



UFOP

Universidade Federal
de Ouro Preto



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia de Minas
Curso de Graduação em Engenharia de Minas



Thaís de Souza Pereira

**O USO DE FERRAMENTAS DA QUALIDADE NA MELHORIA DOS PROCESSOS
EM MINERADORAS**

Ouro Preto

2023

Thaís de Souza Pereira

**O USO DE FERRAMENTAS DA QUALIDADE NA MELHORIA DOS
PROCESSOS EM MINERADORAS**

Monografia de conclusão de curso para obtenção do grau de Engenheira de Minas na Universidade Federal de Ouro Preto, defendida e aprovada em 16 de agosto de 2023, como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheira de Minas.

Área de concentração: Lavra de Minas

Orientadora: Prof.^a Dra. Rita de Cássia Pedrosa Santos

Ouro Preto

2023

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

P436u Pereira, Thais de Souza.

O uso de ferramentas da qualidade na melhoria dos processos em mineradoras. [manuscrito] / Thais de Souza Pereira. - 2023.
60 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientadora: Profa. Dra. Rita de Cássia Pedrosa Santos.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Minas .

1. Lavra de minas. 2. Gestão da qualidade. 3. Processos - Minas e mineração. 4. Controle de qualidade. I. Santos, Rita de Cássia Pedrosa. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 622.012:658.562

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



FOLHA DE APROVAÇÃO

Thais de Souza Pereira

O uso de ferramentas da qualidade na melhoria dos processos em mineradoras.

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira de Minas.

Aprovada em 16 de agosto de 2023.

Membros da banca

Dra. Rita de Cassia Pedrosa Santos - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)
Eng. Minas Bruna de Oliveira Teodoro - Membro externo (Empresa Nexa)
Dr. José Fernando Miranda - Universidade Federal de Ouro Preto

Rita de Cassia Pedrosa Santos, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 24/08/2023.



Documento assinado eletronicamente por **Rita de Cassia Pedrosa Santos, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 29/08/2023, às 11:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0582436** e o código CRC **7FB7515A**.

À Luciene, por todo incentivo, carinho, paciência e amor durante toda a minha vida.

À Thainá, por me apoiar e amparar, como melhor amiga, em todos os momentos.

Aos meus amigos, por sempre estarem presentes e tornarem a caminhada mais leve.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Prof.^a Dr.^a Rita de Cássia Pedrosa Santos pela orientação, disponibilidade, carinho e dedicação em ensinar e acompanhar com zelo este trabalho.

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto Pereira e à Prof.^a Dr.^a Franciele Câmara Nogueira, por todo o carinho, acolhimento, conselhos e conhecimentos compartilhados. Ao Prof. Dr. Hernani Mota de Lima, por toda a parceria desde o primeiro semestre, me motivando durante todo o curso, e por todo ensinamento. À Prof.^a Dr.^a Marina Medeiros Machado, por ter despertado em mim o interesse pela ciência. Obrigada pela disposição e, carinho e paciência!

Ao Projeto Cantaria, ao Laboratório de Plasma da UFOP, ao Crea Jr – MG Núcleo Ouro Preto, à CNPq e à Fundação Gorceix por todo apoio e preparação. À Nexa Resources Vazante e às áreas de Excelência Operacional, Planejamento de Mina e Gestão de Contratos, por formarem como profissional. Em especial, Erica Paterno, Fernando Discacciati, Fabrício Matoso e Mirian Alves, que tanto me ensinaram.

Ao 17.1, por toda jornada que percorremos juntos. Às Brinks, em especial Cacau, Isa, Nana e Rafinha, que se tornaram minha família e meu lar em Ouro Preto. Aos amigos que me acompanham nessa jornada e ficaram para a vida: Bruna T., Inkoma, Gabi, Gabriel, Lívia, Lucas, Rods e às caóticas. Muito obrigada a todos vocês pelos momentos de alegria, companheirismo e, principalmente, por acreditarem em mim quando eu não acreditava.

Aos meus avós, Ilma Martins e Wilmar Nunan (*in memoriam*), por todo cuidado e carinho em todos os momentos da minha vida. Sem o apoio e amor incondicional de vocês eu não teria conseguido.

Por fim, agradeço à Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, pioneira em estudos geológicos, mineralógicos e metalúrgicos, pela formação extraordinária e por me permitir essa conquista!

RESUMO

A mineração tem um papel essencial na economia, fornecendo matérias-primas para diversos setores industriais, porém enfrenta desafios para otimizar as operações e maximizar os resultados. Assim, essa revisão bibliográfica aborda a aplicação de ferramentas da qualidade para melhoria da performance na operação de mina, lavra e beneficiamento. Os resultados dos estudos de caso mostram que variadas ferramentas da qualidade ajudam na resolução de problemas, sempre usadas em conjunto. Mostram também que as metodologias DMAIC e PDCA agem como direcionadores essenciais para a definição de metas e no alcance de resultados. Dessa forma, as ferramentas de qualidade se mostram um ótimo instrumento para a melhoria da performance de diversas áreas, redução de custos e aumento de segurança e sustentabilidade na mineração.

Palavras-chave: Gestão da qualidade. Redução de custos. Performance. Ferramentas da qualidade. Melhoria contínua.

ABSTRACT

Mining plays a crucial role in the economy, providing raw materials for various industrial sectors. However, it faces challenges in optimizing operations and maximizing results. Therefore, this literature review addresses the application of quality tools to enhance performance in mining operations, extraction, and beneficiation. The results of case studies demonstrate that diverse quality tools aid in problem-solving when used together. They also reveal that DMAIC and PDCA methodologies act as essential drivers in goal setting and achieving outcomes. Thus, quality tools prove to be excellent instruments for enhancing performance across different areas, reducing costs, and increasing safety and sustainability in mining.

Keywords: Quality management. Cost reduction. Performance. Quality tools. Continuous improvement.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - FASES DO CICLO PDCA	8
FIGURA 2 - HORAS DE TRABALHO GASTAS SEM PDCA VS COM PDCA	9
FIGURA 3 - DIAGRAMA SIPOC.....	12
FIGURA 4 - EXEMPLO DE SIPOC.....	13
FIGURA 5 - EXEMPLO DA MATRIZ ESFORÇO X IMPACTO	14
FIGURA 6 - EXEMPLO DE HISTOGRAMA	16
FIGURA 7 - EXEMPLO DE GRÁFICO DE PARETO	17
FIGURA 8 - EXEMPLO DE CARTA DE CONTROLE.....	18
FIGURA 9 - EXEMPLO DE CORRELAÇÕES NO DIAGRAMA DE DISPERSÃO	19
FIGURA 10 - DIAGRAMA DE ISHIKAWA – CAUSAS PARA O TEMPO ELEVADO E PROCURA DE DOCUMENTOS.....	22
FIGURA 11 - BOXPLOT.....	26
FIGURA 12 - MAPA DO PROCESSO DE EXPEDIÇÃO DE OFÍCIO DE DILIGÊNCIA	29
FIGURA 13 - DISTRIBUIÇÃO NORMAL DE DADOS DE FORMA IDEALIZADA.....	30
FIGURA 14 - GRÁFICO SEQUENCIAL DO DÓLAR AMERICANO AO REAL BRASILEIRO	31
FIGURA 15 - ESTRATIFICAÇÃO DOS PROBLEMAS DE IMPRODUTIVIDADE NO SISTEMA DE TRANSPORTE MINA-USINA DE BENEFICIAMENTO.....	35
FIGURA 16 - RESULTADOS DOS PRINCIPAIS MOTIVOS DE PARADA NO SISTEMA DE PRODUÇÃO ROTA MINA-USINA.....	35
FIGURA 17 - FERRAMENTAS DE QUALIDADE UTILIZADAS NO PROJETO 6SIGMA.....	41
FIGURA 18 - DIAGRAMA DE CAUSAS DA VARIABILIDADE NO TEOR DE SiO_2	42
FIGURA 19 - PERFIL DO INDICADOR ADERÊNCIA ANTES E DEPOIS DO INÍCIO DO PROJETO, MARCADO PELA LINHA EM VERDE. .	43
FIGURA 20 - DIAGRAMA DE ISHIKAWA DA CONCENTRAÇÃO DE Ca(OH)_2	44
FIGURA 21 - GRÁFICO DE DISPERSÃO PARA OS OPERADORES O E C.....	45

FIGURA 22 – METRAGEM REALIZADA X PLANEJADA DA MINERAÇÃO CARAÍBA SA46

FIGURA 23 - GRÁFICO DE PARETO DAS CAUSAS DO ATRASO NO DESENVOLVIMENTO47

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - 7 DESPERDÍCIOS DO LEAN IDENTIFICADOS POR OHNO.....	10
TABELA 2 - FASES DO DMAIC	11
TABELA 3 - ETAPAS DO BRAINSTORMING	20
TABELA 4 - FOLHA DE VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DE UM LOTE DE LÂMPADAS.....	21
TABELA 5 - CONCEITO DOS FATORES AVALIATIVOS DA MATRIZ GUT	23
TABELA 6 - PARÂMETROS DA MATRIZ GUT	24
TABELA 7 - EXEMPLO DA APLICAÇÃO DA MATRIZ GUT.....	24
TABELA 8 - MATRIZ BASICO.....	25
TABELA 9 - EXEMPLO MATRIZ BASICO	25
TABELA 10 - DESCRIÇÃO DO 5W2H	27
TABELA 11 - EXEMPLO DE UMA AÇÃO NO MODELO 5W2H	28
TABELA 12 - PROJETO DE REDUÇÃO DE CUSTO OPERACIONAL COM PNEUS	37
TABELA 13 – PROJETO DE AUMENTO DE PRODUÇÃO NO TRANSPORTE POR CAMINHÕES.....	37
TABELA 14 - PROJETO DE AUMENTO DE PRODUÇÃO NO TRANSPORTE POR CORREIAS TRANSPORTADORAS	38
TABELA 15 - RELAÇÃO DAS FERRAMENTAS UTILIZADAS NOS ESTUDOS DE CASO.....	48
TABELA 16 - GANHOS EXPRESSOS POR ESTUDO DE CASO.....	50

LISTA DE SIGLAS

5W2H - *Who? What? Where? When? Why? How? How Much?*

6S – Seis Sigma

CEP – Controle estatístico do processo

DDS – Diálogo Diário de Segurança

DF – Disponibilidade Física

DMAIC – *Define, Measure, Analyze, Improve, Control*

DMT – Distância Média de Transporte

GUT – Gravidade, Urgência e Tendência

ISO – *International Organization for Standardization*

K-S – *Kolmogorov-Smirnov*

LIC – Limite inferior de controle

LSC – Limite superior de controle

PDCA – *Plan, Do, Check, Act*

ROM – *Run of Mine*

SGQ – Sistema de Gestão da Qualidade

SIPOC – *Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Clients*

SWOT – *Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*

S-W – *Shapiro-Wilk*

TQM – *Total Quality Management*

t/dia – Toneladas por dia

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	III
RESUMO	I
ABSTRACT	II
LISTA DE FIGURAS	III
LISTA DE TABELAS	V
LISTA DE SIGLAS	VI
SUMÁRIO	VII
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO.....	2
2.1. Objetivo principal	2
2.2. Objetivos específicos.....	2
3. JUSTIFICATIVA.....	3
4. METODOLOGIA	4
4.1. Metodologia aplicada à revisão bibliográfica.....	4
4.2. Metodologia aplicada aos estudos de caso	4
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
5.1. Gestão da Qualidade	7
5.2. Ferramentas de qualidade	7
5.2.1. Ciclo PDCA	8
5.2.2. Metodologia Lean Seis Sigma.....	10
5.2.3. SIPOC	12
5.2.4. Matriz Esforço vs. Impacto.....	13
5.2.5. Benchmarking.....	14
5.2.6. Estratificação	15
5.2.7. Histograma	15
5.2.8. Diagrama de Pareto.....	17
5.2.9. Cartas de controle	18
5.2.10. Diagrama de dispersão.....	18

5.2.11.	Brainstorming.....	20
5.2.12.	Folha de verificação.....	21
5.2.13.	Diagrama de Ishikawa	22
5.2.14.	Matriz de Priorização	23
5.2.15.	BoxPlot	26
5.2.16.	5W2H.....	27
5.2.17.	Fluxograma.....	28
5.2.18.	Teste de normalidade.....	29
5.2.19.	Gráfico sequencial.....	30
5.2.20.	Metodologia Line Up.....	31
6.	ESTUDOS DE CASO	33
6.1.	Ferramentas de melhoria aplicadas em equipamentos da mina.....	33
6.1.1.	Estudo de Caso 1	33
6.1.2.	Estudo de Caso 2	36
6.1.3.	Estudo de Caso 3	39
6.2.	Ferramentas de melhoria aplicadas no processamento mineral.....	40
6.2.1.	Estudo de Caso 4	40
6.2.2.	Estudo de Caso 5	43
6.3.	Ferramentas de melhoria aplicadas na lavra	46
6.3.1.	Estudo de Caso 6	46
6.4.	Resultados	48
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51
8.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	52
	REFERÊNCIAS.....	53

1. INTRODUÇÃO

A mineração tem um papel importante na economia, fornecendo matérias-primas para diversos setores industriais. Assim como outros seguimentos, o setor enfrenta desafios com a eficiência operacional, segurança, sustentabilidade e qualidade de processos, sendo obrigado a otimizar as operações e maximizar os resultados.

Nesse cenário, ter um sólido sistema de gestão da qualidade na empresa, com os colaboradores treinados para utilizarem de ferramentas de controle da qualidade para melhorar o desempenho e os processos têm se mostrado promissor. A eficácia das ferramentas de gestão é amplamente reconhecida em vários setores, inclusive na mineração, porém pouco explorada e discutida na área acadêmica das engenharias com base nas ementas das universidades.

Apesar dessa lacuna, as mineradoras têm se beneficiado expressivamente com a implementação dessas ferramentas. Assim, elas promovem melhorias na eficiência dos processos, na qualidade dos produtos e serviços, na segurança operacional e no gerenciamento dos recursos naturais.

Dessa forma, o objetivo desse trabalho é aprofundar os conhecimentos nas ferramentas de qualidade que podem ser aplicadas na rotina da mineração, promovendo melhoria da performance nas áreas de operação de mina, lavra e beneficiamento. Ao fazer isso, busca-se conhecer as diversas aplicabilidades dessas ferramentas para alcançar maior produtividade ou redução de custos, além da organização e controle de variáveis importantes no processo.

Espera-se que com esse trabalho seja possível identificar os padrões de ferramentas melhores aplicáveis às áreas propostas. Além disso, espera-se preparar futuros profissionais da Engenharia de Minas para enfrentar os desafios do mercado. Dessa forma, eles terão boa perspectiva de como implementar melhorias no processo e contribuir para o desenvolvimento sustentável da indústria minerária.

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo principal

Reunir uma revisão bibliográfica que aborda a aplicação de ferramentas de gestão da qualidade para melhoria da performance em diversos campos de uma mineradora, como a frota de equipamentos da operação de mina, beneficiamento e lavra de minérios.

2.2. Objetivos específicos

- Apresentar algumas das ferramentas de gestão da qualidade aplicáveis no dia a dia mineração, visando contribuir para a formação universitária do estudante de engenharia de minas;
- Conhecer diversas aplicabilidades das ferramentas de gestão da qualidade para alcançar maior produtividade ou redução de custos na mineração, promovendo maior organização e controle de importantes variáveis do processo, tais como produtividade de equipamentos, custos e teor de minério;
- Avaliar a qualidade dos resultados em projetos de melhoria que utilizaram metodologias de gestão da qualidade, como PDCA e DMAIC, através dos estudos de caso apresentados neste trabalho.

3. JUSTIFICATIVA

A mineração tem um papel fundamental na economia brasileira, fornecendo matéria prima para diversos setores. Porém, existem desafios pertinentes à eficiência operacional, segurança e sustentabilidade que precisam de atenção. Por isso, é importante explorar a aplicação da melhoria contínua nos diversos processos atrelados às mineradoras. Embora a grade curricular dos cursos de Engenharia de Minas possua uma ampla oferta de disciplinas técnicas, a aplicação de ferramentas de qualidade para melhoria dos processos não é abordada de forma extensa durante o curso.

A motivação em estudar as ferramentas para a melhoria contínua se dá na necessidade de mostrar os benefícios da implementação dessas ferramentas em termos de eficiência, qualidade, redução de custos e segurança no setor minerário. Os resultados dessa pesquisa buscam reforçar a importância da aplicação da gestão da qualidade na mineração, para que os futuros engenheiros percebam o potencial das ferramentas de gestão da qualidade na otimização dos processos, independente da área de atuação na mineração.

4. METODOLOGIA

4.1. Metodologia aplicada à revisão bibliográfica

Para a revisão bibliográfica, os termos de interesse foram pesquisados a partir das ferramentas de qualidade abordadas nos estudos de caso selecionados. Foram realizadas pesquisas das ferramentas de interesse na Minha Biblioteca – biblioteca institucional da UFOP, no Google Acadêmico e em blogs da internet, para obter uma ampla disponibilidade de materiais para a revisão.

Após listar essas ferramentas, foram realizadas pesquisas sobre cada uma delas. As referências selecionadas foram de autores nacionais e internacionais, com publicações entre os anos de 2000 e 2022, permitindo que a pesquisa ocorresse tanto com informações atuais como também com informações já estabelecidas pela literatura. Também foram selecionadas algumas palavras chaves para ajudar a encontrar material para a pesquisa. São elas:

- "quality tools"; "quality management"
- "ferramentas de qualidade"
- "gestão da qualidade".

Essas palavras chaves auxiliaram na pesquisa dos conceitos apresentados sobre a gestão da qualidade e as ferramentas da qualidade, temas importantes para o desenvolvimento e introdução da revisão bibliográfica.

4.2. Metodologia aplicada aos estudos de caso

Nesse estudo será abordada a aplicação de ferramentas da qualidade para a melhoria da performance em diversos campos das mineradoras por meio de estudos de caso com exemplos reais da aplicação da gestão da qualidade em mineradoras brasileiras.

Para os estudos de caso, foram realizadas pesquisas no Google Acadêmico e no Science Direct. Os temas foram escolhidos para fazer parte deste trabalho com base nas áreas estudadas na engenharia de minas. A intenção foi entender a aplicabilidade das ferramentas de gestão em diversas áreas de uma mineradora. Com o conhecimento das principais vertentes estudadas no curso de Engenharia de Minas, foram adotadas três áreas principais – frota de equipamentos da operação de mina, beneficiamento e lavra de minérios.

