEAN MANUFACTURING. 2020. https://celerate.com.br/os-oito-desperdicios-do-lean-manufacturing/. [Accessed 03-04-2024]. Citado 0 vez na página 16.

CAMPOS, Cesar Augusto de; RODRIGUES, Marcos; OLIVEIRA, Rodrigo Sacarto. Lean manufacturing: produção enxuta. *Revista Científica e-Locução*, v. 1, n. 10, p. 18–18, 2016. Citado 1 vez na página 17.

COUTINHO, Thiago. Aprenda a atender às expectativas do cliente sabendo a Capabilidade do Processo! [Accessed 20-02-2024]. Voitto. Nov. 2020. Disponível em: https://www.voitto.com.br/blog/artigo/capabilidade-do-processo. Citado 1 vez na página 22.

COUTINHO, Thiago. Entenda o que é o Just in Time e como esse método pode otimizar seus processos. [Accessed 17-02-2024]. Voitto. Jan. 2021. Disponível em: https://www.voitto.com.br/blog/artigo/just-in-time. Citado 1 vez na página 14.

ENGEMAN. RCM - Manutenção Centrada na Confiabilidade. 2017. https://blog.engeman.com.br/manutencao-confiabilidade/o-que-e-a-manutencao-centrada-em-confiabilidade. [Accessed 16-02-2024]. Citado 1 vez na página 26.

EPRCONSULTORIA. CARTA DE CONTROLE: CONHEÇA VANTAGENS E APRENDA A ELABORAR A SUA. 2023. https://eprconsultoria.com.br/carta-de-controle/. [Accessed 19-02-2024]. Citado 1 vez na página 20.

FONTELLES, Mauro José. Metodologia da pesquisa científica: diretrizes para a elaboração de um protocolo de pesquisa. 2009. https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-588477. [Accessed 20-12-2023]. Citado 1 vez na página 27.

GABRIEL, Maiane. Matriz impacto x esforço x amor: como priorizar tarefas sem prejudicar pessoas. 2022. https://sheisacreative.com.br/blog/matriz-impacto-esforco-amor. [Accessed 19-02-2024]. Citado 1 vez na página 22.

JEISON. Diagrama de Ishikawa: o que é e como usar? 2018. https://blogdaqualidade.com.br/diagrama-de-ishikawa-2/. [Accessed 19-02-2024]. Citado 1 vez na página 20.

KARDEC, Allan; NASCIF, Júlio. *Manutenção-função estratégica*. Qualitymark Editora Ltda, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 22, 25.

Referências 52

LIKER, Jeffrey K. O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo. Bookman Editora, 2021. Citado 1 vez na página 17.

MANI, Graziele Moro; PÁDUA, Fabiana Serralha Miranda de. Lean seis sigma. Revista Interface Tecnológica, v. 5, n. 1, p. 115–126, 2008. Citado 1 vez na página 11.

MATSUMOTA, Leonardo. O Roteiro DMAIC na Melhoria dos Processos – Six Sigma – Parte I. 2020. https://leonardo-matsumota.com/2020/05/27/o-roteiro-dmaic-na-melhoria-dos-processos-six-sigma-parte-i/. [Accessed 17-02-2024]. Citado 0 vez na página 19.

MORO, Norberto. *Introdução à gestão da manutenção*. 2007. https://norbertocefetsc.pro.br/downloads/manutencao.pdf. [Accessed 20-02-2024]. Citado 1 vez na página 25.

PACHECO, Diego Augusto de Jesus. Teoria das Restrições, Lean Manufacturing e Seis Sigma: limites e possibilidades de integração. *Production*, SciELO Brasil, v. 24, p. 940–956, 2014. Citado 1 vez na página 11.

PEDRA, Davi. Diagrama de Pareto: o que é, quais os benefícios e como usá-lo? 2024. https://www.siteware.com.br/blog/metodologias/como-fazer-diagrama-de-pareto/. [Accessed 19-02-2024]. Citado 1 vez na página 19.

RABELLO, Guilherme. *Metodologia 5 porquês: descubra a causa real dos problemas.* 2024. https://www.siteware.com.br/blog/metodologias/metodologia-5-porques/. [Accessed 19-02-2024]. Citado 1 vez na página 21.

RIBEIRO, Danilo Ribamar Sá; FORCELLINI, Fernando Antônio o; PEREIRA, Milton. Mapeamento do Fluxo de Valor da Manutenção como ferramenta útil para implementação de Lean Maintenance: estudo de caso em um setor de injeção de uma empresa de termoplásticos. *JOURNAL OF LEAN SYSTEMS*, v. 5, n. 1, p. 47–66, 2020. Citado 1 vez na página 16.

ROTHER, Mike; SHOOK, John. Learning to see: value stream mapping to add value and eliminate muda. Lean enterprise institute, 2003. Citado 1 vez na página 15.

SANTOS, Virgilio F.M. dos. SIPOC: aprenda como melhorar seus processos com a ferramenta. 2015. https://www.fm2s.com.br/blog/como-fazer-um-sipoc. [Accessed 19-02-2024]. Citado 1 vez na página 19.

SANY. SANY. Fev. 2024. Disponível em: https://sanydobrasil.com/. Citado 0 vez na página 32.

SELEME, Robson. *Manutenção industrial*. ed. Curitiba: Intersaberes, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 24, 25.

SILVA, Heloiza da. *PCM:* o que é, como funciona e como fazer o controle. 2024. https://www.produttivo.com.br/blog/pcm-planejamento-controle-da-manutencao. [Accessed 18-03-2024]. Citado 1 vez na página 24.

Referências 53

SOARES, Vitor. Diagrama de Ishikawa: o que é, para que serve e como usar. 2022. https://www.napratica.org.br/diagrama-de-ishikawa/. [Accessed 22-04-2024]. Citado 0 vez na página 21.

SOCCONINI, Luis. Lean manufacturing. Paso a paso. Marge books, 2019. Citado 1 vez na página 14.

souza, José Barrozo de et al. Alinhamento das estratégias do planejamento e controle da manutenção (PCM) com as finalidades e funções do planejamento e controle da produção (PCP): uma abordagem analítica. *Ponta Grossa-Paraná: UTFPR*, 2008. Citado 1 vez na página 23.

TRAD, Samir; MAXIMIANO, Antonio Cesar Amaru. Seis sigma: Fatores críticos de sucesso para sua implantação. *Revista de administração contemporânea*, SciELO Brasil, v. 13, p. 647–662, 2009. Citado 1 vez nas páginas 17, 18.

WERKEMA, Cristina. Lean seis sigma. Elsevier Brasil, 2011. Citado 3 vezes nas páginas 14, 17, 18.

WOMACK, James P. A máquina que mudou o mundo. Gulf Professional Publishing, 2004. Citado 0 vez na página 15.

XENOS, Harilaus G. Gerenciando a manutenção produtiva. Belo Horizonte: Editora de desenvolvimento gerencial, v. 171, 1998. Citado 2 vezes nas páginas 22, 23.