



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS



Crislaine Aparecida André de Souza

**IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA PDCA NO PROCESSO DE
FILTRAGEM DE CONCENTRADOS EM UMA MINA DE POLISULFETADOS**

Ouro Preto
2023

Crislaine Aparecida André de Souza

**IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA PDCA NO PROCESSO DE FILTRAGEM
DE CONCENTRADOS EM UMA MINA DE POLISULFETADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como requisito parcial para a obtenção do grau de Engenheira de Minas.

Orientadora: Dra. Francielle Câmara Nogueira

Ouro Preto

2023

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S729i Souza, Crislaine Aparecida André de.
Implementação da metodologia PDCA no processo de filtragem de
concentrados em uma mina de polissulfetados. [manuscrito] / Crislaine
Aparecida André de Souza. - 2023.
63 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientadora: Profa. Dra. Francielle Câmara Nogueira.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Minas .

1. Beneficiamento de minério. 2. Gestão de processos. 3. Tratamento
de minérios - Filtragem - Filtro prensa. I. Nogueira, Francielle Câmara. II.
Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 622.794.2

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



FOLHA DE APROVAÇÃO

Crislaine Aparecida André de Souza

Implementação da metodologia PDCA no processo de filtragem de concentrados em uma mina de polisulfetados

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

Aprovada em 01 de setembro de 2023

Membros da banca

Dra. Framcielle Câmara Nogueira - Orientadora - Universidade Federal de Ouro Preto
Prof. Dr. Carlos Alberto Pereira - Universidade Federal de Ouro Preto
Ma. Stephânia da Consolação Silva Nogueira - Universidade Federal de Ouro Preto

Dra. Framcielle Câmara Nogueira, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 03/09/2023



Documento assinado eletronicamente por **Carlos Alberto Pereira, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 03/09/2023, às 19:23, 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 **0585057** e o código CRC **ECE1055B**.

AGRADECIMENTOS

A Deus, acima de tudo, pelo dom da inteligência, sabedoria e por abençoar-me em todos os dias da minha vida;

À minha querida mãe, Maria Cristina, mulher guerreira e de fibra, que não mediu esforços para a realização deste sonho. Meu amor por você é incondicional.

Ao meu carinhoso pai, José Aparecido, pelo amparo, consolo nos momentos difíceis e todo investimento em minha educação. Obrigada por tornar isto possível.

Às minhas queridas irmãs Elencrys, Cristileine e Cristiane, pelo imensurável apoio e conselhos. Minha vida é mais feliz por ter vocês.

Aos meus tios (as) e primos (as), que sempre me apoiaram e acreditaram no meu sonho.

Ao professor Carlos Alberto Pereira pela confiança no meu trabalho, oportunidade, amizade e valiosos conselhos.

À Fundação Gorceix, Anglo Gold Ashanti e Nexa Resources pelos aprendizados e grandiosa contribuição ao meu crescimento profissional e pessoal.

À minha orientadora Francielle Câmara Nogueira pela paciência, atenção e ensinamentos transmitidos.

À gloriosa Escola de Minas, pelo ensino gratuito e de qualidade. Orgulho em fazer parte da sua história.

RESUMO

Em processos de tratamento mineral, a operação de filtração desempenha um papel fundamental, envolvendo a separação de partículas sólidas da polpa de minério por meio de um elemento filtrante. Apesar de ser uma etapa crucial, a filtração frequentemente enfrenta desafios relacionados à eficiência, perdas de produto, consumo de água e custos operacionais elevados. Com objetivo de produzir concentrados de zinco com teores de umidade máxima de 11%, este estudo aplicou a metodologia PDCA, concentrando-se na fase “Planejar” da operação de filtração com filtros prensas. As investigações abordaram a viabilidade estatística da meta de umidade estabelecida pela empresa, através do método da lacuna e dos quartis, juntamente com ferramentas da qualidade para estratificação e análise do fenômeno e processo. As oportunidades de melhorias foram identificadas e categorizadas em mão de obra, manutenção e método. Questões como a descarga manual do filtro, a falta de estruturação das placas e a ausência de operadores dedicados exclusivamente à operação de descarga revelaram lacunas que comprometeram negativamente a eficiência e a eficácia do processo, com potencial direto nos teores de umidade dos produtos. Deste modo, as diretrizes da fase “Planejar” do Ciclo PDCA foram essenciais para a elaboração de uma proposta de plano de ação que poderá ser aplicado de forma estratégica, visando assegurar que os concentrados de zinco atendam às metas de umidade estabelecidas pela empresa.

Palavras-chave: melhoria contínua, metodologia PDCA, gestão de processos, filtro prensa.

ABSTRACT

In mineral treatment processes, the filtration operation plays a pivotal role, involving the separation of solid particles from the ore pulp through a filtering element. Despite being a critical step, filtration often encounters challenges related to efficiency, product losses, water consumption, and high operational costs. With the aim of producing zinc concentrates with a maximum moisture content of 11%, this study applied the PDCA methodology, with a focus on the "Plan" phase of the filtration operation using filter presses. The investigations addressed the statistical feasibility of the moisture target set by the company, using the gap method and quartile analysis, in conjunction with quality tools for stratification and analysis of the phenomenon and process. Improvement opportunities were identified and categorized into labor, maintenance, and method. Issues such as manual filter discharge, the lack of plate structuring, and the absence of operators dedicated solely to the discharge operation revealed gaps that negatively impacted the efficiency and effectiveness of the process, with direct potential effects on moisture levels in the products. Therefore, the guidelines of the "Plan" phase of the PDCA Cycle were instrumental in developing a proposal for an action plan that can be strategically applied to ensure that zinc concentrates meet the moisture targets established by the company.