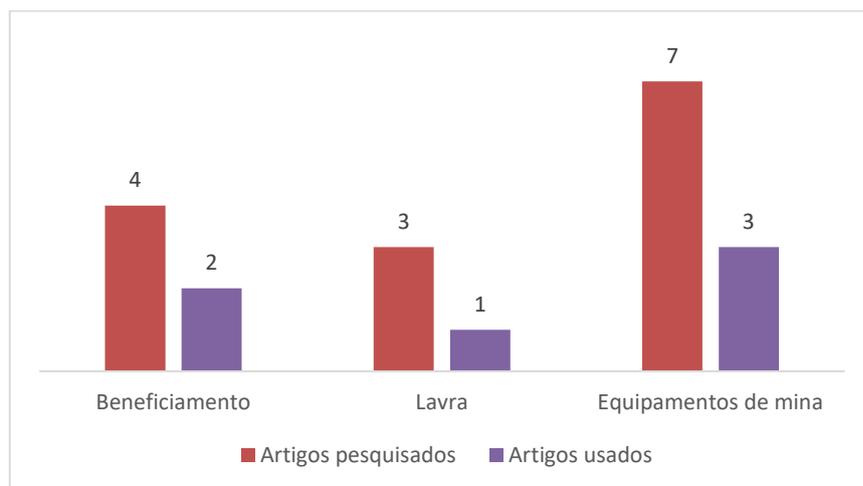
A partir dessas áreas pré-estabelecidas, a pesquisa dos artigos foi realizada utilizando as palavras-chave a seguir:

- “operação de mina”; “ferramentas de qualidade”
- “beneficiamento de minérios”; “ferramentas da qualidade”
- "gestão da qualidade"; "lavra de mina"
- "ferramentas de qualidade"; "lavra"
- "ferramentas de qualidade"; "mina"
- "DMAIC"; "lavra subterrânea".

Os artigos e trabalhos pesquisados para compor os estudos de caso foram realizados em empresas nacionais, publicados entre os anos 2010 e 2021. O pré-requisito para escolher os artigos foi a abordagem de variadas ferramentas de gestão da qualidade e a aplicação dessas ferramentas gerando uma melhoria para a área escolhida. Também foram parte dos pré-requisitos a clareza e o entendimento de como as ferramentas de gestão da qualidade foram utilizadas, o que facilitou a abordagem pretendida nesse trabalho.

Com isso, a Gráfico 1 mostra a relação entre a quantidade de artigos pesquisados e utilizados neste trabalho, assim como a distribuição deles em relação às áreas originalmente propostas pela autora.

Gráfico 1 - Relação de artigos pesquisados x utilizados e sua distribuição entre as áreas.



Fonte: Autora.

Dos 14 trabalhos pesquisados, foram selecionados 6 para integrar essa monografia. Foram escolhidos 3 trabalhos relacionados à operação de mina, com as ferramentas da qualidade aplicadas para melhorias em equipamentos de carregamento e transporte, e 2 relacionadas às melhorias em processos do beneficiamento de minérios. De 3 trabalhos encontrados para a aplicação das ferramentas na lavra, foi escolhido o que tinha mais informações de ganhos mensurados.

Foram levantados os seguintes questionamentos para escrever sobre os estudos de caso, com o objetivo de auxiliar na coleta de informações e no desenvolvimento deste trabalho:

- Qual o problema identificado?
- Foram estabelecidas metas para o projeto?
- Quais as ferramentas foram aplicadas?
- Foram levantados os resultados atingidos?

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1. Gestão da Qualidade

A gestão da qualidade total ou *Total Quality Management* (TQM) é um modelo de gestão que implementa a qualidade em todos os processos da empresa (LOPES, 2014). Para Tarí e Sabater (2004), a TQM se destaca por se basear em fatores críticos na busca pela melhoria contínua, como liderança, planejamento da qualidade, gestão de recursos humanos, gestão de processos e a cooperação com clientes e fornecedores. Com o aumento da competitividade empresarial, globalização dos mercados e a importância da qualidade como critério essencial para a sobrevivência das empresas, a TQM se tornou um elemento indispensável para garantir a excelência nos produtos, serviços e processos organizacionais (OLIVEIRA, 2014; TARÍ e SABATER, 2004; MACHADO, 2012).

Segundo a ISO 9001, os princípios da gestão da qualidade são o foco no cliente, liderança, engajamento das pessoas, abordagem de processo, melhoria, tomada de decisão baseada em evidência e gestão de relacionamento. Assim, tendo a qualidade do produto e do serviço como consequência, a gestão da qualidade é uma aplicação de métodos e ferramentas já consagrados pelo uso, visando dessa forma atingir os princípios abordados pela ISO 9001 (OLIVEIRA, 2014).

5.2. Ferramentas de qualidade

Machado (2012) aborda que as ferramentas da qualidade são compostas por técnicas estruturadas e ferramentas estatísticas que auxiliam na melhoria de produtos, serviços e processos. O autor ressalta que elas podem ser utilizadas para definir, mensurar, analisar e propor soluções para variados problemas. Segundo Lobo (2020), as ferramentas de qualidade são o caminho para a melhoria da lucratividade do processo otimizando as operações. Para Machado (2012), os líderes devem utilizá-las na busca pela excelência operacional. De acordo com Oliveira (2014), as ferramentas permitem, de forma simples e direta:

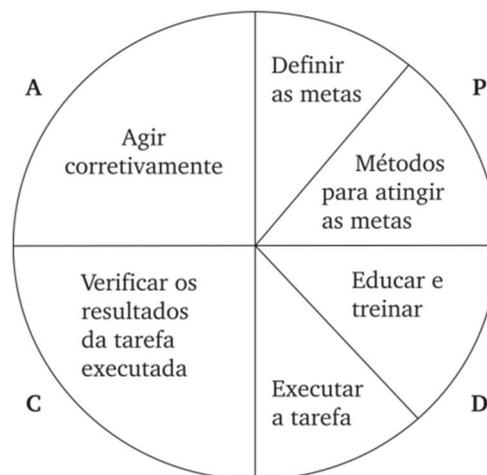
- verificar, interpretar e solucionar variados problemas da qualidade, proporcionando fácil visualização e entendimento dos problemas;
- síntese do conhecimento e conclusões;
- desenvolvimento da criatividade das pessoas envolvidas;

- conhecimento do processo;
- fornecimento de elementos para seu monitoramento e melhoria.

5.2.1. Ciclo PDCA

Conhecido também como ciclo Deming-Shewhart, o método exemplificado na Figura 1 é o mais genérico do processo de melhoria contínua (CARPINETTI, 2016; MACHADO, 2012), mas é o motor de toda empresa (DENNIS, 2008). Para Machado (2012), o ciclo PDCA é um orientador eficiente e eficaz da execução de uma ação ou projeto. O PDCA tem como fases o *plan* (planejar), *do* (fazer), *check* (checar) e *act* (agir), auxiliando na identificação e organização das atividades na solução de problemas garantindo o desenvolvimento planejado da atividade e seu monitoramento (LOBO, 2020).

Figura 1 - Fases do ciclo PDCA



Fonte: Carpinetti (2016).

De acordo com Carpinetti (2016), Lobo (2020) e Machado (2012), na fase *plan* (planejar) o problema é identificado, as causas raízes são investigadas e as soluções são planejadas, com a definição do objetivo, da meta e dos métodos utilizados. Nessa etapa, é formulado um plano de ação utilizando a ferramenta 5W2H. Na fase *do* (execução) são realizados o treinamento e execução do plano de ação formulado.

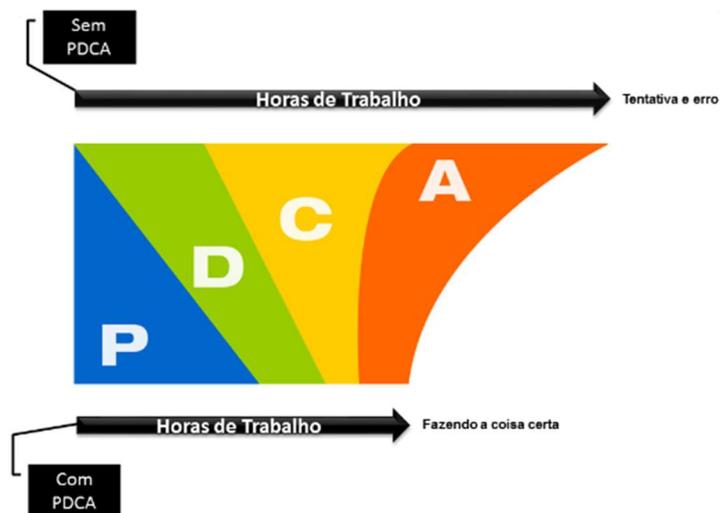
A fase *check* (checar) corresponde à coleta de dados para comparação dos resultados obtidos com o resultado esperado. Finalmente, na fase *act*, (agir), caso sejam observados desvios é aplicada a ação corretiva para melhoria do resultado. Caso o resultado seja satisfatório, nesta

fase é desenvolvida a padronização para a manutenção do processo (CARPINETTI, 2016; LOBO, 2020; MACHADO, 2012).

Para Lobo (2020), a utilização do ciclo PDCA impede que a empresa, ao implementar alguma melhoria, passe por situações difíceis pela falta do planejamento e da definição de metas. Dennis (2008) levanta que a ferramenta é indispensável à gerência, sendo sua função praticar e ensinar o PDCA desde a melhoria contínua do dia a dia, passando pela solução de problemas e indo até o planejamento estratégico.

O PDCA pode ser aplicado de forma rápida em pequenos ou grandes projetos, tanto para a gestão estratégica quanto para gestão das operações (CARPINETTI, 2016; LOBO, 2020). Segundo Carpinetti (2016), quando o PDCA é usado em nível estratégico auxilia na identificação de prioridades de melhoria e causas fundamentais, além do planejamento de melhoria e avaliação do progresso. Quando usada em nível operacional, o autor destaca o auxílio da ferramenta no controle dos requisitos da produção e na redução ou eliminação de custos. A Figura 2 relaciona as horas de trabalho gastas em um projeto com PDCA e sem ele.

Figura 2 - Horas de trabalho gastas sem PDCA vs com PDCA



Fonte: Sabino (2015).

A Figura 2 mostra que o planejamento do projeto é primordial e até econômico quando se leva em conta o custo, a mão de obra e o tempo. Quando essa etapa não é priorizada, gasta-se mais horas de trabalho com as atividades de execução, checagem e ação que, sem direcionamento, exigem mais dos colaboradores.

5.2.2. Metodologia Lean Seis Sigma

A Metodologia Lean Seis Sigma é baseada nas metodologias *Lean Production* e *Six Sigma*, juntando seus aspectos mais eficazes e atingindo o resultado máximo. Dessa forma, a metodologia garante que a empresa atingirá os objetivos para além da lucratividade, alcançando também a fidelização do cliente e a eficácia de processos (CHEN, 2008; VENANZI e LAPORTA, 2017).

Segundo Campos, Rodrigues e Oliveira (2016) e Dennis (2008), a metodologia *Lean Production* – ou produção enxuta – foi criada no Japão por Taiichi Ohno, no início dos anos 1950. Ohno promoveu melhorias no Sistema Toyota de Produção após um *benchmarking* da Toyota com a Ford nos EUA. Assim, Ohno descobriu os benefícios de fabricar lotes menores dos produtos e finalizou suas inovações na Toyota no final dos anos 60.

O *Lean* consiste em retirar do processo as atividades que não agregam valor – desperdícios – enquanto adiciona valor na produção com menos mão de obra, equipamentos e tempo possível (CHEN, 2008; DENNIS, 2008). Venanzi e Laporta (2017) abordam que o *Lean* relaciona a redução de desperdícios (Tabela 1) com a redução de custos, evitando a ineficiência de operações e retrabalho.

Tabela 1 - 7 desperdícios do Lean identificados por Ohno

1º	Superprodução	Quando a empresa produz mais do que precisa para atender o cliente
2º	Espera	Pessoas e máquinas paradas, esperando materiais, informações etc.
3º	Movimentos desnecessário	Movimento de pessoas como procurar ferramenta em ambiente desorganizado, estações de trabalhos distantes, layouts ineficazes.
4º	Processo Desnecessário	Ações que não precisam ser feitas, como tratamento estético em partes não visíveis do produto
5º	Defeitos e Retrabalhos	Gasto de tempo, gente e recursos para refazer, corrigir ou retrabalhar o que foi feito de forma errada
6º	Transporte	Transporte de matéria prima dentro da fábrica sem necessidade, estoques intermediários e distantes da linha de produção
7º	Estoques	O custo financeiro de capital parado e não vendido é um desperdício.

Fonte: Adaptado de Picchi (2017).

De acordo com Picchi (2017), Ohno caracterizou 7 desperdícios, com o desperdício intelectual sendo adicionado ao Lean mais tarde. Esse 8º desperdício diz a respeito das habilidades e conhecimento intelectual dos colaboradores que não são bem aproveitados (COUTINHO, 2020). Eliminar estes 8 desperdícios significa eliminar o que não teria qualquer efeito adverso para o produto (DENNIS, 2008). Venanzi e Laporta (2017) ressaltam que a metodologia “integra os setores e suas respectivas atividades em um único segmento de gestão, erradica atividades, suprime custos, permite adequações nos processos e operações e traz valor ao cliente gerando lucratividade e tornando a empresa competitiva”.

Já o Seis Sigma (6S) é uma metodologia que foca na qualidade do desenvolvimento de produção de produtos e serviços reduzindo a variabilidade do processo (LOBO, 2020; NÄSLUND , 2008). Isso leva a diminuição dos defeitos e redução de custos, onde a meta da ferramenta é chegar a 99,9997% de produtos/serviços perfeitos (LOBO, 2020).

Segundo Oliveira (2014), a melhoria contínua e a TQM sustentam o 6S. A aplicação do 6S se dá por meio de projetos de melhoria, aplicando a metodologia DMAIC: *define* (definir), *measure* (medir), *analyse* (analisar), *improve* (melhorar) e *control* (controlar) que, em conjunto com ferramentas de suporte, identificam erros e suas causas para eliminá-las (NÄSLUND , 2008; OLIVEIRA, 2014; VENANZI e LAPORTA, 2017). A Tabela 2 mostra o objetivo de cada uma das fases do DMAIC que compõem a metodologia 6S.

Tabela 2 - Fases do DMAIC

DMAIC		
D	<i>Define</i>	Identificação dos projetos seis sigma que serão implementados na empresa, com principal finalidade satisfazer expectativas dos clientes em termos de qualidade, preço e prazo de entrega.
M	<i>Measure</i>	Abrange as ações relacionadas com o diagnóstico ou levantamento da situação atual dos processos para a quantificação da variabilidade e da capacidade atual dos processos.
A	<i>Analyse</i>	São estudados os dados coletados para conhecer as relações causais, as fontes de variabilidade e o porquê do desempenho insatisfatório de tais processos visando sua melhoria.
I	<i>Improve</i>	Desenvolvimento de soluções mais adequadas para eliminar as falhas e, para isso, são essenciais a simulação e a experimentação.
C	<i>Control</i>	Desenvolvimento de mecanismos para monitorar continuamente o desempenho de cada processo

Fonte: Adaptado de Oliveira (2014).

O ciclo DMAIC é uma evolução do ciclo PDCA, com as etapas mais completas. Para Venanzi e Laporta (2017) o DMAIC guia projetos conduzidos por líderes que seguem etapas pré-definidas e apoiadas em análises estatísticas. Essa abordagem resulta em melhorias consistentes e visíveis no sistema, proporcionando resultados seguros e mensuráveis. Segundo Lobo (2020), para alcançar a melhoria da eficiência dos negócios, da qualidade do processo e aumentar o lucro final, a metodologia exige o treinamento em 6S, incluindo *Green Belts* (para iniciantes), *Black Belts* (que lideram projetos individuais) e *Master Black Belts* (que buscam maneiras de aplicar o 6S em uma estrutura de negócios para fazer melhorias).

Tanto o ciclo PDCA quanto o DMAIC são metodologias que direcionam o projeto a ser desenvolvido. No desenvolvimento dessas metodologias são utilizadas variadas ferramentas da qualidade que levam ao resultado almejado, passando por cada fase assertivamente. A seguir, são abordadas ferramentas de qualidade e controle utilizadas nos projetos abordados pelos estudos de caso presentes neste trabalho. Essas ferramentas podem ser utilizadas pontualmente ou, mais frequentemente, como auxiliares das metodologias PDCA e DMAIC como parte de um projeto.

5.2.3. SIPOC

SIPOC é uma abreviação de *suppliers* (fornecedores), *inputs* (entradas), *process* (processo), *outputs* (saídas) e *customers* (clientes), com a definição de cada etapa mostrada na Figura 3.

Figura 3 - Diagrama SIPOC



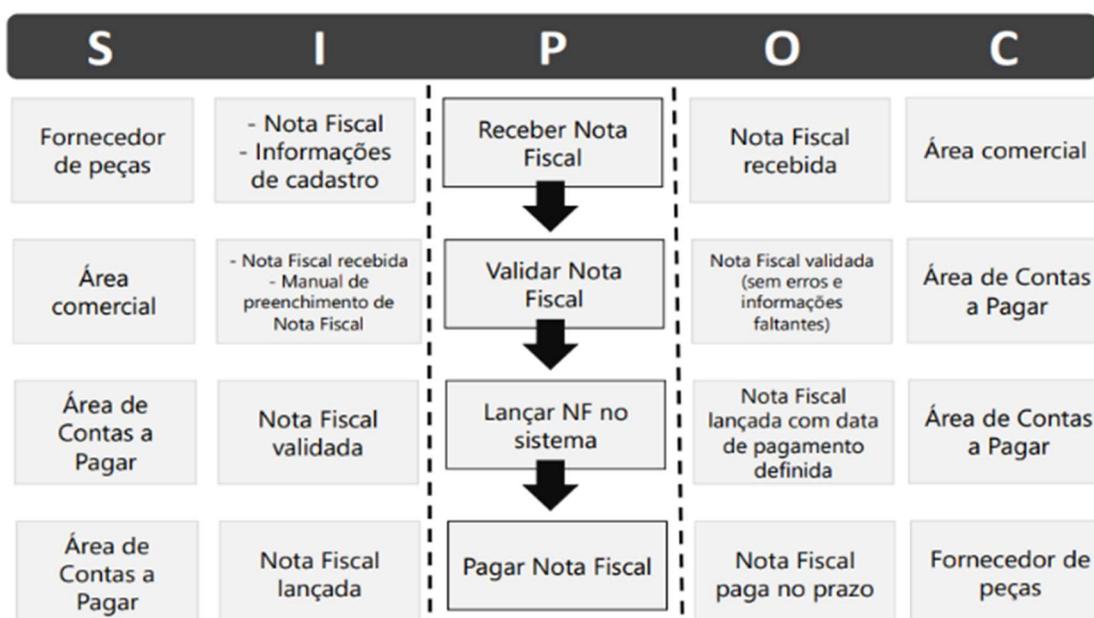
Fonte: UMOV.ME (2022).