Keywords: Continuous improvement, PDCA methodology, process management, filter press

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Hierarquia dos especialistas do Seis Sigma	16
Figura 2 - Princípios básicos do Total Quality Management	18
Figura 3 - Sete perguntas chaves da ferramenta 5W2H	21
Figura 4 - Esquema simplificado do Diagrama de Ishikawa	22
Figura 5 – Exemplo de gráfico de pareto	23
Figura 6 – Fluxograma de processos	25
Figura 7 - Ciclo PDCA	26
Figura 8 - Descrição do fenômeno da filtração.....	28
Figura 9 - Formação da torta em processo de filtração.....	28
Figura 10 – (a) Fluxograma de instalação industrial com filtro rotativo a vácuo. (b) Esquema de um filtro de tambor rotativo à vácuo	31
Figura 11 - Filtro prensa Metson Minerals.....	31
Figura 12 - Partes componentes e operação do filtro prensa.....	32
Figura 13 - Sequência metodológica levantamento de dados.....	34
Figura 14 - Representação Método da Lacuna	36
Figura 15 - Estratificação do problema em categorias	37
Figura 16 - Fluxograma etapas de funcionamento do filtro prensa	39
Figura 17 - Filtro prensa horizontal com placas do tipo câmaras	40
Figura 18 - Fase de drenagem com registro de vazamentos	41
Figura 19 – Etapas de abertura e descarga do filtro	42
Figura 20 - Histórico percentual de umidade: 2020, 2021 e 2023	43
Figura 21 - Limitação da capacidade do pátio.....	44
Figura 22 - Efeito sticking impedindo descarga do material	45
Figura 23 – Fluxograma de identificação do problema.....	46
Figura 24 - Levantamento dos custos de em manutenção dos equipamentos da usina	47
Figura 25 – Boxplot – Meta da umidade.....	49
Figura 26 - Bloco F versus Umidade Concentrado de Zinco.....	50
Figura 27 - Danificação das placas nas extremidades dos quatro cantos.....	51
Figura 28 - Histórico de consumo tecido filtrante	52
Figura 29 - Histórico consumo de tecido no ano de 2023	52

Figura 30 - Proposta de Plano de Ação com base nas oportunidades de melhoria encontradas.....56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Sete desperdícios do Lean.....	15
Tabela 2 - Metodologias comumente utilizadas no Six Sigma	17
Tabela 3 – Mecanismos de filtragem.....	30
Tabela 4 -Históricos umidade média mensal entre janeiro de 2020 a fevereiro 2021	48
Tabela 5 – Dados dos cálculos da meta pelo método dos quartis	48
Tabela 6 - Levantamento de dados consumo e custos de tecidos filtrantes em 2023	53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	11
2.1	OBJETIVO GERAL	11
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1	MELHORIA CONTÍNUA	12
3.1.1	Metodologias de Melhoria Contínua	13
3.2	FERRAMENTAS DE MELHORIA CONTÍNUA	20
3.2.1	5W2H	20
3.2.2	Diagrama de Ishikawa	22
3.2.3	Diagrama de Pareto	23
3.2.4	Fluxograma	24
3.3	CICLO PDCA	25
3.4	FILTRAGEM	27
3.4.1	Princípios da filtragem	27
3.4.2	Filtros utilizados na Indústria Mineral	29
4	materiais e métodos	34
4.1	IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA	34
4.2	ANÁLISE DO FENÔMENO	36
a)	Contexto geológico	37
4.3	ANÁLISE DO PROCESSO	38
4.4	PROPOSTA PLANO DE AÇÃO	42
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.1	IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA	43
5.2	ANÁLISE DA VIABILIDADE ESTATÍSTICA DA META	47
5.3	ANÁLISE DO FENÔMENO	49

5.3.1 Contexto geológico.....	49
5.3.2 Performance operacional e mecânica	51
5.3.3 Performance pessoal	54
5.4 PLANO DE AÇÃO	54
6 CONCLUSÕES.....	57

1 INTRODUÇÃO

A maioria das operações unitárias empregadas no tratamento mineral é realizada em meio úmido, ou seja, ocorrem na presença de água ou algum outro líquido como meio de suspensão ou reação. Entre estas etapas, pode-se citar a moagem, flotação, separação por gravidade, lixiviação e filtração, consideradas essenciais em um fluxograma de beneficiamento mineral (França e Massarani, 2004).

A filtração consiste em uma técnica de separação sólido-líquido amplamente difundida no tratamento de minérios convencionais, desempenhando um papel fundamental na obtenção da umidade necessária para a comercialização de concentrados ou para a disposição de rejeitos secos em pilhas.

De acordo com Montoro (2012), o processo de filtração fundamenta-se na passagem da polpa de minério através de um elemento filtrante, a fim de reter o sólido e permitir a passagem do líquido. Essas barreiras permeáveis devem apresentar mínima resistência ao fluxo que está sendo filtrado, além de boas características de descarga e resistência mecânica e química.

Apesar de sua importância, os processos de filtração de minérios podem apresentar alguns problemas relacionados à eficiência de filtração, perdas de produto, consumo de água, alto custo operacional, podendo refletir negativamente no ritmo de produção e as entregas da usina. Além disso, conforme Alencar *et al.* (2021), o excesso de teor de água no minério pode causar problemas no descarregamento de vagões, silos ou carretas devido ao efeito *sticking*, aumentando os riscos de transporte e custos de frete.

Existem algumas metodologias de melhoria contínua, juntamente com suas ferramentas, que são aplicadas nas organizações para resolver problemas, visando principalmente aumentar a produtividade, reduzir custos e melhorar a qualidade sem perdas. De acordo com Vieira (2010), o PDCA é um método frequentemente utilizado para gerenciar as decisões empresariais a fim de otimizar as operações, sendo bastante explorado na busca da melhoria da performance.

Deste modo, este trabalho tem como principal objetivo apresentar um estudo de caso sobre a implementação da metodologia PDCA, com foco na etapa “Planejar”, no processo de filtragem com filtros prensas em uma mina de polissulfetos, com intuito de propor um plano de ação para garantir concentrados finais de zinco com até 11% de umidade.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Implementação das ferramentas de qualidade em conjunto com a metodologia do Ciclo PDCA no estudo de melhoria da performance de um filtro prensa em uma mina de polisulfetados.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Introduzir às ferramentas de qualidade e apresentar sua aplicação em conjunto com ciclo PDCA na melhoria contínua;
- b) Aplicar o Ciclo PDCA, com foco na etapa de planejamento, na investigação da baixa performance da filtragem em uma mineradora;
- c) Propor plano de ação para problemas encontrados dentro do processo de filtragem;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem o propósito de apresentar os conceitos necessários para o embasamento teórico do trabalho.

3.1 MELHORIA CONTÍNUA

Bhuyan e Baghel (2005) afirmam em seus estudos que a origem da utilização da melhoria contínua dentro dos negócios organizacionais remonta ao século XIX. Segundo os autores, durante esse período, os líderes já adotavam uma abordagem de incentivo aos funcionários que se engajavam as práticas de aprimoramento contínuo por meio da implementação de programas de incentivo. Esses programas visavam reconhecer e recompensar aqueles que promoviam mudanças positivas dentro do ambiente de trabalho.