Rasmusson (2006) levanta que um SIPOC é um mapa de alto nível do processo para representá-lo como é realizado. Em um projeto DMAIC, a ferramenta pode ser utilizada na etapa *Measure*

para visualizar o processo atual de uma atividade, entendendo os atuais gaps e permitindo realizar as melhorias desejadas (RASMUSSEN, 2006).

De acordo com Brown (2018), o SIPOC é a ferramenta ideal para identificar elementos relevantes antes de começar o projeto de melhoria, ajudando a definir um projeto complexo que talvez não tenha um bom escopo. A Figura 4 mostra um exemplo de SIPOC de um processo do recebimento de uma nota fiscal até o seu pagamento.

Figura 4 - Exemplo de SIPOC



Fonte: Coutinho, 2020.

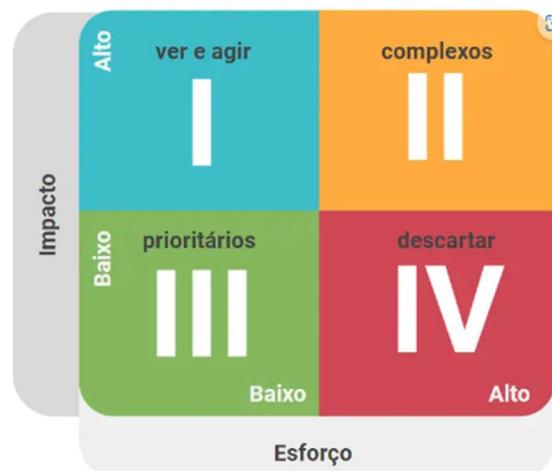
Segundo Brown (2018) o desenvolvimento do SIPOC começa identificando os principais passos do processo e os colocando no diagrama. O processo é o ponto central do SIPOC e o componente no qual todas as outras informações estão associadas. Com os processos definidos, as informações de fornecedores, entradas, saídas e clientes são inseridas formando o SIPOC.

5.2.4. Matriz Esforço vs. Impacto

Também conhecida como Matriz de *Eisenhower*, de acordo com Coutinho (2019) a Matriz Esforço vs. Impacto é uma ferramenta de gestão de tempo e produtividade frequentemente utilizada na etapa *measure* do DMAIC. O autor explica que a matriz classifica e prioriza as tarefas baseadas no esforço necessário para concluí-las e o impacto que elas causam no projeto.

As atividades são distribuídas entre os quadrantes da matriz (Figura 5) e classificadas em baixo esforço da empresa para um alto impacto na resolução do problema, alto esforço e alto impacto, baixo esforço e baixo impacto e alto esforço e baixo impacto (CONCEIÇÃO, PINTO e AGUILAR, 2005; COUTINHO, 2019). O eixo “impacto” leva em conta fatores como lucro, vendas e satisfação do cliente, já o eixo “esforço” considera o tempo, energia, dinheiro e recursos humanos que serão empregados na tarefa (ROCK CONTENT, 2018).

Figura 5 - Exemplo da Matriz Esforço x Impacto



Fonte: RockContent (2018).

O quadrante I representa as tarefas de “ver e agir”, que são mais produtivas gerando maiores resultados com menor esforço. Já no quadrante II, as tarefas têm difícil execução e devem ser planejadas com disciplina e melhorias constantes. Essas tarefas demandam alto esforço para gerar alto impacto (ROCK CONTENT, 2018).

O 3º quadrante exige baixo esforço, mas para tarefas que não trazem muitos resultados e que são geralmente delegadas. Finalmente, as tarefas no quadrante IV devem ser avaliadas para descarte, considerando que serão invertidos altos esforços para gerar pouco impacto (ROCK CONTENT, 2018).

5.2.5. Benchmarking

O *benchmarking* é um processo de avaliação de produtos, serviços e processos de trabalho de organizações reconhecidas com as melhores práticas nas áreas avaliadas, trazendo melhoria para processos organizacionais (LAVORATO, 2003). De acordo com Albertin, Kohl e Elias

(2015), o *benchmarking* é uma ferramenta que, a longo prazo, auxilia no direcionamento de competências essenciais e na melhoria dos processos. O autor levanta que a ferramenta é útil ao lidar com mudanças, pois ajuda a mapear e analisar os métodos e processos de uma empresa, além de estabelecer objetivos da mudança.

Madeira (1999) aborda em seu artigo “*Benchmarking: a arte de copiar*” vários tipos de *benchmarking*, com diferentes propósitos. O *benchmarking* interno, segundo o autor, olha para setores e unidades da própria companhia em busca de melhoria; enquanto o *benchmarking* competitivo envolve a comparação de produtos, processos e serviços de concorrentes diretos para melhor posicionamento no mercado. Ainda, existe o *benchmarking* funcional, para identificar as melhores práticas de qualquer tipo de organização com reputação de excelência; e o *benchmarking* estratégico, que tem como objetivo mudança organizacional.

5.2.6. Estratificação

De acordo com Oliveira (2014), a estratificação é utilizada para identificar oportunidades de melhoria da qualidade em situações em que os dados vieram de fontes distintas, mas estão agrupados da mesma forma em um mesmo banco de dados. Segundo o autor, a ferramenta é capaz de diferenciá-los visualmente, levando em consideração suas características individuais e resultando em dados mais precisos.

Barnabé (2015) aborda que a estratificação organiza os dados em subgrupos, facilitando na interpretação e na investigação necessária. O autor aborda que o procedimento pode ser representado através de gráficos de controle, diagramas de dispersão, diagrama de Pareto e histogramas. Um exemplo trazido por Oliveira (2014) é o número de acidentes do trabalho em uma determinada empresa que pode ser estratificado por setor, por tipo de acidente, por período, por turno etc.

5.2.7. Histograma

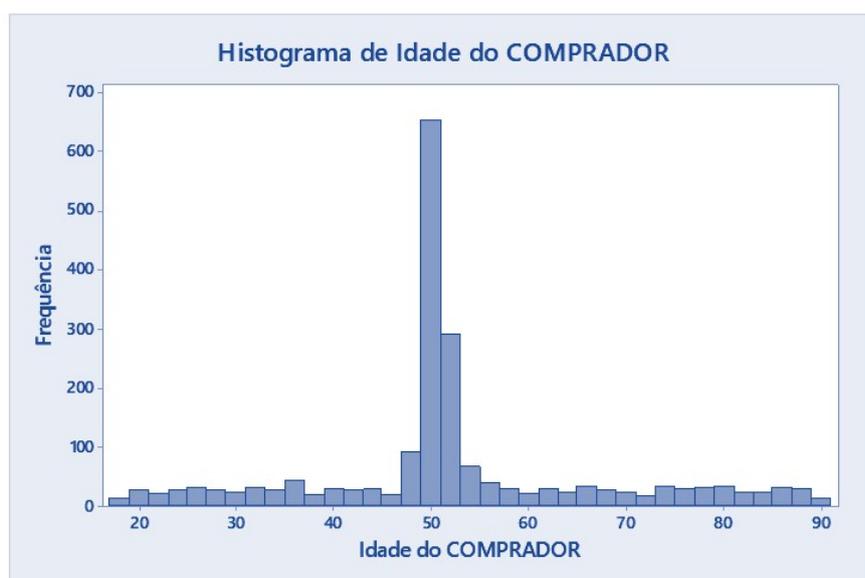
O histograma é uma ferramenta estatística em forma de gráfico de barras com os valores observados no eixo horizontal, com barras mostrando quantas vezes cada valor ocorreu no conjunto de dados (FIELD, 2009; OLIVEIRA, 2014). Esses agrupamentos dos dados em barras são chamados distribuição de frequência. O histograma contribui para a visualização da forma

de distribuição de um conjunto de dados, da localização do valor central e da dispersão dos dados em torno desse valor (CARPINETTI, 2016; FIELD, 2009).

Field (2009) aborda que as distribuições de frequência indicam a probabilidade de um uma frequência acontecer, ou seja, a probabilidade da ocorrência de um valor. A tabela de distribuição de frequência é um pré-requisito para a construção do histograma (LOBO, 2020). Com a dificuldade de interpretar uma grande quantidade de dados em forma de tabelas, o histograma se torna útil ao resumi-los e ao comparar os resultados do processo com os limites de especificação desejados (OLIVEIRA, 2014; FM2S, 2020).

A Figura 6 mostra um exemplo de um histograma que avalia o perfil dos clientes compradores em uma loja, em relação à quantidade de produtos vendidos.

Figura 6 - Exemplo de histograma



Fonte: Labone, 2018.

No exemplo, o histograma mostra que a idade do comprador varia de aproximadamente 20 anos até 90 anos de idade, como pode ser observada no eixo “Idade do comprador”. De acordo com o histograma, observa-se que foram vendidas mais de 600 unidades para clientes de 50 anos. Isso significa que clientes nessa faixa de idade lideram o consumo no local.

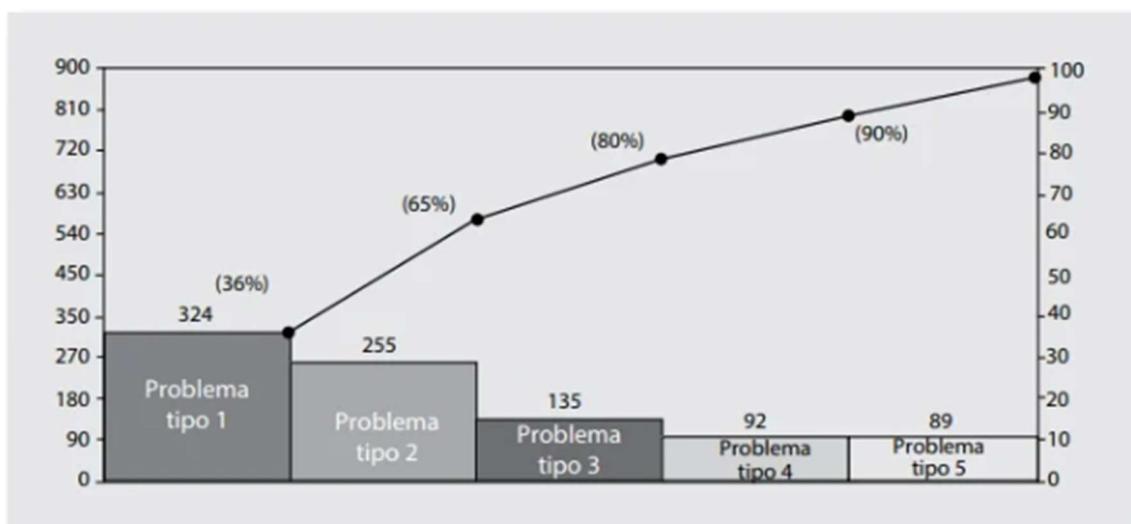
Dessa forma, o histograma consegue focar no ponto que deve ser melhorado justamente por evidenciar a frequência em que um dado evento acontece, sendo uma ferramenta de tomada de decisão. No caso do exemplo, com a análise do histograma a loja sabe a idade de seus

consumidores e pode usar essa informação a favor do negócio, oferecendo produtos e experiências personalizados para atrair seu nicho de consumidores.

5.2.8. Diagrama de Pareto

Lobo (2020) expõe que o diagrama de Pareto é conhecido pela proporção 80/20, onde 80% dos problemas vêm de 20% de potenciais causas. A ferramenta é um gráfico de barras que classifica os dados por ordem de importância, permitindo a escolha do ponto de partida para a solução do problema (MACHADO, 2012; LOBO, 2020) de acordo com algum aspecto mais interessante para análise (OLIVEIRA, 2014) – Figura 7.

Figura 7 - Exemplo de gráfico de Pareto



Fonte: Oliveira (2014).

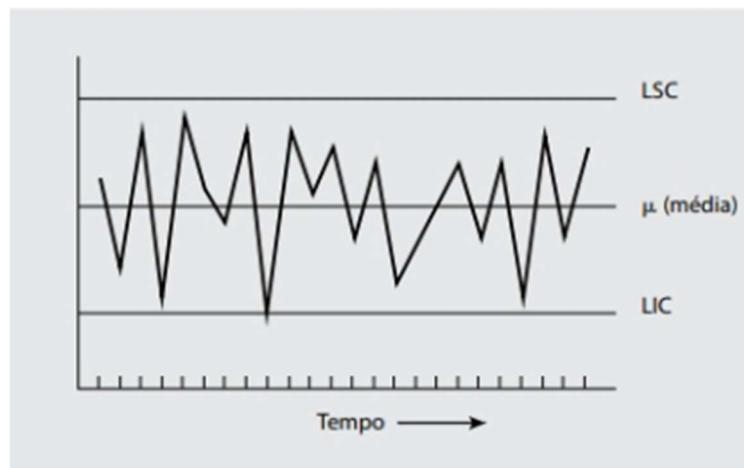
No exemplo, os problemas dos tipos 1, 2 e 3 com determinado equipamento são responsáveis por 80% das perdas. Dessa forma, é possível priorizar as ações para esses três problemas e resolver 80% parte das perdas, colocando esforço no local de maior impacto e aumentando lucro e performance.

Segundo Carpinetti (2016) o gráfico de Pareto é uma importante ferramenta para a priorização das ações, considerando que os recursos são limitados e eles devem ser aplicados onde os benefícios da eliminação de problemas seja de maior impacto.

5.2.9. Cartas de controle

O controle estatístico do processo tem a finalidade de desenvolver e de aplicar métodos estatísticos para prevenção de defeitos, melhoria da qualidade de produtos e serviços e redução de custos (LOBO, 2020). A carta de controle é uma ferramenta do controle estatístico do processo, usadas para mostrar as tendências dos pontos de observação em um período (MACHADO, 2012). Tem o objetivo de apontar o que está ocorrendo (efeito) e servir como base para a busca de motivos (causa) que levam a determinado comportamento (OLIVEIRA, 2014). A Figura 8 mostra um exemplo genérico da carta de controle.

Figura 8 - Exemplo de carta de controle



Fonte: Oliveira, 2014.

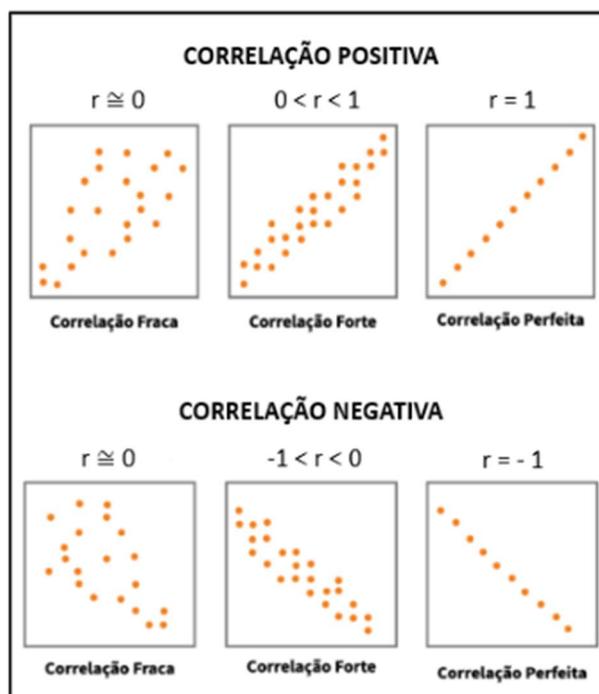
Segundo Oliveira (2014), a linha central representa o valor médio das amostras (condição normal) e as ocorrências são apontadas ao longo do tempo em uma visão contínua do processo. O autor levanta que os dados coletados dos processos permitem estabelecer limites superiores de controle (LSC) e limites inferiores de controle (LIC), representando a normalidade de execução do procedimento. Os processos estarão sob controle e estabilizados quando todas as suas medidas estão dentro dos limites de controle. Caso alguma medida não esteja dentro do LIC e LSC, os valores são considerados outliers e a causa deverá ser investigada.

5.2.10. Diagrama de dispersão

Utilizado para estudar a possível relação entre duas variáveis, o diagrama de dispersão verifica se há correlação entre causa e efeito (MACHADO, 2012; LOBO, 2020), por exemplo, entre composição de material e dureza (CARPINETTI, 2016). A verificação do relacionamento é a

partir de uma representação gráfica de eixos ortogonais, onde o eixo X se destina a variável independente e, o eixo Y, a variável supostamente dependente (OLIVEIRA, 2014; (SOUSA, 2019). A Figura 9 apresenta alguns exemplos de correlações.

Figura 9 - Exemplo de correlações no Diagrama de dispersão



Fonte: Sensei EDTI (2019)

Sousa (2019) levanta que o coeficiente de correlação de *Pearson* (r) varia entre -1 e 1, evidenciando a intensidade da relação linear entre as variáveis quantitativas. Segundo a autora, no caso em que $r = 1$, há uma correlação perfeita positiva entre as duas variáveis; e no caso em que $r = -1$ existe uma correlação perfeita negativa. Quando $r = 0$ ou $r \approx 0$, não existe correlação linear entre as variáveis X e Y ou a correlação é fraca, respectivamente.

Segundo Oliveira (2014), as etapas para a construção do diagrama de dispersão consistem na seleção das variáveis, na coleta dos dados em pares, na construção do sistema de eixos cartesianos e na plotagem dos pares. Após isso, a geração do gráfico e cálculo do coeficiente de correlação é realizada, seguida pela interpretação e análise dos resultados.

5.2.11. Brainstorming

A ferramenta também é conhecida como “tempestade de ideias”. Oliveira (2014) aborda que o *brainstorming* auxilia na geração de ideias e sugestões criativas para os problemas. Segundo o autor, a ferramenta é um processo de grupo, onde os participantes sugerem uma grande quantidade de ideias de forma livre, sem críticas e no menor tempo possível.