No entanto, foi apenas no final da década de 1940 no Japão, após destroços da Segunda Guerra Mundial, que ocorreu uma ampla disseminação dos conceitos de gestão e melhoria contínua (Bhuyan e Baghel, 2005). Segundo Ishikawa (1993) o melhoramento contínuo de processos concentrou-se na melhoria do mercado japonês, até então dominado pelos americanos, e na melhoria do processo industrial do país. As ações implementadas tinham como objetivo proporcionar vantagem competitiva à empresa através de planos de melhoria posicionados estrategicamente com os propósitos organizacionais.

No estudo de Bessant *et al.* (2000), a melhoria contínua é descrita como um processo de inovação que ocorre de forma incremental, focada e contínua, abrangendo toda a organização. Em Shiba *et al.* (1997), ela é abordada como um método sistemático de resolução de problemas, distinguindo-se em três níveis: i) controle (visa apenas à manutenção dos níveis operacionais); ii) reativo (objetiva o restabelecimento do estado atual); e iii) proativo (foco no aumento de desempenho).

Sendo assim, a melhoria contínua pode ser definida como uma cultura de melhoria sustentável Bhuiyan, Baghel e Wilson (2006), que através dos envolvimento dos colaboradores da organização, visam eliminar desperdícios em todos os sistemas e

processos ao foco dos objetivos sem necessariamente grandes investimentos de capital (Bessant; Francis, 1999; Bhuiyan; Bagel, 2005)

3.1.1 Metodologias de Melhoria Contínua

O período pós-guerra vivido na década de 1950 no Japão foi marcado pela em empregabilidade e produção. As empresas japonesas concentraram na melhoria dos seus produtos, buscando aperfeiçoamento com base em modelos de grandes nomes como W. Edwards Deming e Joseph Juran, que disseminaram as metodologias de treinamento no trabalho e conceitos de técnicas da melhoria contínua, conhecida como Kaizen (“*kai*” = mudança, “*zen*” = “bom” ou “melhor”; “*mudança para melhor*”) (Martinelli, 2009; Rezende 2018). Essa ferramenta ficou mundialmente conhecida pela sua aplicação dentro do sistema Toyota de Produção.

Associadas ao Kaizen, várias outras ferramentas e técnicas foram desenvolvidas com objetivos de promover a eficiência, eliminar desperdícios, aumentar a qualidade e a satisfação do cliente. Entre elas destacam-se as metodologias *Lean Manufacturing*, *Six Sigma* e *Total Quality Management*.

a) Lean Manufacturing

O sistema *Lean Manufacturing*, também conhecido como produção enxuta, foi introduzido pela *Toyota Motor Company* no final dos anos 80. É uma metodologia de gestão que se concentra em identificar e eliminar os desperdícios no processo produtivo (Oliveira *et al.*, 2017).

Segundo Shingo (1996), esse sistema visa mapear os processos, passando por cada etapa produtiva, e eliminar as perdas decorrentes das atividades. Deste modo, a filosofia *Lean* concentra-se na eficiência dos processos, visando proporcionar o máximo de valor com a menor quantidade de recursos possíveis.

Além disso, no intuito de minimizar os desperdícios e, simultaneamente, fomentar a capacidade adaptativa da empresa para atender às demandas dos clientes, o

pensamento enxuto, conforme delineado por Womack e Jones (2004), é fundamentado em cinco princípios:

- a) valor: definido pelo cliente. A organização deve identificar e atender a necessidade do cliente, e por fim cobrar o preço específico de forma a manter a competitividade no mercado;
- b) fluxo de valor: identificar o fluxo de valor analisando toda a cadeia produtiva, identificando e corrigindo as atividades que não agregam valor ao cliente;
- c) fluxo Contínuo: criar um fluxo de processos sem interrupções, desperdícios e estoques de forma, permitindo que as atividades fluam de forma eficiente, reduzindo tempo de produção.
- d) produção puxada: implementar um sistema em que o consumidor “puxe” o valor, ou seja, definir a ordem exata de produção com base na demanda do cliente.
- e) perfeição: aprimoramento contínuo em busca da perfeição. Ao definir o valor com exatidão, identificar o fluxo de valor, buscar o fluxo contínuo e permitir que o cliente puxe o valor, a busca pela perfeição deixa de ser uma utopia.

Em seus estudos, Taiichi Ohno (1997) ainda destaca os setes grandes desperdícios identificados no Lean Manufacturing, os quais estão dispostos na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 - Sete desperdícios do Lean

Desperdícios	Descrição
Estoque	Material parado à espera do próximo passo gera desperdício, resultando em custo financeiro pelo capital inativo e podendo atrasar a detecção de defeitos.
Excesso de produção	Produzir em excesso, ou seja, obter mais saídas de materiais ou informações que o necessário.
Transporte	Movimentação de pessoas, ferramentas, estoque, equipamentos ou produtos além do necessário
Defeitos	Produtos não aptos para uso. Isso normalmente resulta em retrabalho ou desmantelamento do produto.
Processamento desnecessário	Realizar mais trabalho, adicionar mais componentes ou ter mais etapas do que as necessárias em um produto ou serviço.
Movimentação	Qualquer movimento desnecessário de pessoas, equipamentos ou maquinário.
Espera	Inoperância de funcionários, máquinas fabris, equipamentos ociosos e demais recursos no processo.

Fonte: Adaptado de Taiichi Ohno (1997).