Machado (2012) levanta que as fases principais são a produção de ideias seguida da avaliação das ideias propostas. Reis *et al.* (2016) ressaltam que a ferramenta é simples e pode ser aplicada em situações diversas para levantar ideias, achar problemas e sugerir melhorias. Segundo Lobo (2020), as principais regras para os participantes contribuírem livremente com ideias e sugestões para a identificação de possíveis causas de um problema e sua eventual solução são:

- as críticas devem ser suspensas;
- geração de ideias em grande quantidade
- combinar ideias
- manter ininterrupto o fluxo de ideias
- registrar todas as ideias.

A Tabela 3 mostra as etapas do *brainstorming*.

Tabela 3 - Etapas do Brainstorming

Etapas	Descrição
Definição do problema	<p>O líder/coordenador deve apresentar brevemente o assunto ou o problema que será abordado.</p> <p>O líder/coordenador deve expressar o problema na forma de uma pergunta iniciada por: o que? como? ou por quê? dependendo do problema escolhido e destacá-lo em uma lousa ou <i>flip-chart</i>.</p> <p>O objetivo é deixar os integrantes cientes sobre o que vão opinar.</p>

	O líder/coordenador deve conceder um tempo para que os integrantes pensem sobre o assunto.
	O líder/coordenador convida o time a apresentar as ideias.
Fase criativa	Cada integrante deve colocar suas ideias verbalmente ou por escrito. Todos devem apresentar o maior número de ideias possível. À medida que os integrantes geram ideias, o líder ou outro integrante do time anota cada uma na lousa ou <i>flip-chart</i> .
	O time analisa as ideias, comparando-as e eliminando as que são iguais ou de mesmo sentido e as inadequadas, e selecionando as melhores.
Fase crítica	Cada integrante deve esclarecer suas ideias, quando necessário. Depois da análise das ideias geradas é que se pode chegar a uma decisão bem fundamentada para a solução do problema.

Fonte: Lobo (2020).

Dessa forma, Machado (2012) cita que a ferramenta se torna um libertador da criatividade, estimulando o uso da imaginação quebrando barreiras mentais. É importante ressaltar que a ferramenta, utilizada sozinha, tem pouco efeito no problema a ser resolvido. Outras ferramentas direcionadoras das ações a serem tomadas e de planejamento e monitoramento devem ser usadas em conjunto com o *Brainstorming* para atingir o objetivo final.

5.2.12. Folha de verificação

A folha de verificação, também chamada de *checklist*, é um formulário simples usado para a coleta de dados de acordo com as necessidades de análise de dados problemáticos (CARPINETTI, 2016). Segundo Machado (2012), são formulários planejados nos quais os dados são preenchidos de forma fácil e concisa, permitindo rápida percepção da realidade e rápida interpretação da situação. A Tabela 4 apresenta um exemplo hipotético de uma folha de verificação de um lote de lâmpadas.

Tabela 4 - Folha de verificação da qualidade de um lote de lâmpadas

Data: 12/07/2023	Lote das lâmpadas: 0001	Responsável: Fulano de Tal							
Defeitos	Contagem								
Quebrada	X	X	X	X					
Queimada	X								
Manchada	X								

Fonte: Autora.

No exemplo, a folha de verificação serve para avaliar a qualidade de um lote de lâmpadas. São considerados os defeitos dos tipos lâmpadas quebradas, queimadas e manchadas. Assim, o responsável pela verificação do lote deve marcar a quantidade encontrada nas condições adversas avaliadas. Pode ser notado rapidamente que lâmpadas quebradas no lote avaliado é um problema, permitindo rápida ação no ponto crítico observado.

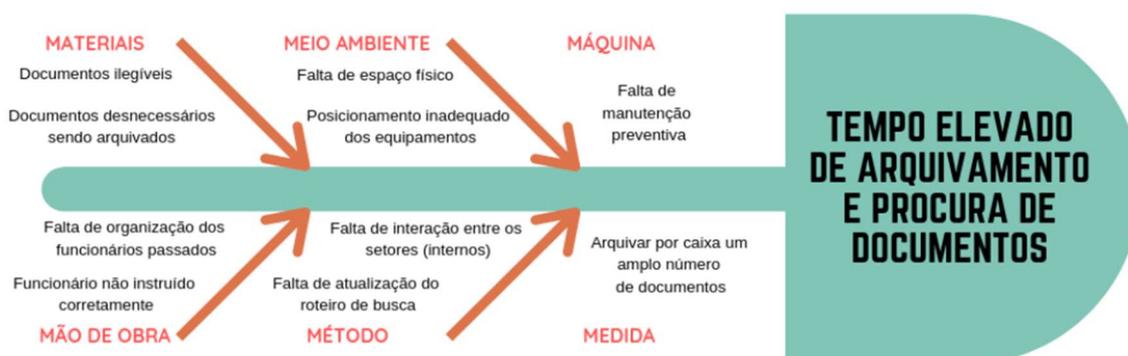
Segundo Oliveira (2014), embora a finalidade da folha de verificação seja o acompanhamento de dados e não a sua análise, ela frequentemente indica qual é o problema com o registro do:

- número de vezes que algo acontece;
- tempo necessário para que algo seja feito;
- custo de determinada operação ao longo de um certo período;
- impacto de uma ação ao longo de dado período.

5.2.13. Diagrama de Ishikawa

Também chamado de diagrama de causa e efeito ou espinha de peixe (OLIVEIRA, 2014), a ferramenta representa a relação entre o efeito e todas as possibilidades que podem contribuir para sua ocorrência (LOBO, 2020; MACHADO, 2012). Segundo Liliana (2016), o diagrama é utilizado nas empresas não só para diagnosticar as causas, mas também para desenvolver ações concretas para as causas raízes dos problemas identificados. A Figura 10 representa um exemplo do diagrama para listar as causas que levam a um tempo elevado para o arquivamento e procura de documentos.

Figura 10 - Diagrama de Ishikawa – Causas para o tempo elevado e procura de documentos



Fonte: Santos *et al.* (2020)

O diagrama é desenhado para mapear e visualizar as causas que afetam o processo analisado, facilitando o raciocínio (LOBO, 2020; MACHADO, 2012). Segundo os autores, as principais causas dos problemas são agrupadas pelos 6Ms – máquinas, mão de obra, métodos, medidas, materiais e meio ambiente. Esses agrupamentos podem ser modificados, inserindo mais ou menos grupos e alterando seus nomes, de acordo com a necessidade.

Liliane (2016) e Lobo (2020) destacam quatro passos para usar a ferramenta, que consistem na identificação do problema, identificação dos principais fatores envolvidos, identificação das possíveis causas e análise do diagrama. Segundo Lobo (2020), após a definição do problema, a pesquisa das causas pode ser feita utilizando o *brainstorming* ou a folha de verificação, colocando as causas resultantes nas categorias apropriadas do diagrama. O autor sugere que para cada causa seja questionado “por que isso acontece?”, inserindo as respostas como subcausas da causa principal, seguido da interpretação dos dados obtidos.

5.2.14. Matriz de Priorização

A matriz de priorização, também conhecida como matriz GUT (gravidade, urgência e tendência), é um método de análise de problemas que permite escolher aqueles que terão prioridade na tratativa (BRASIL. TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO, 2013). A Tabela 5 detalha os conceitos da matriz GUT.

Tabela 5 - Conceito dos fatores avaliativos da Matriz GUT

Importância G x U x T		
G	Gravidade	Impacto do problema para os envolvidos e efeitos que surgirão em longo prazo, caso o problema não seja resolvido.
U	Urgência	Relação com o tempo disponível ou necessário para resolver o problema.
T	Tendência	Potencial de crescimento do problema, avaliação da tendencia de crescimento, redução ou desaparecimento do problema.

Fonte: Napoleão (2019)

De acordo com o Prata (2013), A matriz GUT é utilizada para hierarquizar problemas e causas, identificando as mais relevantes e que geram maior impacto no problema estudado para que sejam atacadas de forma prioritária. Carvalho e Senna (2015) ressaltam que a ferramenta tem papel fundamental no planejamento estratégico, utilizada muitas vezes em conjunto com a análise SWOT – acrônimo para *Strengths, Weaknesses, Opportunities e Threats*, ou forças,

fraquezas, oportunidades e ameaças, respectivamente – para priorizar problemas existentes. Os autores acreditam que a junção entre a matriz GUT com a análise SWOT auxilia na criação de estratégias para o planejamento estratégico.

Cada problema da matriz GUT deve ser analisado conforme os três fatores avaliativos e devem ser atribuídas notas de 1 a 5, de acordo com as definições dos fatores G, U e T (BRASIL. TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO, 2013) – Tabela 6.

Tabela 6 - Parâmetros da Matriz GUT

Pontos	G Gravidade Consequências se nada for feito	U Urgência Prazo para a tomada de decisão	T Tendência Proporção do problema no futuro	GxUxT
5	Extremamente graves	Imediatamente	Vai piorar imediatamente	5x5x5 = 125
4	Muito graves	Muito urgente	Vai piorar em curto prazo	4x4x4 = 64
3	Graves	Urgente	Vai piorar em médio prazo	3x3x3 = 27
2	Pouco graves	Pouco urgente	Vai piorar em longo prazo	2x2x2 = 8
1	Sem gravidade	Pode esperar	Não vai piorar ou pode até melhorar	1x1x1 = 1

Fonte: Adaptado de Napoleão (2019).

Como exemplo da aplicação da matriz GUT, a Tabela 7 mostra que, para cada problema, as notas dos fatores avaliativos são multiplicadas para a obtenção do resultado (BRASIL. TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO, 2013), com a prioridade de tratativa sendo reservada às maiores notas.

Tabela 7 - Exemplo da aplicação da Matriz GUT

Matriz GUT					
Problema: Atraso no processo de compras					
Problemas	G	U	T	G x U x T	Prioridade
Atraso na liberação de créditos	4	4	4	12	1
Baixo interesse dos fornecedores nas licitações	4	4	3	11	2
Atraso na liberação de recursos financeiros	4	4	3	10	3
Especificações de materiais imprecisas	4	3	1	9	4

Fonte: Prata (2013).

Dessa forma, os problemas foram organizados visando tratar por prioridade, sendo 1 de maior prioridade e 4 de menor. Além desse exemplo, existem variações da matriz GUT, como a matriz BASICO. A matriz BASICO considera seis critérios – Tabela 8.

Tabela 8 - Matriz BASICO

B	Benefício para a organização	Quais as vantagens de atender a essa demanda?
A	Abrangência dos Resultados	Quantas pessoas serão afetadas por essa demanda?
S	Satisfação do cliente interno	Essa demanda pode impactar na experiência dos colaboradores?
I	Investimento requerido	Qual o orçamento necessário para atender à demanda?
C	Cliente externo satisfeito	Essa demanda pode impactar na experiência do consumidor?
O	Operacionalidade Simples	É uma demanda fácil de ser executada?

Fonte: Adaptado de Justo (2019)

Assim como a matriz GUT, cada critério recebe uma pontuação de 1 a 5 – 1 indicando menor prioridade ao critério e 5 maior prioridade. Porém, ao invés de multiplicar os valores, eles são somados para obter a priorização final – Tabela 9 (JUSTO, 2019). A vantagem principal dessa matriz é a estratificação dos benefícios a serem considerados como importantes para o projeto e a estima pelas pessoas afetadas pela demanda. Além disso, a satisfação dos clientes internos e externos, visão do orçamento requerido e facilidade da aplicação da demanda também são pontos considerados pela matriz BASICO.

Tabela 9 - Exemplo Matriz BASICO

Iniciativas	B	A	S	I	C	O	Soma	Ranking
1	2	3	3	4	5	1	18	4
2	2	3	4	5	1	2	17	5
3	3	4	5	3	2	3	20	2
4	4	5	1	2	3	4	19	3
5	5	5	5	2	1	3	21	1

Fonte: Adaptado de Justo (2019).

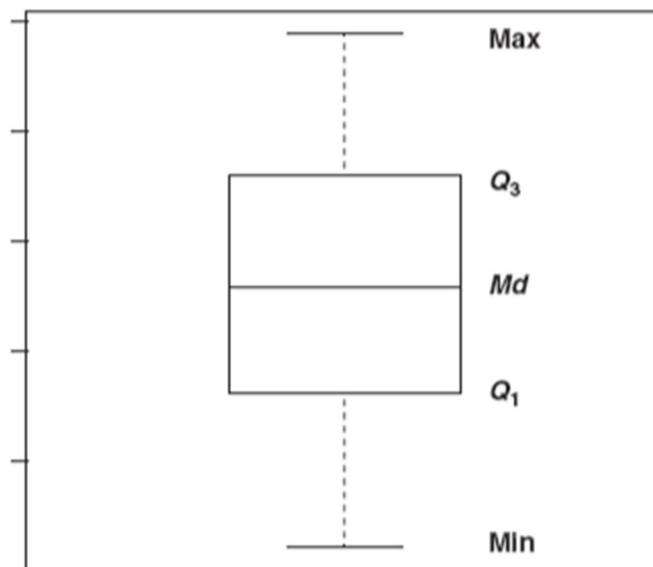
A tabela mostra um exemplo da matriz BASICO na priorização das iniciativas de 1 a 5. Cada critério BASICO tem uma nota de 1 a 5 atribuída, de acordo com sua urgência e importância.

Dessa forma, após somar as notas obtidas para cada uma das iniciativas, a pontuação do ranking indica a que deve ser priorizada (mais pontos) e as que podem aguardar (menos pontos).

5.2.15. BoxPlot

De acordo com Belfiore (2015) e Neto *et al.* (2017), o *boxplot* é uma representação gráfica de cinco medidas de onde se localiza uma variável. Essas medidas são valor mínimo, primeiro quartil (Q_1), segundo quartil (Q_2) ou mediana (Md), terceiro quartil (Q_3), e valor máximo. Segundo os autores, a mediana corresponde à posição central e os quartis às subdivisões da amostra em quatro partes iguais (25% dos dados em cada parte). A Figura 11 mostra uma representação do diagrama.

Figura 11 - Boxplot



Fonte: Belfiore (2015).

Com as divisões e com os dados ordenados de forma crescente, Q1 descreve 25% dos primeiros dados; Q2 corresponde à mediana, onde 50% dos dados estão abaixo dela e os outros 50% acima; e Q3 corresponde à 75% da amostra (BELFIORE, 2015). Neto *et al.* (2017) apontam que a ferramenta é muito utilizada em pesquisas científicas e sua construção é possível através de *softwares* estatísticos, como o *Minitab* ou *Excel*.

Belfiore (2015) e Neto *et al.* (2017) citam que o *boxplot* é capaz de identificar a existência de *outliers* (valores atípicos) e valores extremos, ou seja, observações que apresentam grande afastamento das restantes ou que são inconsistentes. As principais causas de *outliers* são

atrelados a erros de medição, erros de execução e variabilidade inerente aos elementos da população observada (BELFIORE, 2015).

5.2.16. 5W2H

A ferramenta 5W2H é útil na estruturação de planejamento estratégico, tático e operacional a partir de questões-chave desenvolvidas com clareza em sua resolução (MELLO *et al.*, 2016; SEBRAE - BA, 2019). As questões vêm do inglês e são mostradas na Tabela 10.

Tabela 10 - Descrição do 5W2H

5W2H		
WHAT?	O que?	Qual ação a ser feita?
WHO?	Quem?	Quem é o responsável?
WHEN?	Quando?	Quando deve ser realizada?
WHERE?	Onde?	Onde será realizada?
WHY?	Por quê?	Por que é importante?
HOW?	Como?	Como será realizada?
HOW MUCH?	Quanto?	Quanto custará?

Fonte: Autora.

As questões abordadas pelo método são essenciais para ter uma visão geral da ação que está sendo realizada. Saber quem é o responsável pela ação, o motivo pelo qual é importante que a ação seja realizada, o prazo que ela tem para ser concluída, como a ação deve ser realizada e, principalmente, quanto custará para que a ação seja concluída são pontos importantes para que a ação seja executada com excelência. Existem duas variações dessa ferramenta – 5W1H e 53WH.

O 5W1H utiliza as mesmas perguntas do 5W2H, com exceção do “*How Much?*”, interessante para ser usada em casos em que o custo da ação é baixo ou irrelevante. Já o 5W3H acrescenta uma pergunta ao 5W2H: O “*How Many?*” (quantos). Essa variação se torna interessante para quantificar outros elementos necessários para a ação como, por exemplo, equipamentos utilizados em uma atividade (NAPOLEÃO, 2018).

A ferramenta conta com alta adaptabilidade e fácil utilização, podendo ser aplicada em diversos setores e meios empresariais auxiliando no cumprimento das tarefas detalhadas (MELLO *et al.*,

2016; SEBRAE - BA, 2019). É geralmente utilizada no final do processo de identificação, análise e geração da solução dos problemas, fornecendo assim as principais informações para que uma atividade seja realizada (OLIVEIRA, 2014). A Tabela 11 mostra uma ação utilizando o 5W2H.

Tabela 11 - Exemplo de uma ação no modelo 5W2H

Problema	O quê?	Por quê?	Onde?	Quando?	Quem?	Como?	Custo?
1. Acesso indevido a áreas restritas e perigosas	Placas de comunicação nos acessos, na sede e na entrada	Mitigar riscos de acidentes, isentando a AMAH de responsabilidade	Portão de entrada, sede e acessos	Última semana de junho	Thaís	Levantamento de preço, estimativa e conteúdo. Apoio:	~R\$50,00

Fonte: Baptista *et al.* (2018).