b) Six Sigma

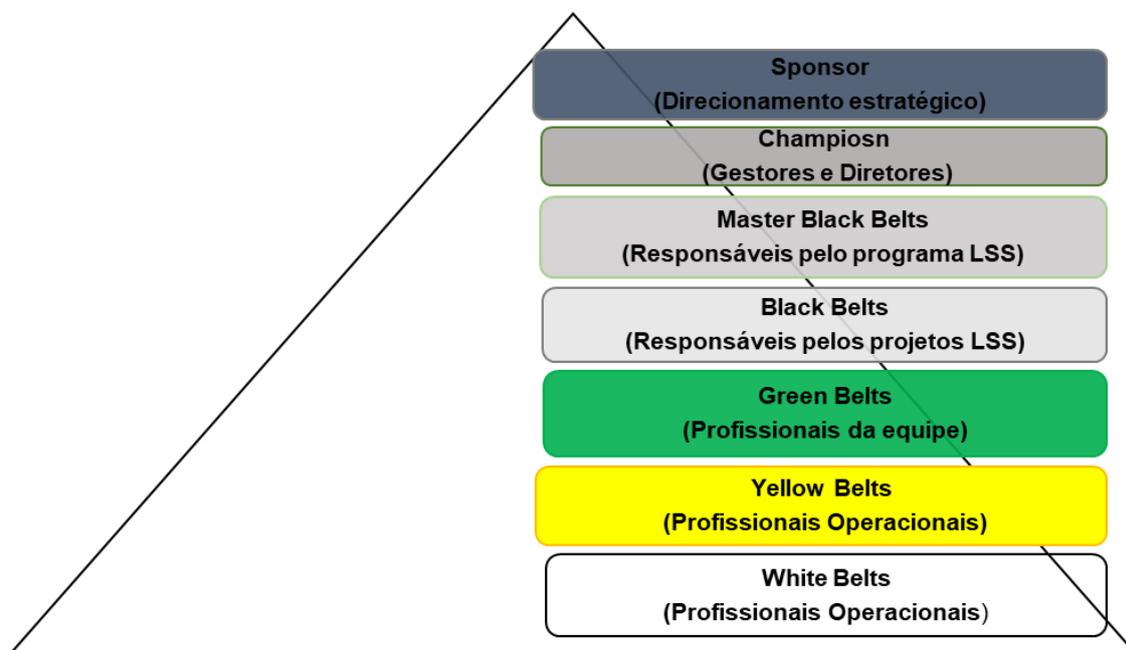
A metodologia *Six Sigma* surgiu na Motorola durante os anos 80, sendo desenvolvida com base nos princípios e abordagens propostos pelo engenheiro americano Bill Smith (Andrade, 2017). Seu principal objetivo era posicionar a empresa no ambiente de mercado altamente competitivo em função dos produtos de melhor qualidade e custo que estavam sendo fabricados pelos concorrentes (Breyfogle III, Cupello e Meadows, 2000). A Metodologia Utiliza Técnicas Estatísticas E Análises Quantitativas Para A Tomada De Decisão (Andrade, 2017).

Definido como uma filosofia de qualidade pelos autores Pepper e Spedding (2010), o *Six Sigma* busca alcançar metas de longo prazo por meio de objetivos de curto prazo, com foco na medição e na satisfação do cliente, além de orientar projetos de melhoria contínua em todos os níveis da organização. Segundo os autores, no *Six Sigma*, as metas são estabelecidas e implementadas nos processos industriais visando alcançar um nível de desempenho com uma taxa de apenas 3,4 defeitos por milhão de oportunidades.

Para isso, o programa utiliza uma série de métodos estatísticos comprovados e fornece treinamentos dos líderes técnicos, também conhecido como *belts*, para que eles tenham um elevado nível de conhecimento da aplicação destas técnicas e conduzam a liderança na implantação e utilização da filosofia (Andrade, 2017). Os

treinamentos dos especialistas são divididos por área e grau de conhecimento, esquematizado na Figura 1.

Figura 1- Hierarquia dos especialistas do Seis Sigma



Fonte: Adaptado de Werkema (2012)

Para alcançar seus objetivos, o *Six Sigma* segue uma abordagem sistemática estruturada com base em metodologias auxiliares para solução de problemas gerencias, como DMAIC, DFSS, DMADV, DMEDI, descritas na Tabela 2 (Andrade, 2017).

Tabela 2 - Metodologias comumente utilizadas no Six Sigma

DMAIC <i>Define, Measure, Analyze, Improve e Control</i>	DFSS <i>Design for Six Sigma</i>	DMADV <i>Define, Measure, Analyze, Design e Verify</i>	DMEDI <i>Define, Measure e Explore</i>
Ferramenta gerencial que busca melhorar os processos de negócios. Por meio dele, são estabelecidos objetivos de melhoria alinhados com as estratégias da empresa e as necessidades dos clientes. Os processos são mapeados, medidos e comparados com as metas definidas. Com base nessa análise, são implementados melhorias e controles para garantir um desempenho superior das organizações.	Traz ferramentas atuam na redução de custos e melhoria da qualidade. Sua principal finalidade é agregar valor ao produto por meio de inovações e da busca do atendimento das reais necessidades dos clientes.	Auxilia na análise e resolução de problemas, melhorando a capacidade do projeto em transformar informações em conhecimento. Visa estabelecer metas de melhoria dos processos em conformidade com a demanda dos clientes e o planejamento estratégico das organizações. Além disso, realiza medições da qualidade do produto, da eficiência do processo produtivo e avaliação de riscos, visando aumentar a eficiência geral.	É aplicado no desenvolvimento e implementação de novos projetos. Pode ser usado como um modelo para criar uma organização de gerenciamento de projetos e melhorar a taxa de sucesso geral de projetos individuais. É projetado para manter os objetivos da organização em foco em todos os momentos e garantir uma maneira clara de medir o sucesso.

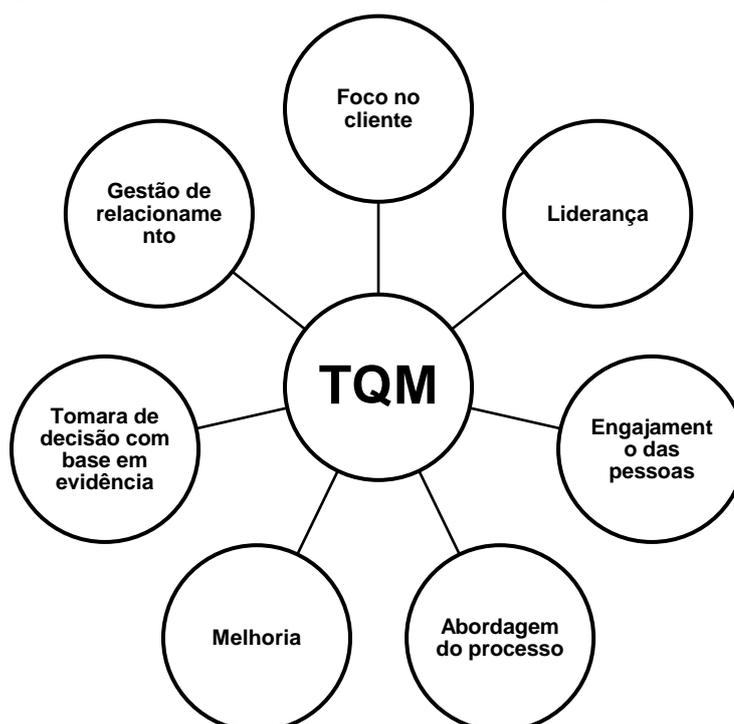
c) Total Quality Management

O Conceito de *Total Quality Management* - TQM (Gestão da Qualidade Total) teve sua origem nos anos 1950, no cenário pós-guerra no Japão, porém foi amplamente difundido e conhecido em meados da década de 80 nos Estados Unidos (Franco *et al.*, 2019). Baseando-se no compromisso com a qualidade total através do gerenciamento da alta liderança, a metodologia procura, segundo Samawi *et al.*, (2019), integrar a empresa em um processo de melhoria contínua na produção de bens e/ou serviços, com a colaboração de gerentes e demais funcionários.

Para Kaynak (2003), o TQM parte do pressuposto que o melhoramento contínuo deve ser aplicado em todas as partes dos processos, desde as relações com fornecedores até o apoio pós-vendas. Trata-se de uma colaboração entre todos os departamentos relacionados à empresa, com o objetivo de produzir bens e serviços que excedam as expectativas dos clientes (Dale; Van Der Wiele; Van Iwaarden, 1999).

Conforme definido pela ABNT (2015) a metodologia *Total Quality Management* é fundamentada em sete princípios básicos, esquematizados na Figura 2.

Figura 2 - Princípios básicos do Total Quality Management



Fonte: Autoria Própria, 2023.

- a) foco no cliente: A empresa busca atender de maneira integral as expectativas de seus consumidores. No TQM o foco sai do produto e concentra-se em suprir as expectativas do cliente; levando em consideração durabilidade, segurança, performance e personalização de acordo com os desejos do comprador (ABNT, 2015);
- b) liderança: os líderes devem alinhar as estratégias, recursos e processos para direcionar e gerenciar os colaboradores a atingir os objetivos traçados pela organização. Seu papel é estabelecer uma unidade de propósito, uma cultura de confiança, estimular ideias novas, administrar o ambiente empresarial e prover recursos para a concretização de projetos. A liderança possui papel fundamental na metodologia TQM (ABNT, 2015);
- c) engajamento das pessoas: o potencial dos colaboradores é plenamente aproveitado, resultando em maior eficiência nos serviços e processos, com iniciativa, colaboração e confiança na empresa. Esse engajamento leva a uma melhor compreensão dos objetivos por parte dos trabalhadores, resultando em melhoria da qualidade dos serviços prestados, maior satisfação, iniciativa, colaboração e confiança na empresa (ABNT, 2015);
- d) abordagem do processo: a transparência e disponibilização de informações de todas as etapas do processo produtivo facilitam o gerenciamento e otimizam o desempenho do processo (ABNT, 2015);
- e) melhoria: a busca constante por melhorias no desempenho dos processos, produtos e satisfação do cliente deve ser um objetivo. Sendo assim, a procura por inovações é um dos aspectos essenciais a serem considerados nesse processo (ABNT, 2015);
- f) tomadas de decisões: as decisões devem ser fundamentadas em análise de dados, utilizando ferramentas para uma visão e compreensão aprimorada dos problemas que ocorrem nos processos. É importante atuar nas causas raiz

desses problemas, utilizando as informações fornecidas pelos dados, considerando as necessidades e demandas dos clientes (ABNT, 2015);

- g) gestão de relacionamentos: consiste na coordenação da organização com suas partes interessadas (colaboradores, provedores, parceiros ou clientes). O sucesso desses relacionamentos contribui para o êxito da organização, por meio da compreensão mútua dos objetivos, criação de valor por meio do compartilhamento de recursos e habilidades, e maior capacidade de identificar e aproveitar oportunidades (ABNT, 2015).

3.2 FERRAMENTAS DE MELHORIA CONTÍNUA

Segundo Frank *et al.* (2014), para cumprir efetivamente com os princípios da TQM e promover a gestão da qualidade, é fundamental empregar algumas ferramentas que auxiliam na manutenção de um processo de melhoria contínua em uma organização. Entre essas ferramentas estão: 5W2H, Diagrama de Ishikawa (Espinha de Peixe), Diagrama de Pareto, Fluxogramas, que serão detalhados na próxima seção.

3.2.1 5W2H

A ferramenta 5W2H é composta por um conjunto de questões que possibilitam a identificação de atividades ou processos que precisam ser acompanhados ou desenvolvidos, de maneira direta e organizada. Esse conjunto de perguntas, esquematizado na Figura 3, compõem um plano de ação, estruturado e prático, cuja premissa é organizar e direcionar as ações de um projeto específico, atribuindo responsabilidades e funções aos envolvidos (Curcio *et al.*, 2019).

Figura 3 - Sete perguntas chaves da ferramenta 5W2H



Fonte: IMBS Consulting, 2018.

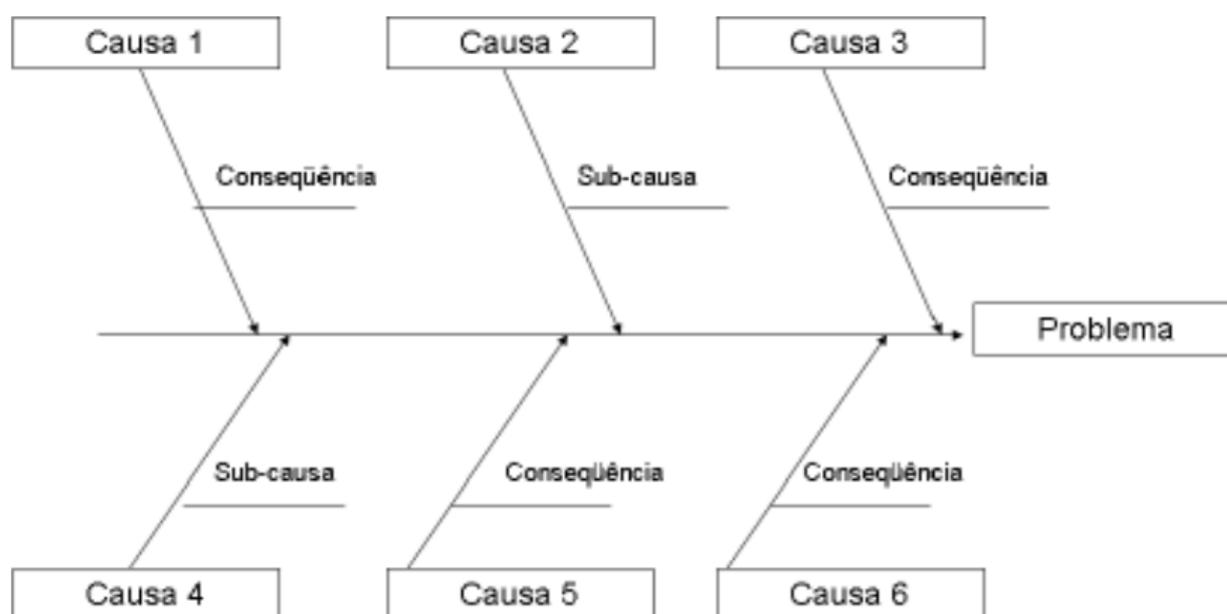
Correspondente às iniciais em inglês das setes perguntas fundamentais para identificação e resolução de problemas, a metodologia 5W2H permite o alinhamento e conhecimento dos envolvidos sobre o que fazer, quando, onde, de que forma, porque. Além disso permitir uma análise multidisciplinar sobre cada área incluída no projeto (IMBS, 2018).