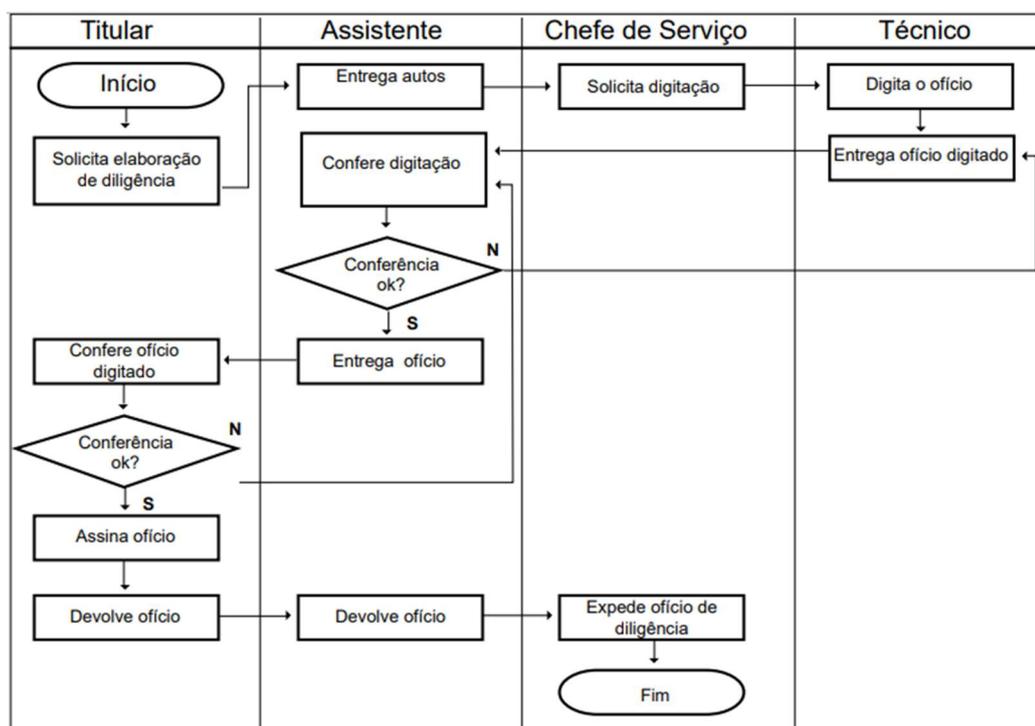
5.2.17. Fluxograma

De acordo com Machado (2012), o fluxograma é uma ilustração sequencial de todas as etapas do processo que ajuda a identificar o fluxo e desvios de qualquer trabalho ou produto. Segundo o Lobo (2020), entre as vantagens da utilização de um fluxograma estão:

- Visualização do funcionamento de todo o sistema, facilitando a análise de sua eficácia;
- Entendimento simples e objetivo;
- Facilidade de localização de deficiências pela fácil visualização de passos, transportes, operações etc.;
- Aplicação a qualquer sistema.

Uma variação do fluxograma é o Mapa de Processo, que também é uma representação gráfica com a sequência dos passos para a execução de uma atividade (BRASIL. TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO, 2000). O órgão ressalta que a ferramenta permite a descrição de uma operação passo a passo, que pode incluir informações sobre quantidade, qualidade e prazos. Além disso, levanta que o objetivo da ferramenta é identificar pontos críticos e oportunidades de melhoria nos procedimentos. A Figura 12 mostra o exemplo da ferramenta.

Figura 12 - Mapa do processo de expedição de ofício de diligência



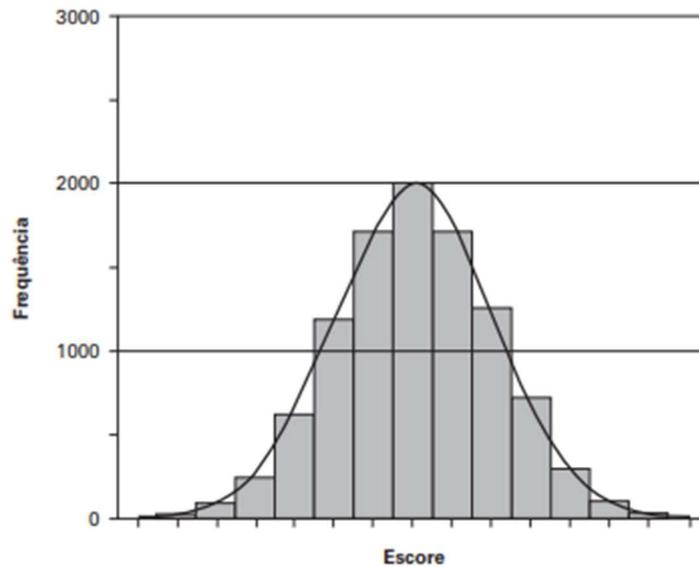
Fonte: BRASIL. TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO (2000).

A fig. 12 mostra o conjunto de atividades com todos os participantes da operação, desde a solicitação da elaboração do ofício até a expedição do documento (BRASIL. TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO, 2000)

5.2.18. Teste de normalidade

Field (2009) aborda que, em um mundo ideal, os dados em uma distribuição de frequência estariam distribuídos simetricamente em volta do valor central da barra de maior frequência. Isso é conhecido como distribuição normal, mostrado na Figura 13.

Figura 13 - Distribuição normal de dados de forma idealizada.



Fonte: Field (2009).

Field (2009) discorre que a distribuição normal é caracterizada por uma curva em forma de sino, sugerindo que a maioria dos dados observados (escores) está em torno do centro da distribuição. Segundo o autor, o histograma pode ser utilizado para verificar se uma distribuição é normal. Porém, a análise seria feita apenas graficamente, sem informações do quão próxima à realidade estão os dados avaliados, levando à uma análise subjetiva.

Segundo Belfiore (2015) e Field (2009), dentre os testes de normalidade univariada, os mais utilizados são o de *Kolmogorov-Smirnov (K-S)* e o de *Shapiro-Wilk (S-W)*. De acordo com os autores, ambos os testes são de aderência e comparam a distribuição de frequências acumuladas de um conjunto de valores observados com uma distribuição teórica.

Para Belfiore (2015) e Field (2009), os testes *K-S* e *S-W* tem o objetivo de testar se os valores amostrais são de uma população com uma distribuição esperada – distribuição normal. Para utilizar o teste *K-S*, a média e a distribuição normal da população devem ser conhecidas e a amostra deve ser grande ($n \geq 30$), sendo o teste *S-W* uma alternativa para amostras de tamanho $4 \leq n \leq 2000$ (BELFIORE, 2015).

5.2.19. Gráfico sequencial

Para Silva *et al.* (2015), o gráfico sequencial (ou *run chart*) acompanha a continuidade do processo ao longo do tempo através da detecção de padrões de não aleatoriedade e alteração no

comportamento desses padrões. Segundo os autores, a ferramenta permite o monitoramento do processo e de sua variação, podendo ser usada em diversas fases do processo. A Figura 14 mostra um exemplo de um gráfico sequencial do preço do dólar americano em real brasileiro, no período de 27 de junho de 2023 a 01 de julho de 2023 (5 dias).

Figura 14 - Gráfico sequencial do Dólar americano ao Real brasileiro



Fonte: Google (2023).

Pode ser observado no gráfico que, no decorrer dos dias há uma variação no preço do dólar e que entre os dias 29 e 30 de junho existe uma estabilização do preço. O gráfico sequencial permite essa visualização e auxilia no monitoramento dos dados avaliados e, ainda, na tendência que esses dados apresentam.

5.2.20. Metodologia Line Up

Campelo (2018) e Araújo (2020) levantam que o *Line Up* é abordagem de planejamento diário que desdobra o plano semanal diminuindo a lacuna de informação que transitam entre o planejamento e a execução, medindo a qualidade das operações da mina. Apesar da ferramenta apresentar pouca sustentação na literatura, (BUDKE, 2019; MANDARINO, 2015), ela se mostra emergente no auxílio de uma melhor integração e alinhamento entre as etapas de planejamento e operação de mina (MANDARINO, 2018)

Budke (2019) lista que, entre as principais vantagens do *Line Up* no planejamento da lavra, estão a organização das atividades por área; priorização das atividades; sequenciamento definido para cada supervisão; diminuição de retrabalhos e aumento da segurança, entre outros. Segundo Mandarino (2018), o método elabora uma programação de 24h para direcionar os

serviços necessários, tendo o envolvimento de todos os responsáveis operacionais. A ferramenta pode ser utilizada por meio do *Excel*, gerando relatórios automáticos e personalizados, ou por uma simples planilha com informações necessárias de repasse para os setores envolvidos.

6. ESTUDOS DE CASO

A mineração é a extração de bens minerais para uso humano, que pode ser feita a céu aberto ou subterrânea. O processo é dividido em prospecção, exploração, desenvolvimento e lavra. Na lavra, as operações básicas são perfuração, desmonte, carregamento e transporte do material. O beneficiamento é um tratamento que prepara o minério para a indústria, com operações como cominuição, classificação, concentração e desaguamento ou secagem, buscando melhorar o teor do minério.

É importante ressaltar que, em cada uma dessas operações, a sustentabilidade e segurança são pontos chaves para o sucesso das atividades. As rotas das operações necessárias para cada tipo de mineral minério levam em conta a energia necessária para cada etapa, os impactos gerados, como utilização de água e dissipação de poeira e as oportunidades de melhoria para aumentar a segurança pessoal e socioambiental.

Para buscar melhorias em todas as etapas, garantindo a sustentabilidade e segurança, são desenvolvidos projetos com o uso das ferramentas de qualidade, que ajudam a traçar caminhos estratégicos para alcançar resultados ótimos em custos e performance. Neste tópico, são apresentados seis estudos de caso em que as ferramentas da qualidade foram aplicadas para alcançar melhorias em frota de equipamentos, beneficiamento e lavra.

6.1. Ferramentas de melhoria aplicadas em equipamentos da mina

6.1.1. Estudo de Caso 1

O trabalho abordado neste tópico é intitulado “Aplicação das ferramentas da qualidade em uma frota de caminhões transportadores de minério”, escrito por Santos e Cruz (2017). Neste trabalho os autores baseiam-se em ferramentas da qualidade para quantificar as horas improdutivas de um sistema de transporte mina-usina, identificar as oportunidades de melhoria e mostrar o impacto positivo da aplicação dessas ferramentas nos indicadores operacionais.

Através de um fluxograma das etapas referente ao ciclo de produção na mina, os autores têm a visão detalhada da caracterização operacional da mina e as relações de transporte. O cenário trazido pelos autores se trata de um percurso de 25km entre a mina e o britador. O trajeto entre mina e usina passa por vias públicas, limitando o modelo de equipamento a ser utilizado. Assim, a frota de caminhões utilizada é o modelo Mercedes Benz Actros 2644®, com 6 eixos, 4 deles

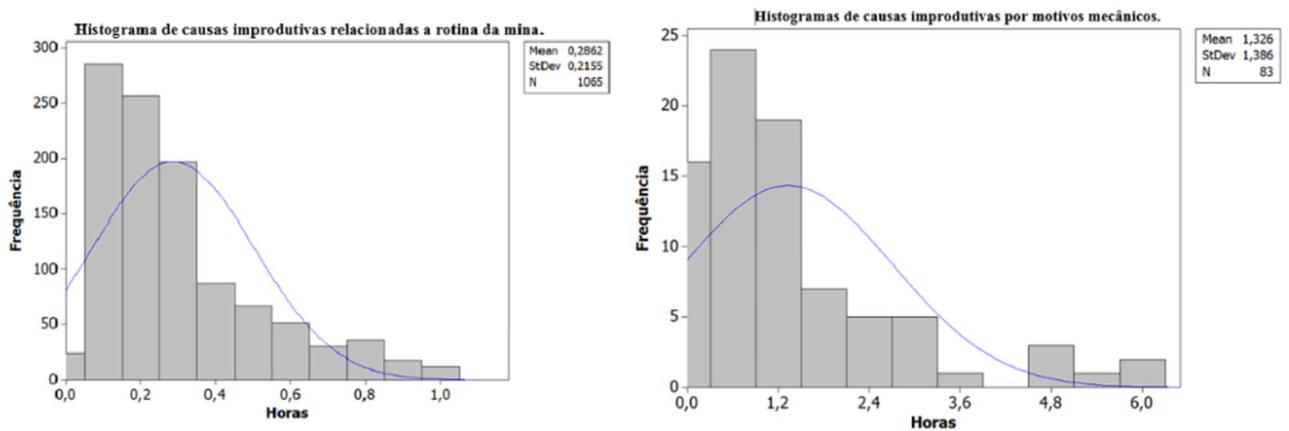
com tração. O peso bruto do caminhão é de 55 toneladas, com capacidade na caçamba de 34 toneladas de material transportado.

A metodologia inicial foi entregar aos motoristas uma folha de verificação com 28 itens identificados como principais motivos da improdutividade no sistema de transporte mina-usina. Os itens foram estratificados em parada inerente à rotina da mina (refeições, abastecimentos, filas etc.) e paradas de ordem mecânica, como quebra de solda ou borracharia. Os operadores preencheram a tabela com o motivo das paradas e seu tempo inicial e final. Com as respostas obtidas, os autores desenvolveram um banco de dados e os trataram com *Excel* e *Minitab*. Foram avaliados tempo de ciclo com os dados da hora de carga, descarga e percurso, e foram levantados os principais motivos das horas improdutivas em um Diagrama de Pareto.

A folha de verificação se mostrou uma ferramenta de simples entendimento e acessível para todos os motoristas da frota, sendo o único desafio a transcrição dos dados para a planilha. Foram analisadas 342 folhas de verificação e foram auditados aproximadamente 1404 ciclos de produção, totalizando 2776 horas trabalhadas. Dessas horas, apenas 60% são produtivas, onde as outras 40% se dividem em manutenção corretiva (4%), paradas programadas (11%) e 25% de horas improdutivas.

Os autores fizeram a estratificação dos problemas de improdutividade no sistema de transporte mina-usina através de histogramas – Figura 15. O histograma referente às paradas inerentes à rotina da mina apresentou alta variabilidade, visto que as atividades aconteciam por um curto período. Os prejuízos dessas horas paradas geravam um acúmulo de tempos improdutivos. Já o histograma referente às paradas de ordem mecânica mostrou que essas horas improdutivas tinham longa duração. Com isso, havia situações com ociosidade em turnos completos de trabalho, afetando negativamente o sistema e os indicadores operacionais.

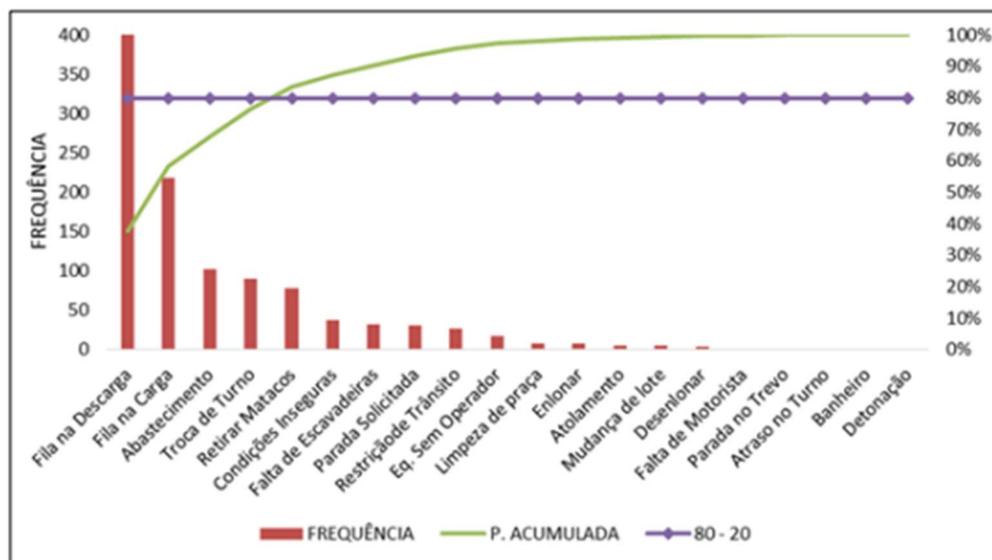
Figura 15 - Estratificação dos problemas de improdutividade no sistema de transporte mina-usina de beneficiamento



Fonte: Dados da pesquisa de Santos e Cruz (2017)

O Gráfico de Pareto mostrado na Figura 16 foi essencial para quantificar os principais problemas para a tomada de decisão e focar os esforços nos de maior impacto. Foram retiradas da análise as horas dedicadas às refeições e ao Diário Diário de Segurança – DDS.

Figura 16 - Resultados dos principais motivos de parada no sistema de produção rota mina-usina



Fonte: Dados da pesquisa de Santos e Cruz (2017)

Com a avaliação do gráfico de Pareto os esforços poderiam ser focados nas quatro primeiras causas, que geravam 80% dos problemas de horas improdutivas. Também foram empregadas as cartas de controle visando obter uma estabilidade no processo com relação aos turnos dos

empregados. Como resultado, observaram que aproximadamente às 13h os ciclos tendem a se alinhar com o valor da média, mostrando uma produção mais sob controle do que nos turnos da madrugada e início da manhã. O resultado foi associado ao tráfego de veículos, uma vez que o trajeto mina-usina utiliza vias públicas de transporte. O horário das 13h se apresenta como mais estável possivelmente pelo fato de que na manhã têm-se uma quantidade aumentada de veículos transitando e, na transição entre o dia e a noite o motorista requer maior atenção.

Os autores concluíram que, em 1858h produtivas, a frota tem uma Disponibilidade Física (DF) de 94% e uma Utilização de 67%. Foi analisado um cenário de melhorias, onde poderia realizar ações de melhoria nos principais motivos de paradas apontados no diagrama de Pareto, promovendo aproximadamente 70% de redução de improdutividade. Além disso, no cenário de melhorias seria dobrado o tempo gasto em manutenção preventiva, reduzindo em 50% a manutenção corretiva. As mudanças propostas nesse cenário seriam equivalentes a melhoria em 10 dos 28 itens identificados como principais motivos da improdutividade e retornariam um aumento 400h produtivas.

Como resultado dessas alterações propostas no cenário de melhoria, a DF subiria para 97% e a Utilização para 87%. Com os novos valores alcançados pelos indicadores após a implementação do cenário de melhorias, seriam necessários 19 caminhões para o transporte do material da mina para a usina, representando uma redução de 24% da frota.

Além disso, como o contrato entre as empresas de mineração e a de logística do transporte é em função de toneladas de material transportado, a redução da frota em 24% é benéfica para ambas. Esse benefício se dá em valores financeiros e na produção limpa. As empresas teriam redução dos insumos necessários, melhoria dos aspectos de compromisso ambiental e melhoria nas relações de sustentabilidade.

6.1.2. Estudo de Caso 2

O trabalho abordado neste tópico é intitulado “Melhoria contínua aplicada para carregamento e transporte na operação de mina céu aberto”, escrito por Coutinho (2017). Neste trabalho o autor trás três estudos de caso em que aplicou a Metodologia Lean Seis Sigma (DMAIC) para a redução de custo operacional e aumento da produção da mina.