3.2.2 Diagrama de Ishikawa

O Diagrama de Ishikawa, também conhecido como Diagrama de Causa e Efeito ou Espinha de Peixe, é uma ferramenta amplamente utilizada na simplificação de processos considerados complexos. Ela permite a estratificação desses processos em etapas menores facilitando a análise de causas potenciais e seu nível de contribuição para o efeito (Tubino, 2000).

Segundo Toledo *et al.* (2018), essa metodologia consiste em uma representação gráfica que dispõe e organiza de forma sequencial, lógica e por em ordem de importância, as causas potenciais ou dificuldade atrelada ao problema. Na Figura 4 abaixo, tem-se um exemplo de escopo do Diagrama de Ishikawa.

Figura 4 - Esquema simplificado do Diagrama de Ishikawa



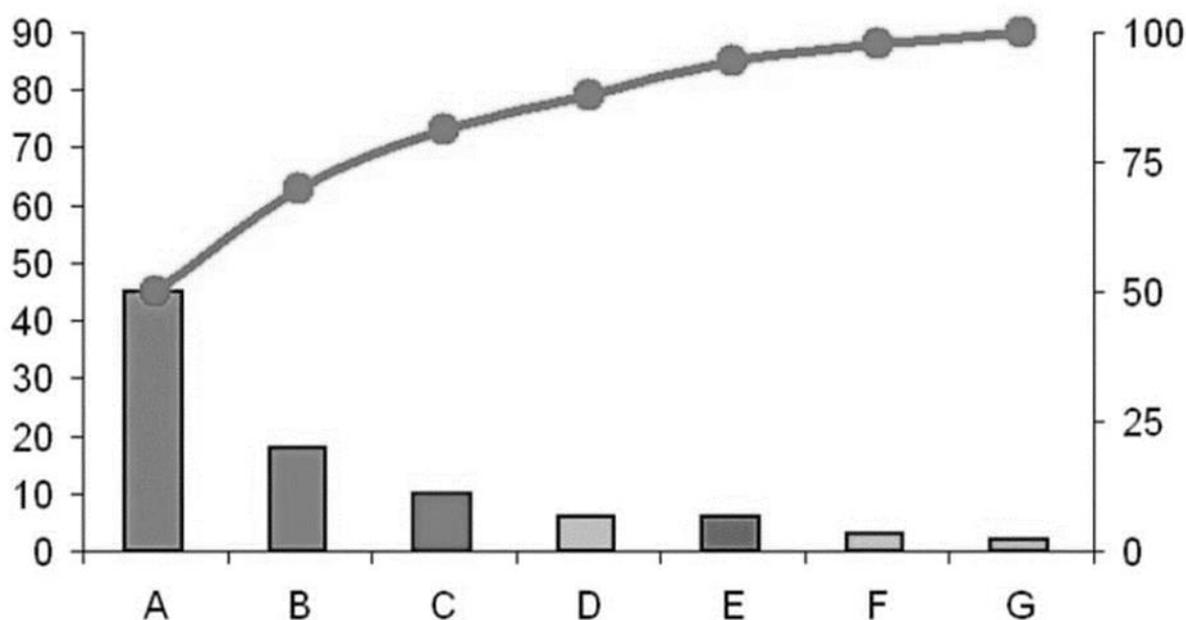
Fonte: Sabino, 2009.

O objetivo fundamental desta ferramenta é a identificação das causas subjacentes ao problema. Sendo assim, o diagrama pode ser utilizado para evidenciar os fatores que influenciam no resultado de um processo, permitindo a clara visualização das causas que podem impactar tecnicamente esse resultado. Deste modo, torna-se bastante efetivo na busca das raízes do problema (Slack, 2009).

3.2.3 Diagrama de Pareto

Criado pelo economista italiano Vilfredo Pareto, o diagrama de Pareto é uma representação gráfica em forma de barras ordenadas a fim de demonstrar as ocorrências de maior a menor frequência. Essa abordagem visa analisar as causas principais e de maiores contribuições para um determinado problema (Werkema, 2012). Essas barras são acompanhadas por uma curva que ilustra o percentual acumulado de cada barra, como exemplificado na Figura 5.

Figura 5 – Exemplo de gráfico de pareto



Fonte: Reis, 2018.

Segundo Araújo (2006), ao empregar essa ferramenta, é possível obter uma visão estruturada e hierarquizada dos dados organizados por ordem de importância relativa. Isso age como um guia para direcionar atenção, esforços e recursos para às causas fundamentais, reservando as menos relevantes para serem abordadas posteriormente.

Nesse contexto, Danielewicz (2006) destaca as principais aplicações do Diagrama de Pareto que incluem:

- a) priorização de problemas;

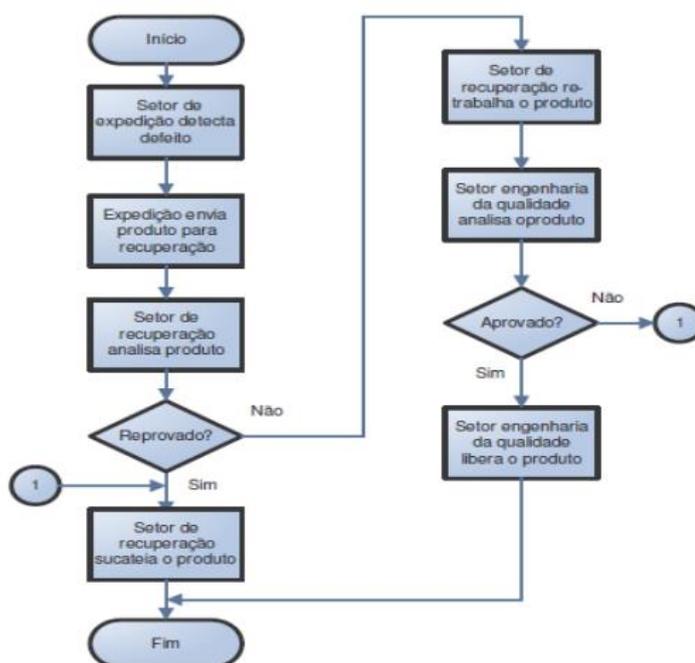
- b) análise numérica das características do problema, incluindo estratificação;
- c) teste de hipóteses sobre as causas de problemas;
- d) comparação entre a situação antes e depois da implementação de planos de ação.

3.2.4 Fluxograma

O fluxograma ou diagrama de processo é uma ferramenta constituída por símbolos gráficos, com a finalidade de ilustrar a sequência de atividades que compõem um processo específico. Seu intuito é tornar a compreensão do processo produtivo mais acessível, demonstrando como as atividades devem ser realizadas, identificando os possíveis pontos de melhoria, e estabelecendo procedimentos para realização do trabalho (Peinado e Graeml, 2007).

Conforme apontado por Oliveira (2013), a finalidade do fluxograma consiste em representar de forma clara e elucidativa as sequências de atividades que compõem a estrutura de qualquer empreendimento. Essas sequências de atividades abrangem desde o transporte de materiais, estágios de produção, fluxo de informações até a alocação precisa de todos os recursos indispensáveis para o processo. A Figura 6 apresenta um exemplo de um fluxograma de processos.

Figura 6 – Fluxograma de processos



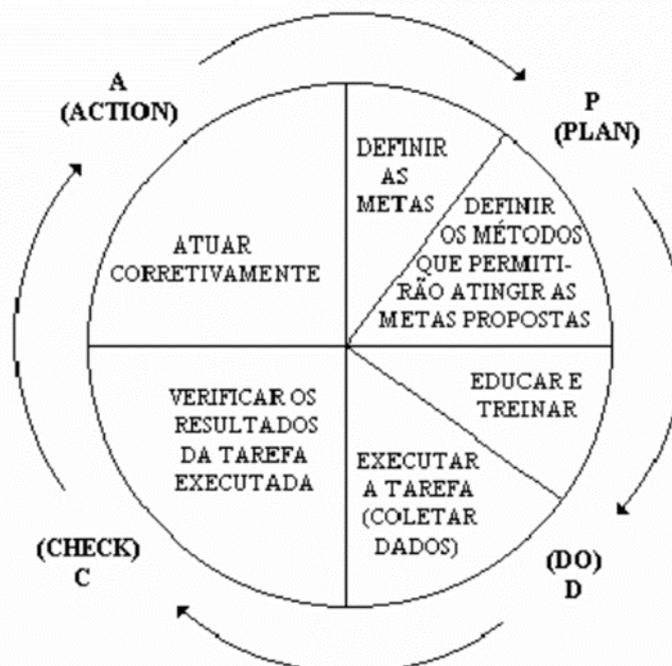
Fonte: Peinado e Graeml, 2007.

3.3 CICLO PDCA

O ciclo PDCA, também conhecido como ciclo de Deming ou ciclo de Shewhart, foi criado em 1930 pelo físico estadunidense Walter A. Shewhart (1891 – 1967) e popularizado pelo estatístico William Edward Deming (1900 – 1993) a partir da década de 50. É um dos métodos mais amplamente difundidos e aplicados em todo o mundo para implementação de melhorias contínuas e a solução de problemas cuja causa não é conhecida ou não está clara (Realyvásquez *et al.*, 2018).

Inicialmente utilizado por empresas japonesas com o objetivo de aumentar a qualidade, o Ciclo PDCA é uma metodologia capaz de diagnosticar, analisar e prognosticar problemas, sendo extremamente útil no gerenciamento de processos ou sistemas como uma ferramenta para atingir metas. Conforme esquematizado na Figura 7, ele é composto por quatro etapas sequenciais e estratégicas, que formam um ciclo visando organizar de forma sistemática e iterativa as futuras tomadas de decisões (SILVA *et al.*, 2017). Essas etapas são: *Plan* (planejar), *Do* (executar), *Check* (verificar) e *Act* (agir).

Figura 7 - Ciclo PDCA



Fonte: Machado, 2007.

a) Fase *Plan* (Planejar)

É a primeira e mais extensa etapa do ciclo, a qual irá orientar todo o progresso das próximas fases. Consiste na identificação, observação e análise da situação ou problema, com o objetivo de estabelecer metas e planejar metodologias para alcançá-las (Silva *et al.*, 2017). A identificação do problema é de extrema importância, pois envolve sua definição e delimitação do escopo de ação do método. Em seguida, por meio da observação e análise detalhada, o problema é examinado minuciosamente e estratificado para descobrir todas as suas características, através da coleta de dados.

b) Fase *Do* (Executar)

Caracteriza-se pela execução do que foi planejado na etapa anterior, na qual as ações necessárias para alcançar os objetivos estabelecidos são implementadas. De acordo com Pacheco *et al.* (2020), essa fase pode ser subdividida em duas etapas complementares: a implementação de treinamentos para capacitação pessoal e organizacional, e a coleta de dados para análises futuras.

c) Fase *Check* (Verificar)

Esta fase envolve a verificação dos dados obtidos durante a execução em relação às premissas estabelecidas no plano. É realizada uma análise para verificar se os procedimentos foram compreendidos de forma clara, se estão sendo executados corretamente e se os resultados estão sendo alcançados. Essa verificação deve ser contínua e pode ser feita por meio de observação e monitoramento dos índices de qualidade e produtividade (SEBRAE, 2013).

d) Fase *Act* (Agir)

Caso ocorra alguma anomalia durante a checagem ou verificação, será o momento de tomar ações corretivas para abordar as causas que levaram à não execução conforme planejado. Uma vez identificadas, as contramedidas serão adotadas para evitar a recorrência do erro. Em certos casos, essas medidas podem ser transformadas em normas, novos procedimentos, padrões, entre outros.