O autor elaborou um conjunto de técnicas operacionais adequadas para ajudá-lo a desenvolver os projetos utilizando o DMAIC. Os três estudos de caso foram compilados para este trabalho e descritos em três tabelas. O primeiro projeto de melhoria é o de redução de custos operacional com pneus – Tabela 12.

Tabela 12 - Projeto de redução de custo operacional com pneus

Problema encontrado	Metas do projeto	Soluções encontradas para o problema	Resultados alcançados após realização das ações
Frota de equipamentos com 70% dos pneus perdidos (virando sucata), gerando aquisição e substituição por um pneu novo	Reduzir o núm. de pneus perdidos em 20,8% Ganho financeiro estimado de R\$320.735,46 por ano	Limpeza e alargamento das piscinas dos blocos Melhoria em condições da pista e acessos Melhoria na visibilidade e iluminação dos equipamentos	Redução do núm. de pneus perdidos em 50,8% Ganho financeiro estimado em R\$1.230.756/ano Redução do impacto ambiental, aumento da segurança nas operações da mina e aumento da DF da frota

Fonte: Autora, adaptado de Coutinho (2017).

No projeto de redução de custo operacional com pneus, a meta de 20,8% de redução foi superada atingindo uma redução de 50,8%. Isso aumentou a estimativa de retorno financeiro em 3,8 vezes do valor inicial esperado para o projeto. Além disso, conseguiu-se a redução do impacto ambiental, aumento da segurança e aumento da DF da frota. As ferramentas utilizadas neste primeiro projeto foram: gráfico de Pareto, *brainstorming*, diagrama de Ishikawa e matriz de priorização.

O segundo projeto é o de aumento de produção no transporte por caminhões – Tabela 13.

Tabela 13 – Projeto de aumento de produção no transporte por caminhões

Problema encontrado	Metas do projeto	Soluções encontradas para o problema	Resultados alcançados após realização das ações
----------------------------	-------------------------	---	--

Baixa produtividade no transporte de materiais por caminhões na operação de mina (média de 839 t.Km/h com desvio padrão de 90,89 t.Km/h)	Aumento de 3% na produtividade;	Melhoria dos pontos de acessos Redução da DMT	Aumento de 9,2% na produtividade dos caminhões
	Retorno financeiro estimado de R\$341.812,00 por ano		Ganhos financeiros de R\$1.100.000 Aumento na segurança no tráfego de equipamentos e redução de consumo de materiais de desgaste dos equipamentos (pneus, freios etc.).

Fonte: Autora, adaptado de Coutinho (2017).

No projeto de aumento de produção no transporte por caminhões, a meta inicial de aumento de 3% foi superada, alcançando um aumento de 9,2% na produção. A estimativa de retorno financeiro foi 3,2 vezes maior do que o valor esperado com a meta inicial. Além do aumento na produção e no ganho estimado, o projeto também retornou um aumento na segurança no tráfego de equipamentos e uma redução de consumo de materiais de desgaste. As ferramentas utilizadas neste projeto foram: gráfico de controle, teste de normalidade, *boxplot*, gráfico de Pareto, mapa do processo, fluxograma e *brainstorming*.

O terceiro projeto trazido por Coutinho (2017) é o de aumento de produção no transporte por correias transportadoras – Tabela 14.

Tabela 14 - Projeto de aumento de produção no transporte por correias transportadoras

Problema encontrado	Metas do projeto	Soluções encontradas para o problema	Resultados alcançados após realização das ações
Baixa produção de minério no sistema de correias transportadoras	Rendimento do sistema de correias de 68,26% no mês Produtividade de 29.670 t/dia	Limpeza do sistema de correias Correção da drenagem	Alcançado média de produção de 33.502 t/dia Ganho financeiro de R\$ 29.379.823 ao ano, referente ao aumento de produção no sistema e de redução de custos. Redução do impacto ambiental.

Fonte: Autora, adaptado de Coutinho (2017).

Igualmente com sucesso, o projeto para aumento de produção no transporte por correias transportadoras superou a meta estabelecida de aumentar a produtividade para 29.670 t/dia. O resultando alcançado foi um aumento da produtividade média para 33.502 t/dia, resultando em

uma estimativa de ganho financeiro de R\$ 29.379.823 e redução do impacto ambiental. As ferramentas aplicadas nesse terceiro projeto de melhoria foram: *benchmarking*, gráfico de Pareto, estratificação, matriz de priorização, *brainstorming* e matriz esforço x impacto.

Observa-se que, nos três projetos Lean Seis Sigma aplicados em pontos críticos da produção, o autor obteve um resultado positivo superior à meta estabelecida em cada um deles. Em sua pesquisa, o autor evidencia a importância de cada etapa, assim como o estabelecimento de indicadores para acompanhar o desempenho de cada projeto desenvolvido.

O autor aplica cada etapa utilizando diferentes ferramentas da qualidade, como Gráfico de Pareto para ajudar a identificar a causa mais frequente dos problemas levantados, *boxplot* para ajudá-lo a traçar a meta, *Brainstorming* e Matriz de Priorização para a visualização das principais causas e soluções e Matriz de Priorização, colocando em prática as ações que geram menor esforço e que geram o maior impacto. Dessa forma, o autor mostra como as ferramentas e a metodologia o ajudam a visualizar o problema e suas variáveis, planejando com sua equipe a melhor solução e gerando ganhos maiores que o planejado nos projetos aplicados.

6.1.3. Estudo de Caso 3

Este tópico aborda o trabalho de Coelho *et al.* (2016), intitulado “Aplicação da metodologia Seis Sigma para redução de custos com materiais de desgaste e rodante para equipamentos móveis e semimóveis de uma mineradora”. Por meio de uma abordagem qualitativa descritiva, o trabalho traz a aplicação da metodologia Seis Sigma para redução de custos com material rodante e material de desgaste para equipamentos móveis e semimóveis da Mina Brucutu.

A meta definida para o projeto foi de reduzir 10% do valor orçado para gastos com materiais de desgaste/material rodante, equivalente a R\$ 684.768,30. Por meio de uma estratificação, os autores mostram que na etapa de análise do fenômeno foram priorizados sete itens (problemas) que representaram 84,84% do total gasto no ano anterior ao projeto. Na análise do processo, através do Diagrama de Ishikawa, foram levantadas 29 causas potenciais para os sete problemas priorizados.

Através de uma Matriz Esforço x Impacto, foram priorizadas 12 causas geradoras de 80% dos problemas para serem tratadas com urgência. A ferramenta 5W2H foi utilizada para especificar

os itens relevantes para cada uma das 24 ações criadas para atracar o projeto. Assim, as seguintes perguntas foram feitas para montar o quadro de ações:

- o que fazer com a ação?
- por que a ação se faz necessária?
- como realizar a ação?
- quem é o responsável pela execução da ação?
- até quando a ação deve estar concluída?
- qual a data de reprogramação e status de acompanhamento da ação para saber se está em execução ou dentro do prazo, concluída ou atrasada?
- qual a observação de cada ação para saber evidência de conclusão ou motivo de atraso/cancelamento?

Como resultados obtidos com a aplicação da ferramenta DMAIC no projeto, a redução de custos com material rodante e material de desgaste para equipamentos móveis e semimóveis foi de 45,85%, o equivalente a R\$3.139.468,82 de redução no orçamento do ano. Quando comparado à meta de redução de 10%, o valor a supera em 40,38%. Com isso, os autores destacam que a metodologia foi mais relevante que o esperado em materiais que causam intensos impactos no orçamento da companhia.

6.2. Ferramentas de melhoria aplicadas no processamento mineral

6.2.1. Estudo de Caso 4

Neste tópico será abordado o artigo de Campos *et al.* (2020), “Estratégia para reduzir a variabilidade no teor de SiO₂ de *Sinter Feed* através da metodologia Seis Sigma”. Em seu trabalho, os autores abordam o problema de alta variabilidade do contaminante óxido de silício (SiO₂) do *Sinter Feed* em uma mineradora de ferro.

Os autores desenvolveram um Projeto de 6σ, utilizando o método PDCA, buscando diminuir a variação do contaminante SiO₂ do *Sinter Feed*. Após obterem as informações do teor de sílica do produto, os autores analisaram os dados no *Minitab*. Ao longo do trabalho foram utilizadas as ferramentas mostradas na Figura 17 para auxiliar no projeto desenvolvido.

Figura 17 - Ferramentas de qualidade utilizadas no projeto 6Sigma

FERRAMENTA	JUSTIFICATIVA
Gráfico sequencial	Observar o aspecto global dos dados e verificar a existência de alguma tendência ou de pontos que desviam muito dos demais.
Histograma	Por se tratar de uma distribuição de frequência, é possível observar a tendência central dos valores e sua variabilidade.
Estratificação	Visualizar a composição real dos dados por meio dos seus estratos, auxiliando na análise de oportunidades de melhorias.
SIPOC	Obter uma visão geral e clara do processo e suas etapas
Brainstorming	Emitir e detalhar ideias em grupo sobre um determinado assunto.
Diagrama de Ishikawa	Representar as possíveis causas que levam a determinado efeito.
Matriz de Priorização	Representar os problemas através de quantificações e assim estabelecer prioridade para abordá-los
Boxplot	Comparar visualmente o comportamento dos grupos e identificar a presença de outliers.

Fonte: Campos et al. (2020) adaptado de Pyzdek e Keller (2001); Marshall, Cierco, Rocha, Mota e Leusin (2009).

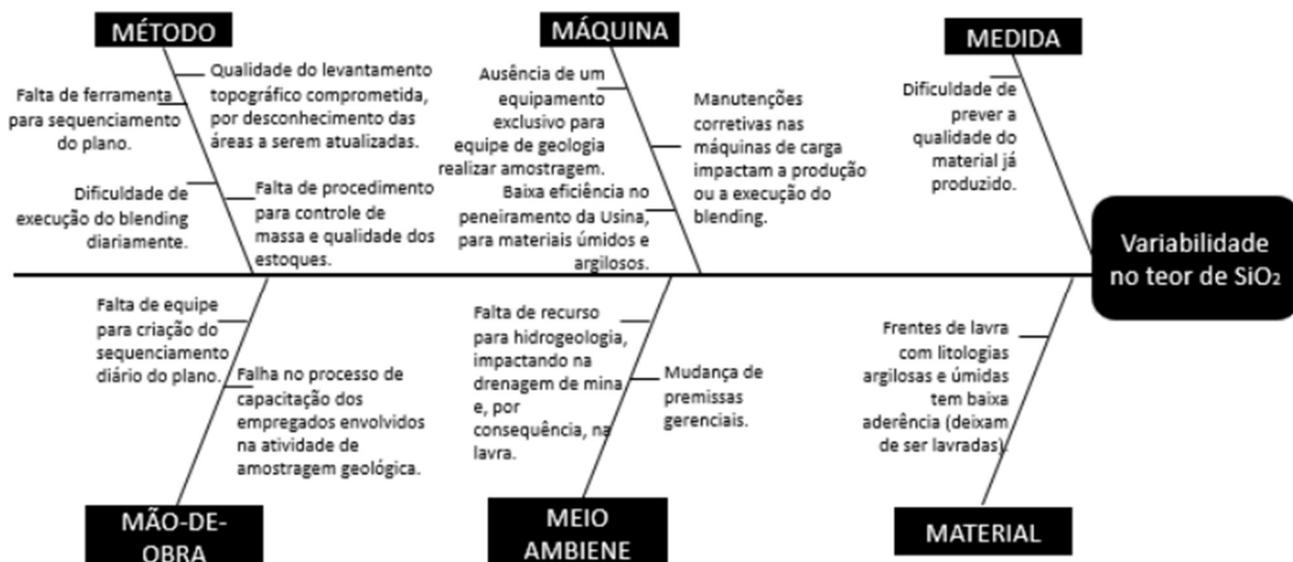
Os autores identificaram que a rota do beneficiamento não contemplava amostragem ou pilha de homogeneização do ROM (*Run of Mine*), que era enviado diretamente para o britador via caminhões. Por isso, seria necessário ter um controle eficiente do ROM pela correlação direta que este apresenta com o produto *Sinter Feed*.

A partir de um gráfico sequencial do acompanhamento diário do teor de SiO₂ durante 365 dias, foram identificados picos oscilatórios dos dados, maiores que a variabilidade aceitável. Também foram estudados um histograma e um *boxplot* dos dados, onde os autores verificaram que o menor coeficiente de variação obtido foi $\pm 25\%$, valor adotado como referência. Com esse valor referência, foi criado o indicador “Aderência” para mensurar, dentro do mês, quantos dias o teor de SiO₂ do produto estavam dentro dos limites inferior (LI) e superior (LS) estabelecidos com relação ao teor de SiO₂ orçado. A meta estabelecida para o indicador Aderência foi que o teor de SiO₂ fique dentro do LI e LS orçado em 62% dos dias no mês.

Os autores utilizaram da estratificação no *boxplot* para analisar o material produzido pelas equipes por turnos. Foi observado que, em média, 38% dos turnos mantêm a qualidade dos produtos dentro das especificações. Optando por tratar o problema de forma generalizada, foram feitas reuniões do tipo *brainstorming* para mapear os processos e os principais impactantes utilizando da ferramenta SIPOC. Após a reflexão dos impactantes do processo, os

autores construíram o Diagrama de Ishikawa (Figura 18) e priorizaram as causas a partir dos critérios de impacto no problema, custo, autonomia e rapidez.

Figura 18 - Diagrama de causas da variabilidade no teor de SiO₂.



Fonte: Campos *et al.* (2020)

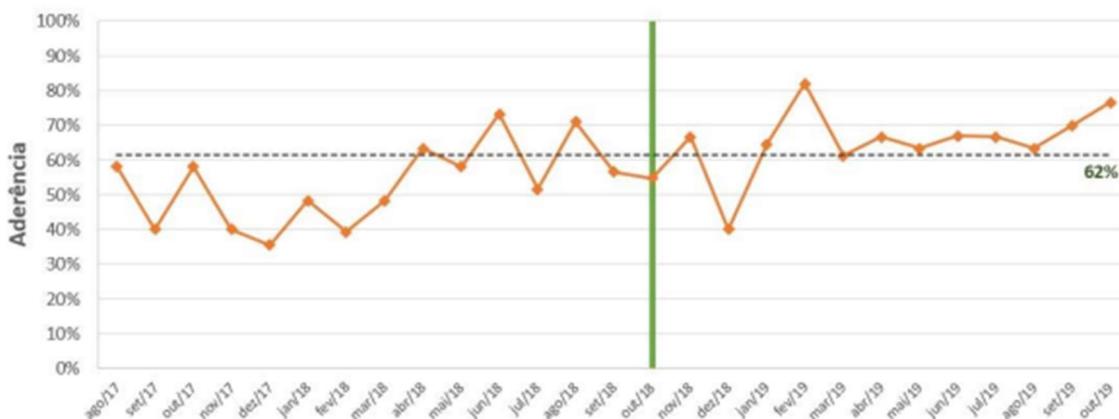
Assim, as causas escolhidas foram:

- 1) Qualidade do levantamento topográfico comprometida, por desconhecimento das áreas a serem atualizadas;
- 2) Dificuldade de prever a qualidade do material já produzido;
- 3) Falta de equipe para criação do sequenciamento diário do plano;
- 4) Falha no processo de capacitação dos empregados envolvidos na atividade de amostragem geológica;
- 5) Dificuldade de execução do *blending* diariamente;
- 6) Frentes de lavra com litologias argilosas e úmidas tem baixa aderência (deixam de ser lavradas).
- 7) Falta de procedimento para controle de massa e qualidade dos estoques.
- 8) Ausência de um equipamento exclusivo para equipe de geologia realizar amostragem. (Campos et al., 2020, pág. 10)

As causas da oscilação de teor de SiO₂ foram resolvidas por meio da criação de relatórios automatizados no Power BI, da capacitação e reformulação da grade de funcionários e pela contratação de um equipamento exclusivo para amostragem. A ferramenta *Line Up* também foi utilizada para ajudar a equipe do planejamento de curto prazo a direcionar as atividades das demais equipes. Com isso, foi alcançado um alinhamento adequado entre as equipes, de forma que serviços prévios a lavra sejam executados em tempo, não prejudicando o *blending*.

As estratégias apresentadas foram referentes à etapa de execução do ciclo PDCA. Na etapa de verificação e ação, observa-se uma melhoria na consistência dos dados da variação do teor mensal. Ao acompanhar o gráfico do indicador Aderência, na Figura 19, observa-se que as medidas adotadas se mostraram eficientes, visto que a média era de 51% antes da implementação do projeto e, depois, ultrapassou a meta de 62%.

Figura 19 - Perfil do indicador Aderência antes e depois do início do projeto, marcado pela linha em verde.



Fonte: Campos *et al.* (2020)

Em suma, como uma das etapas do Projeto Seis Sigma de Campos *et al.* (2020) foi criado o indicador Aderência, que após um ano de implantação aumentou de 51% para 65%, diminuindo a variabilidade do teor de SiO₂ e mantendo a qualidade especificada do *Sinter Feed* produzido.

6.2.2. Estudo de Caso 5

Neste tópico é apresentado o artigo “As ferramentas da qualidade aplicadas em uma empresa de beneficiamento da cal: um estudo de caso”, de Brito *et al.* (2012). Os autores trazem em seu trabalho, descritiva e quantitativamente, o uso de ferramentas da qualidade aplicadas no monitoramento do processo de concentração de cal do calcário (hidróxido de cálcio, Ca(OH)₂) em uma mineradora do Rio Grande do Norte (RN).

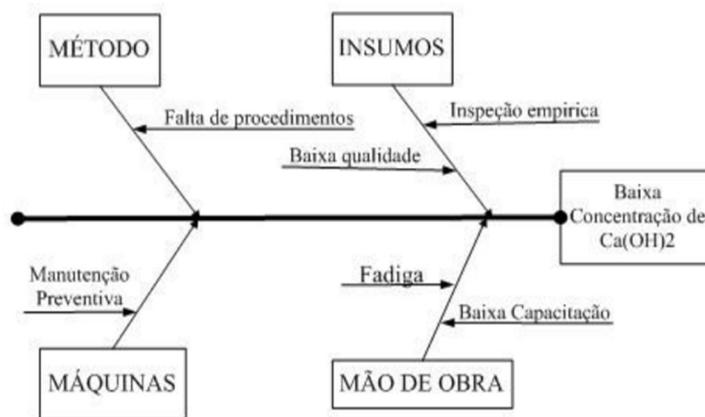
A matéria prima fornecida pelos fornos da região apresenta baixa qualidade e muitas impurezas, impactando na qualidade do produto Ca(OH)₂ que apresenta baixa concentração. Para alcançar produtos com qualidade, a empresa controla a dosagem da água e cal no processo de hidratação, fazendo a seleção de impurezas no fornecimento da matéria prima.

Foi realizada uma coleta de dados através de entrevistas com dois operadores “O” e “C”, além de medições durante o processo de concentração de Ca(OH)_2 . Em seguida, os dados foram tratados e os problemas que afetavam a qualidade do produto foram identificados.

O fluxograma do processo de beneficiamento da cal ajudou a identificar que, após o recebimento da cal hidratada, é realizada uma inspeção via análise laboratorial para definição da conformidade da matéria prima e, em seguida, um processo de classificação via caracterização da cal conforme granulometria. Em ambos os casos de não conformidade das especificações, são aplicados processos corretivos para atingir o produto Ca(OH)_2 concentrado.

A folha de verificação tem um papel fundamental no controle da produção, e com uma estratificação dos dados apontou informações como a data, o lote verificado, o operador responsável, o percentual da granulometria e a concentração de Ca(OH)_2 . Os dados foram tratados mensalmente em planilhas eletrônicas. Foi construído um histograma para cada operador, identificando que os dados do operador “O” apresentavam maior dispersão que os do operador “C”. Por meio de observações, os autores construíram um Diagrama de Ishikawa para a baixa concentração de Ca(OH)_2 , como mostrado na Figura 20.

Figura 20 - Diagrama de Ishikawa da Concentração de Ca(OH)_2



Fonte: Brito *et al.* (2012).

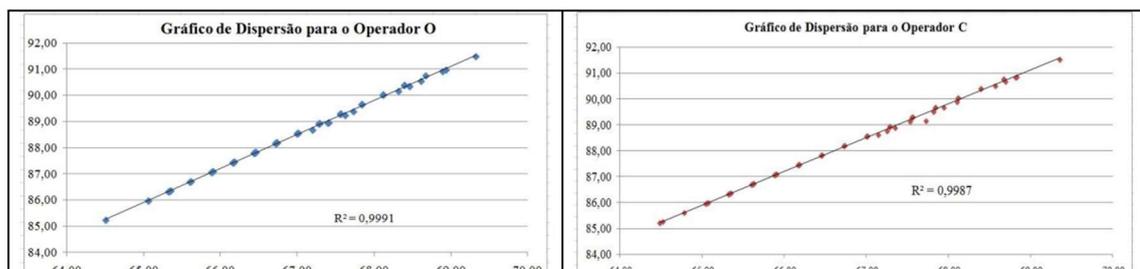
Com base no Diagrama de Ishikawa, foi levantado que a baixa concentração do Ca(OH)_2 pode ser causada por fatores como:

- falta de manutenção preventiva das máquinas dos processos, que são antigas;

- baixa qualidade dos insumos, uma vez que o método de produção utilizado pela empresa carece de novas tecnologias;
- não adequação do procedimento para extração do calcário, que é realizada de forma braço e com insumos/ferramentas rudimentares;
- fadiga e baixa capacitação dos funcionários.

Os autores também estudaram, por meio do Gráfico de Dispersão (Figura 21), a correlação entre a concentração de CaO e Ca(OH)₂. Os autores observaram que as correlações são praticamente perfeitas ($R^2 \approx 1$) para ambos os operadores, indicando que a qualidade da cal recebida está fortemente atrelada com o produto Ca(OH)₂ e direcionando a empresa a focar na qualidade de seus insumos.

Figura 21 - Gráfico de dispersão para os operadores O e C



Fonte: Brito *et al.* (2012).

Utilizando Gráficos de Controle para analisar a concentração de Ca(OH)₂ para cada operador, os autores concluíram que a maior variação em torno da média para o operador “O” indica que um monitoramento seja aplicado ao operador. Dessa forma, os autores concluem que as ferramentas são complementares entre si. Ao usá-las em conjunto, permitem uma determinação mais apurada das causas dos problemas.

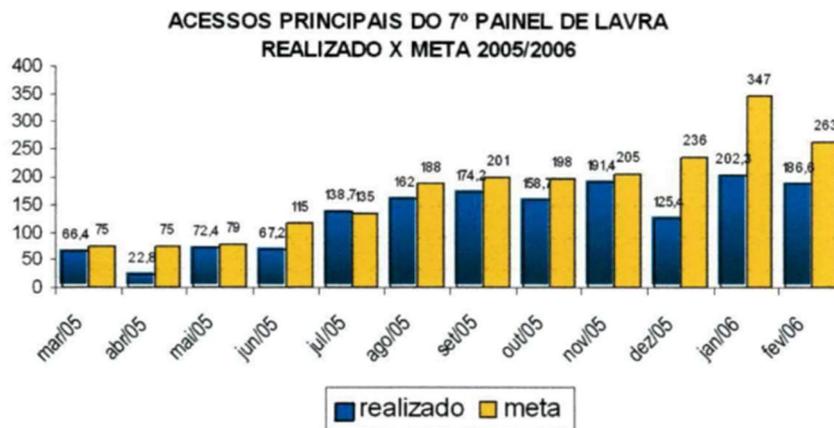
Assim, os autores recomendam a utilização das ferramentas para a empresa melhorar o processo e a qualidade do produto, ou seja, maior concentração da Ca(OH)₂. Além disso, também reforçam que um dos principais gargalos do processo são as medidas de seleção de fornecedores de insumos, devendo a empresa buscar melhor seleção de matéria prima, além de melhores tecnologias para o processo.

6.3. Ferramentas de melhoria aplicadas na lavra

6.3.1. Estudo de Caso 6

Neste tópico é apresentado o trabalho de Filho (2012), intitulado “O método de gerenciamento de melhorias contínuas aplicada na mineração Caraíba S/A”. O autor aplica em seu trabalho o método de melhorias PDCA em um problema no 7º painel da Mina Caraíba de descumprimento de metragem de desenvolvimento programada pelo setor de planejamento da Mineração Caraíba – Figura 22.

Figura 22 – Metragem Realizada x Planejada da Mineração Caraíba SA



Fonte: MCSA *apud* Filho (2012)

A meta do projeto foi estipulada a partir das metas de planejamento mensal, que indicam a metragem de desenvolvimento estabelecidas pela empresa, como mostra a figura acima. Na análise do fenômeno a folha de verificação foi utilizada para coletar os dados dos problemas, identificando a ocorrência e a suas frequências. Os dados foram organizados para um diagrama de Pareto para identificar o principal problema afetando o alcance da metragem de desenvolvimento.

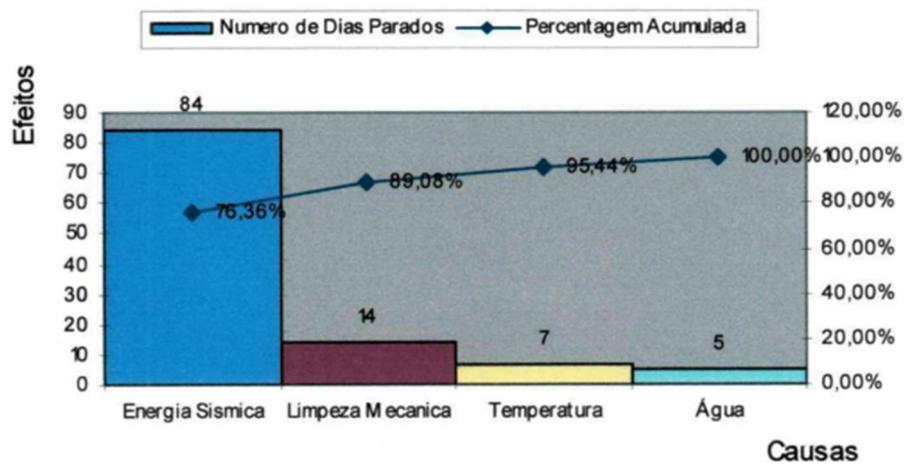
Com o uso as ferramentas o autor identificou a presença de água no 3º ao 6º painel, que afetava o 7º painel. A água era proveniente da infiltração do maciço, da refrigeração dos equipamentos e da limpeza dos furos. Em fator dessa água, em determinadas datas levantadas alguma frente ficou aguardando bombeamento para liberação.

Os problemas listados a seguir também foram identificados como responsáveis pela parada de algumas frentes de trabalho:

- alta temperatura, fator que depende exclusivamente do desenvolvimento das galerias para abertura das chaminés;
- baixa DF e baixa prioridade de equipamentos de carregamento e transporte para a remoção do material desmontado no 7º painel;
- atrasos das frentes de desenvolvimento por causa do estado de tensão das rochas pós desmonte, pois é necessário que se estabilizem antes do acesso à área.

Passando os dados coletados na folha de verificação para o Gráfico de Pareto – Figura 23, ficou claro que o principal problema era o elevado estado da tensão da rocha do 6º e 7º painéis de lavra, pois a sismicidade nessas áreas estava dificultando a retomada dos trabalhos.

Figura 23 - Gráfico de Pareto das causas do atraso no desenvolvimento



Fonte: MCSA *apud* Filho (2012)

Na análise processo foram utilizados o *Brainstorming* e o Diagrama de Ishikawa para identificar as principais causas dos problemas verificados na etapa anterior. Com os dados em mãos, foram traçadas ações detalhadas com a causa, ação, como realizar a ação e o prazo para aplicação da solução nos problemas identificados. As medidas tomadas foram priorizadas com relação ao baixo custo, eficácia, rapidez e simplicidade.

Para a solução da limpeza mecânica, foram abertos pontos de carga para facilitar a remoção do material empolado das galerias e o procedimento de limpeza das frentes do 7º painel foi modificado para que houvesse maior priorização dos equipamentos para a atividade. Já para a temperatura, foram feitos investimentos no sistema de ventilação aumentando a segurança e rendimento da operação.

Quanto à água, o bombeamento mecânico nos níveis acima do 7º painel foi priorizado, proporcionando melhor rendimento operacional na área. Como a característica da mina é de rocha fraturada, onde o acúmulo de água desceria pelas fraturas da rocha, a ação diminuiu consideravelmente o bombeamento do 7º painel.

Quanto ao alívio de tensões na frente de desenvolvimento, foi utilizada a técnica de alívio de tensões e, após coletadas informações sobre a sismicidade, o tempo de espera para a retomada do desenvolvimento foi reduzido sem nenhum ponto problemático. Além disso, as ações aplicadas para o controle de tensões ainda garantiram a segurança do pessoal e de equipamentos envolvidos nas frentes de lavra.

Com a liberação o 7º painel de lavra, foram liberados 223.520t de minério. No mês de disponibilização do local para lavra (abril), foram produzidos 82000t de minério e gerou uma receita líquida de US\$3.537.392,05. A critério de comparação, de janeiro a março o plano de produção anual não foi cumprido, correspondendo a 38000t de minério que deixaram de ser retirados, levando a uma perda de US\$1.639.279,24.

6.4. Resultados

A Tabela 15 mostra a relação das ferramentas aplicadas nos estudos de caso abordados nesse trabalho.

Tabela 15 - Relação das ferramentas utilizadas nos Estudos de Caso

Ferramentas	Estudo de caso 1	Estudo de caso 2	Estudo de caso 3	Estudo de caso 4	Estudo de caso 5	Estudo de caso 6
5W2H			X			
Benchmarking		X				
Brainstorming		X		X		X
BoxPlot		X		X		
Cartas de controle	X	X			X	
Ciclo PDCA				X		X
Diagrama de dispersão					X	
Diagrama de Ishikawa		X	X	X	X	X
Diagrama de Pareto	X	X				X
DMAIC		X	X			
Estratificação	X	X	X	X	X	
Folha de verificação	X				X	X
Fluxograma/Mapa do processo	X	X			X	
Gráfico sequencial				X		

Histograma	X			X	X	
Matriz de priorização		X		X		
Matriz Esforço vs Impacto		X	X			
SIPOC				X		
Teste de normalidade		X				
Line Up				X		

Fonte: Autora.

Os trabalhos selecionados contêm uma alta variedade de ferramentas de qualidade utilizadas nos projetos dos autores. É importante ressaltar que as ferramentas sempre funcionam em conjuntos, como mostra a tabela. Sendo usadas separadas as ferramentas não apresentam muitos resultados para as melhorias, visto que cada uma tem um objetivo diferente.

As ferramentas menos utilizadas foram o *Line Up*, teste de normalidade, SIPOC, 5W2H e *benchmarking*. Porém, são ferramentas que se mostram vantajosas para avaliar o planejamento diário, como a primeira, para avaliar o processo, como o teste de normalidade e o SIPOC, para o melhor desenvolvimento de ações, como o 5W2H e na avaliação de mercado, como a última.

Já entre as ferramentas mais utilizadas estão o diagrama de Ishikawa e a estratificação, com 83% de utilização nos estudos de caso que integram este trabalho. Ambas as ferramentas são amplamente conhecidas, com o primeiro auxiliando na identificação das causas de um problema e o segundo na análise de oportunidades de melhoria separando as atividades dos processos. É importante ressaltar que, embora não especificado nos trabalhos, o histograma e o diagrama de Pareto são muito utilizados na estratificação.

No Estudo de Caso 4, os autores identificaram as causas do problema através do Diagrama de Ishikawa, e priorizam essas causas a partir dos critérios de impacto no problema, custo, autonomia e rapidez. Existem algumas ferramentas, como a Matriz GUT, Matriz BASICO e os 5 porquês – onde são perguntados 5 vezes o porquê daquela causa ocorrer – que auxiliam na busca pela causa raiz do problema, para assim corrigi-lo com mais assertividade.

Trazendo essa análise crítica para outros estudos de caso, o uso das ferramentas de qualidade nos projetos de melhoria pode trazer resultados diferentes de acordo com a ferramenta implementada. Ambos os resultados serão bem-vindos, mas caberá ao gestor do projeto avaliar a forma como tratar o problema e qual ferramenta melhor se aplica à tomada de decisão.

Também é importante ressaltar que a quantidade de ferramentas aplicadas não necessariamente implica em um melhor resultado. Os estudos de caso 1 e 5 aplicaram 6 e 7 ferramentas, respectivamente, e não obtiveram resultados mensurados ou metas para atingir. Em contrapartida, os estudos de caso 3 e 6, por exemplo, com 5 ferramentas aplicadas, obtiveram traçaram metas e alcançaram resultados.

De 6 trabalhos, 33% aplicaram o PDCA (estudos de caso 4 e 6) e outros 33% aplicaram o DMAIC (estudos de caso 2 e 3). Esses quatro trabalho foram os únicos que aplicaram de fato as soluções sugeridas e chegaram a um resultado. As ferramentas DMAIC e PDCA funcionam como direcionadores do projeto, com etapas a serem definidas e seguidas, que ajudam a orientar os resultados almejados. A Tabela 16 mostra a relação de trabalhos que mensuraram seus ganhos nos projetos aplicados.

Tabela 16 - Ganhos expressos por Estudo de Caso

Os ganhos foram expressos?	Estudo de caso 1	Estudo de caso 2	Estudo de caso 3	Estudo de caso 4	Estudo de caso 5	Estudo de caso 6
Sim, apenas estimados caso o projeto seja implementado	X					
Sim, apenas alcançados						X
Sim, estimados antes do projeto e alcançados com a implementação do projeto		X	X	X		
Não					X	

Fonte: Autora.

Os ganhos analisados na tabela são de cunho financeiro e não financeiro. Os estudos de caso 1, 2 e 6 apresentaram ambos. Pode ser observado que apenas o estudo de caso 5 não teve seu ganho estimado, e o estudo de caso 1 só teria seus ganhos alcançados com a implementação do cenário de melhoria sugerido. Os dois trabalhos foram os únicos que não utilizaram metodologias direcionadoras – DMAIC ou PDCA.

Os projetos desenvolvidos nos estudos de casos 2, 3 e 4 utilizaram da metodologia Seis Sigma, aplicando DMAIC ou PDCA. Os três projetos conseguiram estimar os ganhos que poderiam ser atingidos com os projetos e, além disso, conseguiram superar as estimativas. O uso dessas ferramentas pode ter colaborado para o resultado alcançado, principalmente por todo o planejamento, checagem e melhorias aplicadas ao processo.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dessa revisão bibliográfica, foram abordadas aplicações de ferramentas da qualidade para melhoria da performance na frota de equipamentos da operação de mina, melhoria de processos do beneficiamento e no planejamento de lavra de minérios. Com os estudos de caso, foi possível conhecer diversas aplicabilidades das ferramentas de qualidade para alcançar maior produtividade e redução de custos no dia a dia do mercado de trabalho, além de promover maior organização e controle de importantes variáveis do processo, como performance, custos e teor.

Com a revisão bibliográfica da gestão da qualidade, de metodologias e ferramentas de qualidade abordadas nos estudos de caso, foi possível apurar os conhecimentos na melhoria contínua do dia a dia do mercado de trabalho na mineração, além de avaliar a influência do uso de metodologias de gestão da qualidade no resultado de projetos de melhoria. Foi observado que, na amostra de trabalhos apresentados, o uso de metodologias direcionadoras, como o DMAIC e PDCA foram essenciais para estabelecer metas, traçar ações e se alcançar resultados.

Essas ferramentas promovem desenvolvimento e visão de mercado para agirem de acordo com o cenário. Ao concluir este trabalho, fica evidente que a aplicação das ferramentas da qualidade nas mineradoras desempenha um papel fundamental na melhoria dos processos operacionais, na eficiência, na qualidade dos produtos e serviços, na segurança e na sustentabilidade do setor. Fica claro também que a incorporação deste tema na grade curricular dos cursos de Engenharia de Minas é importante para a formação de profissionais, uma vez que estarão ainda mais preparados para resolver os problemas do mercado de trabalho com a aplicação de metodologias e ferramentas gestão da qualidade.

8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros, é recomendado:

- Estudo da importância de outras ferramentas da qualidade, como Análise SWOT, 5S, 5 Porquês e Matriz de Risco em diversos setores na mineração.
- Avaliar a influência de metodologias como PDCA e DMAIC em uma amostra mais representativa de estudos de casos na mineração.
- Inserir os estudos de gestão da qualidade e aplicação das ferramentas de gestão da qualidade na grade curricular dos cursos de engenharia.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR ISO 9001:2015** – Sistemas de Gestão da Qualidade: Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 32 p.

ALBERTIN, M. R.; KOHL, H.; ELIAS, S. J. B. **Manual do Benchmarking**: um guia para implantação bem-sucedida. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2015. 176 p.

ARAÚJO, M. M. D. **Qual a importância do acompanhamento diário e engajamento no Floor Management Development System (FMDS) para a tomada de decisões e controle de Key Performance Indicator (KPI) em uma mina de cobre no sudeste do Pará**. 2020. 36 f. Monografia (Engenharia de Minas e Meio Ambiente) - Faculdade de Engenharia de Minas e Meio Ambiente, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá, 2020. Disponível em: <<http://repositorio.unifesspa.edu.br/handle/123456789/473>>. Acesso em: 14 jul. 2023.

BAPTISTA, A. R. F. P.; GONÇALVES, H. H. B. A. Q.; ANDRADE, A. de S.; DIAS, G. I. J.; RAMOS, J. M. Q.; MENEZES, C. B. A.; BAPTISTA, V. F. **Matrizes G.U.T. e 5W2H: Suas aplicações em um contexto socioambiental**. Revista Tecnologia & Cultura, Rio de Janeiro, v. 21, n. 31, p. 55-64, jna./jun. 2018. Disponível em: <<http://www.cefet-rj.br/attachments/article/195/revista31.pdf#page=56>>. Acesso em: 12 jul. 2023.

BARNABÉ, P. R. **Análise da capacidade produtiva através da implantação de ferramentas da qualidade e melhoria de processo em uma indústria de pequeno porte**: um estudo de caso. 2015. 67 f. Monografia (Engenharia Industrial Química) - Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2015. Disponível em: <<https://sistemas.eel.usp.br/bibliotecas/monografias/2015/MEQ15049.pdf>>. Acesso em: 17 jul. 2023.

BELFIORE, P. **Estatística aplicada à administração, contabilidade e economia com Excel e SPSS**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2015. 461 p. ISBN 978-85-970-0642-1.

BRASIL. TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. **Técnicas de Auditoria**: Mapa de Processos. Brasília: TCU, Coordenadoria de Fiscalização e Controle, 2000. 18 p. Disponível em: <http://ifpaprojekt.pbworks.com/f/TCU_MAPA_DE_PROCESSO.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2023.

BRASIL. TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. **Técnica de Análise de Problemas para Auditorias / Tribunal de Contas da União**. Brasília: TCU, Segecex, Secretaria de Métodos Aplicados e Suporte à Auditoria (Seaud), 2013. 27p. Disponível em: <<https://portal.tcu.gov.br/biblioteca-digital/tecnicas-de-analise-de-problemas.htm>>. Acesso em: 27 jun. 2023.

BRITO, A. K. A.; OLIVEIRA, C. M. de G.; BEZERRA, I. R. M.; OLIVEIRA, A. J. As ferramentas da qualidade aplicadas em uma empresa de beneficiamento da cal: um estudo de caso. *In: XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 32, 2012, Bento Gonçalves. **Anais** [...]. São José dos Campos: ABEPRO, 2012. Disponível em: <https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2012_tn_sto_157_913_20807.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2023.

BROWN, C. Why and how to employ the SIPOC model. **Journal of Business Continuity & Emergency Planning**, Salt Lake City, v. 12, n. 3, p. 198-210, jan. 2019. Disponível em: <<https://www.henrystewartpublications.com/sites/default/files/JBC12.3Whyandhowtoemploythe%20SIPOCmodel.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2023.

BUDKE, R. **Quantificação da diluição operacional na Mina do Salobo**. 2019, 74 f. Monografia (Especialização *latu sensu*) - Instituto Tecnológico Vale, Ouro Preto, 2019. Disponível em: <<https://www.itv.org/wp-content/uploads/2020/03/TCC-Regis-Budke-vf-.pdf>>. Acesso em: 14 jul. 2023.

CAMPELO, A. C. M. M. **Estimativa de indicadores de desempenho da lavra para integração entre sistema de despacho e programação diária**. 2018, 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciências), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-18092018-081939/publico/AnaCarladeMeloMoreiraCampeloCorr18.pdf>>. Acesso em: 14 jul 2023.

CAMPOS, B. M. M.; JUNIA, N. L. D. C. D.; MAZZINGHY, D. B.; CAMPOS, P. H. A. Estratégia para reduzir a variabilidade no teor de SiO₂ de Sinter Feed através da Metodologia Seis Sigma (6S). **HOLOS**, Natal, v. 4, p. 1-16, 2021. Disponível em: <<https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/9394>>. Acesso em: 15 jun. 2023.

CAMPOS, C. A. D.; RODRIGUES, M.; OLIVEIRA, R. S. LEAN MANUFACTURING: Produção Enxuta. **Revista Científica E-Locução**, Extrema, v. 1, n. 10, p. 1-18, Dezembro 2016. Disponível em: <<https://periodicos.faex.edu.br/index.php/e-Locucacao/article/view/141>>. Acesso em: 31 jul. 2023.

CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da Qualidade: Conceitos e Técnicas**. 3º. ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2016. 240 p. ISBN 978-85-970-0642-1.

CARVALHO, C. P. D.; SENNA, N. N. B. Planejamento Estratégico: Estudo de caso no mercado de farmácia de manipulação. *In: XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 35, 2015, Fortaleza. **Anais [...]**. São José dos Campos: ABEPRO, 2015. Disponível em: <https://abepro.org.br/biblioteca/tn_sto_206_219_28437.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2023.

CHEN, T. Discussion on Integration of Lean Production and Six Sigma Management. **International Business Research**, Richmond Hill, v. 1, n. 1, p. 38-42, Jan. 2008. Disponível em: <<https://ccsenet.org/journal/index.php/ibr/article/view/1014>>. Acesso em: 15 jul. 2023.

COELHO, A. F.; SILVA, G. L.; SOUZA, C. J. de A.; LAGE, B. de C. F.; GUERRA, M. de O. L. Aplicação da metodologia Seis Sigma para redução de custos com materiais de desgaste e rodante para equipamentos móveis e semimóveis de uma mineradora. *In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DE SERGIPE*, 8, 2016, São Cristóvão. **Anais [...]**. São Cristóvão: DEPRO/UFS, 2016. p. 616-630. Disponível em: <<https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/7745/2/AplicacaoMetodologiaSeisSigma.pdf>>. Acesso em: 20 jun, 2023.

CONCEIÇÃO, S. V.; PINTO, L. R.; AGUILAR, R. S. D. Adequação de um sistema de picking no armazém de produtos acabados de uma empresa de produtos elétricos. *In: XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 25, 2005, Porto Alegre, **Anais [...]**. São José dos Campos: ABEPRO, 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/MCBR-8AMG8U/9/artigo_xxv_enegep.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2023.

COUTINHO, H. L. **Melhoria contínua aplicada para carregamento e transporte na operação de mina a céu aberto**. 2017. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral), Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/9435>>. Acesso em: 16 jun. 2023.

COUTINHO, T. Veja como priorizar tarefas da forma correta com o auxílio da Matriz Esforço x Impacto. **Voitto**, 13 Março 2019. Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/matriz-esforco-impacto>>. Acesso em: 30 jun. 2023.

COUTINHO, T. Conheça os 8 Desperdícios do Lean Manufacturing e como evitá-los. **Voitto**, 09 Junho 2020. Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/8-desperdicios-lean>>. Acesso em: 31 jul. 2023.

COUTINHO, T. Você sabe o que é o SIPOC? Aprenda como utilizar essa ferramenta! **Voitto**, 30 Setembro 2020. Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/como-fazer-um-sipoc>>. Acesso em: 03 jul. 2023.

DENNIS, P. **Produção Lean Simplificada**: um guia para entender o sistema de produção mais poderoso do mundo. 2ª ed., Porto Alegre: Bookman, 2008. ISBN 978-85-7780-291-3.

FIELD, A. **Descobrendo a estatística usando o SPSS**. 2ª. ed., Porto Alegre: Artmed, 2009. ISBN 978-85-363-2018-2.

FILHO, E. G. **O método de gerenciamento de melhorias contínuas aplicada na mineração Caraíba S/A**. 2013, 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas), Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/10626>>. Acesso em: 16 jun. 2023.

FM2S. Histograma: O que é, tipos e como construir. **FM2S Educação & Consultoria**, 18 Maio 2020. Disponível em: <<https://www.fm2s.com.br/blog/histograma>>. Acesso em: 30 jun. 2023.

GOOGLE. Dólar americano a Real brasileiro. **GOOGLE FINANÇAS**, 01 Julho 2023. Disponível em: <https://www.google.com/finance/quote/USD-BRL?sa=X&ved=2ahUKEwiL5oH4zO3_AhWvCLkGHUGoDI4QmY0JegQIBhAc&window=5D>. Acesso em: 01 jun. 2023.

JUSTO, A. S. Matriz BASICO: o que é e como utilizá-la na priorização dos seus projetos. **Eaux Consulting**, 19 Julho 2019. Disponível em: <<https://www.euax.com.br/2019/07/matriz-basico/>>. Acesso em: 31 jul. 2023.

JUSTO, A. S. Matriz de priorização: como organizar e selecionar projetos, processos e chamados em 6 passos. **Eaux Consulting**, 12 Junho 2019. Disponível em: <<https://www.euax.com.br/2019/06/matriz-de-priorizacao/>>. Acesso em: 13 jul. 2023.

LABONE. Saiba como o Histograma Excel funciona e os principais cuidados. **Labone Consultoria**, 2018. Disponível em: <<https://www.laboneconsultoria.com.br/histograma-excel/>>. Acesso em: 31 jul. 2023.

LAVORATO, M. As vantagens do benchmarking ambiental. **Revista Produção Online**, Santa Catarina, v. 4, n. 2, p. 1-17, maio 2003. ISSN 1676 - 1901. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/307/408>. Acesso em: 19 jul. 2023.

LILIANA, L. A new model of Ishikawa diagram for quality assessment. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, Kozani, v. 161, n. 1, p. 1-6, Set. 2016. Disponível em: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/161/1/012099/meta>>. Acesso em: 14 jul. 2023.

LOBO, R. N. **GESTÃO DA QUALIDADE**. 2ª. ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2020. 216 p. ISBN 978-85-365-3261-5.

LOPES, J. C. D. C. **Gestão da Qualidade: Decisão ou Constrangimento Estratégico**. 2014, 76 f. Dissertação (Mestrado em Estratégia Empresarial), Universidade Europeia, Lisboa, 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10400.26/13214>>. Acesso em: 14 julho 2023.

MACHADO, S. S. **Gestão da qualidade**. Inhumas: IFG; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2012. 92 p. Disponível em: <https://proedu.rnp.br/bitstream/handle/123456789/386/gestao_da_qualidade.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 14 jul. 2023.

MADEIRA, P. Benchmarking : a arte de copiar. **Jornal do Técnico de Contas e da Empresa (JTCE)**, Lisboa, v. 32, n. 411, p. 364-367, Dez. 1999. ISSN 0870-2241. Disponível em: <<https://repositorio.ipcb.pt/bitstream/10400.11/964/1/Benchmarking.pdf>>. Acesso em: 19 jul. 2023.

MANDARINO, M. F. **Análise de métodos para planejamento de curto prazo: uma abordagem para o line up**. 2018, 46 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas),

Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018. Disponível em: <https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/851/1/MONOGRAFIA_AnaliseM%c3%a9todosPlanejamento.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2023.

MELLO, M. F. de.; ARAUJO, A. C.; CUNHA, L. A.; SILVA, N. J. da. A importância da utilização de ferramentas da qualidade como suporte para a melhoria de processo em indústria metal mecânica – Um estudo de caso. In: XXXVI Encontro nacional de Engenharia de Produção, 36, 2016, João Pessoa. **Anais [...]**. São José dos Campos: ABEPRO, 2016. Disponível em: <https://abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_226_323_28620.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2023.

NAPOLEÃO, B. M. 5W2H. **Ferramentas da Qualidade**, 10 Agosto 2018. Disponível em: <<https://ferramentasdaqualidade.org/5w2h/>>. Acesso em: 12 jul. 2023.

NAPOLEÃO, B. M. Matriz GUT (Matriz de Priorização). **Ferramentas da Qualidade**, 17 Abril 2019. Disponível em: <<https://ferramentasdaqualidade.org/matriz-gut-matriz-de-priorizacao/>>. Acesso em: 03 jul. 2023.

NÄSLUND , D. Lean, six sigma and lean sigma: fads or real process improvement methods? **Business Process Management Journal**, Jacksonville, v. 14, n. 3, p. 269-287, Jun. 2008. ISSN 1463-7154. Disponível em: <<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/14637150810876634/full/html>>. Acesso em: 1 jul. 2023.

NETO, J. V.; SANTOS, C. B. dos.; TORRES, E. M.; ESTRELA, C. Boxplot: um recurso gráfico para a análise e interpretação de dados quantitativos. **Revista Odontológica do Brasil Central**, Goiânia, v. 26, n. 76, p. 1-6, 2017. ISSN 1981-3708. Disponível em: <<https://robrac.org.br/seer/index.php/ROBRAC/article/view/1132>>. Acesso em: 18 jul. 2023.

OLIVEIRA, O. J. **Curso básico de Gestão da Qualidade**. São Paulo: Cengage Learning, 2014. 182 p. ISBN 978-85-221-1797-0.

PICCHI, F. A. Entenda os “7 desperdícios” que uma empresa pode ter. **Lean Institute Brasil**, 2017. Disponível em: <<https://www.lean.org.br/artigos/1131/entenda-os-%E2%80%9C7-desperdicios%E2%80%9D-que-uma-empresa-pode-ter.aspx>>. Acesso em: 31 jul. 2023.

RASMUSSEN, D. **SIPOC Picture Book: A Visual Guide to SIPOC/DMAIC Relationship**. Madison: Oriell Incorporated, 2006, 18p.

REIS, L. V.; SILVA, A. L. E.; CORBELLINI, R. H.; RABUSKE, F. B. O uso das ferramentas brainstorming e 5W2H no planejamento de combate a incêndio em indústrias de tabaco. *In: XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 36, 2016, João Pessoa. **Anais [...]**. São José dos Campos: ABEPRO, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Lucas-Reis-2/publication/309618810_O_USO_DAS_FERRAMENTAS_BRAINSTORMING_E_5W2H_NO_PLANEJAMENTO_DE_COMBATE_A_INCENDIO_EM_INDUSTRIAS_DE_TABACO/links/581a336408ae30a2c01c9d5e/O-USO-DAS-FERRAMENTAS-BRAINSTORMING-E-5W2H-NO-P>. Acesso em: 17 jul 2023.

ROCK CONTENT. Conheça a Matriz de Esforço x Impacto e saiba como aplicá-la no dia a dia da sua empresa. **Blog Gestão**, 15 Outubro 2018. Disponível em: <<https://rockcontent.com/br/blog/matriz-de-esforco-x-impacto/>>. Acesso em: 30 jun. 2023.

SANTOS, C. R. de M. ; BRITO, M. L. de A. ; GUARDIA, M. S. de A. B. ; FONSECA, G. F. ; ARAÚJO, M. V. P. de. O Diagrama de Ishikawa no processo de arquivamento na gestão pública. **Revista de Ensino, Pesquisa e Extensão em Gestão**, Currais Novos, v. 3, n. 1, p. 1-15, Dez. 2020. ISSN 2675-8512. Disponível em: <<https://periodicos.ufrn.br/revenspesextgestao/article/view/23508>>. Acesso em: 10 jul. 2023.

SANTOS, F. R. T. C.; CRUZ, S. H. Aplicação das ferramentas da qualidade em uma frota de caminhões transportadores de minério. *In: I Simpósio de Engenharia de Produção*, 1, 2017, Catalão. **Anais [...]**. Catalão: Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão, 2017. Disponível em: <https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/1012/o/Fellipe_Rog%C3%A9rio_Tavares_Carvalho_Santos.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2023.

SEBRAE - BA. **Empreendedorismo: conheça as principais ferramentas de gestão**. Salvador: Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas Bahia, 2019. 34 p. Disponível em: https://www.sebraeatende.com.br/system/files/conheca_as_principais_ferramentas_de_gestao.pdf. Acesso em: 12 jul. 2023.

SENSEI EDTI. Diagrama de Dispersão - Definição. **EDTI**, 14 Outubro 2019. Disponível em: <<https://edtisensei.zendesk.com/hc/pt-br/articles/360033866451-Diagrama-de-Dispers%C3%A3o-Defini%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 28 jul. 2023.

SILVA, R. P. D.; FURLANI, C. E. A.; VOLTARELLI, M. A.; TAVARES, T. de O. **Controle estatístico de qualidade**. 2015, 17 f. Material didático (Graduação em Zootecnia), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, UNESP, Jaboticabal, 2015. Disponível em: <<https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.fcav.unesp.br%2FHome%2Fdepartamentos%2Fengenhariarural%2Frouersonpereiradasilva%2Fapostila-controle-de-qualidade.docx&wdOrigin=BROUSELINK>>. Acesso em: 04 jul. 2023.

SOUSA, Á. Diagrama de dispersão, correlação e regressão linear. **Correio dos Açores: Opinião/regional**, Ponta Delgada, 12 Dezembro 2019, p. 16. Disponível em: <<https://repositorio.uac.pt/handle/10400.3/5361>>. Acesso em: 18 jul. 2023.

TARÍ, J. J.; SABATER, V. Quality tools and techniques: Are they necessary for quality management? **International Journal of Production Economics**, v. 92, n. 3, p. 267–280, Dec. 2004. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527303003268?via%3Dihub>>. Acesso em: 13 jul. 2023.

UMOV.ME. SIPOC: conheça essa ferramenta e como aplicá-la no mapeamento de processos. **Blog - Negócios e Tecnologia**, 14 Setembro 2022. Disponível em: <<https://www.umov.me/sipoc-o-que-e-como-usar/>>. Acesso em: 29 jun. 2023.

VENANZI, D.; LAPORTA, B. P. Lean Six Sigma. **South American Development Society Journal**, v. 1, n. 2, p. 66-84, Mar. 2017. ISSN 2446-5763. Disponível em: <<http://www.sadsj.org/index.php/revista/article/view/14>>. Acesso em: 15 jul. 2023.