3.4 FILTRAGEM

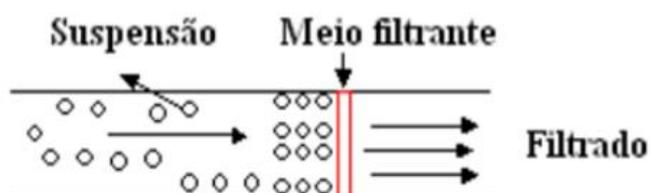
3.4.1 Princípios da filtragem

A filtragem de polpa de minerais desempenha um papel fundamental no beneficiamento de uma usina (Oliveira; Da Luz; Lacerda, 2004). Derivada do processo de separação sólido-líquido, a filtragem possui aplicações na recuperação de água para reutilização no processo, na redução da umidade dos produtos para transporte e comercialização, e na preparação de rejeitos para transporte e deposição (Guimarães, 2011).

Segundo Da Luz *et al.* (2010) a filtragem de polpa pode ocorrer sob o mecanismo de comaltação, onde a polpa percola uma matriz porosa rígida que retém as partículas sólidas, ou pelo acúmulo dessas partículas no exterior do meio filtrante, resultando na formação de um aglomerado de partículas, denominada torta.

Deste modo, de acordo com Oliveira, Da Luz e Lacerda (2004), o princípio da filtração consiste em reter os sólidos por meio de uma espécie de membrana permeável, denominada filtro ou meio filtrante, permitindo a passagem do filtrado ou líquido clarificado, conforme esquematizado na Figura 8.

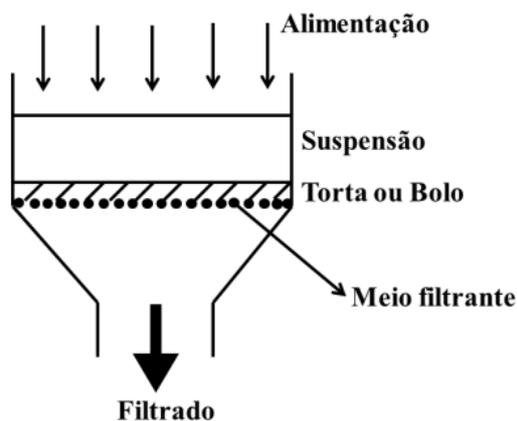
Figura 8 - Descrição do fenômeno da filtração



Fonte: Nascimento et. al, 2022.

A torta, resultado da deposição da suspensão sólida sobre o filtro (Figura 9), possui características distintas que dependem da natureza do material, da granulometria e da forma das partículas, do modo como a filtração é conduzida e do grau de heterogeneidade do sólido. Quando a torta está saturada e sua espessura aumenta, ela auxilia na retenção das partículas, melhorando performance do meio filtrante. A análise da torta é um objeto de estudo para investigar a eficiência do processo de filtragem (Carvalho, 2019).

Figura 9 - Formação da torta em processo de filtração



Fonte: Silva, 2012.

A teoria clássica da filtragem é baseada na Lei de Darcy, que descreve empiricamente o fluxo de líquido através de um meio poroso não compressível (Guimarães, 2011). Segundo essa lei, expressa pela Equação 1, a velocidade de filtragem, determinada como a taxa volume do filtrado, é diretamente proporcional à área de filtragem, à

permeabilidade do leito e ao diferencial de pressão, e inversamente proporcional à espessura da torta e à viscosidade do filtrado.

$$Q = \frac{K \cdot \Delta P \cdot A}{\mu \cdot L} = \frac{\Delta P \cdot A}{\mu \cdot R} \quad (1)$$

Onde:

Q: fluxo do filtrado [m³/s]

K: permeabilidade do leito [m/s]

ΔP : diferencial de pressão através da torta e do meio filtrante

A: área transversal ao fluxo (área filtrante) [cm²]

μ : viscosidade de filtrado

L: espessura do meio filtrante + torta [m]

R: L / K = resistência oferecida ao meio filtrado

De acordo com França e Casqueira (2007), o mecanismo de filtração requer uma diferença de pressão (ΔP) ao longo da espessura da torta formada, a qual está diretamente relacionada à distribuição de tamanho das partículas. Essa diferença de pressão pode ser alcançada por meio de gravidade, vácuo, pressão ou centrifugação. É importante salientar que a magnitude da diferença de pressão afeta diretamente os custos dos equipamentos e o consumo energético por tonelada de produto.

Além disso, Valadão (2007) ainda ressalta que fatores como distribuição granulométrica do sólido, área superficial do sólido, forma da partícula, características de superfície do sólido, porcentagem de sólidos na polpa e viscosidade do líquido podem influenciar no projeto e na operação de sistemas de separação sólido-líquido.

3.4.2 Filtros utilizados na Indústria Mineral

Para o dimensionamento de um filtro industrial, França e Casqueira (2007) mencionaram que os testes foram realizados em escala laboratorial para observar o tempo de formação da torta, o desaguamento ou secagem, o nível de vácuo e a seleção do meio filtrante. Em escala industrial os mecanismos mais utilizados são as filtrações à vácuo, sob pressão, centrífuga, hiperbárica e capilar, as quais estão descritos resumidamente na Tabela 3.

Tabela 3 – Mecanismos de filtração

Tipos	Características	Modelos de Filtros
Filtração à vácuo	Criada uma pressão negativa debaixo do meio filtrante	Filtros de: tambor, disco convencional, horizontal de mesa, de esteira
Filtração sob pressão	Uma pressão positiva é aplicada na polpa	Filtro prensa horizontal e prensa vertical
Filtração centrífuga	Utiliza a força centrífuga para forçar a passagem do líquido	Centrífugas verticais e Decanters
Filtração hiperbárica	A partir da combinação vácuo e pressão	Filtro de disco encapsulado ou hiperbárico
Filtração capilar	Utiliza a ação de capilares de meios cerâmicos porosos para efetuar o desaguamento	Ceramec

Fonte: Adaptado de Guimarães, 2011.

Neste estudo, foram abordados de forma mais detalhada os processos de filtração com formação de torta, realizados em equipamentos como filtros rotativos a vácuo (tambor e disco) e o filtro-prensa os quais têm uma ampla aplicação na indústria mineral.

a) Filtração à vácuo

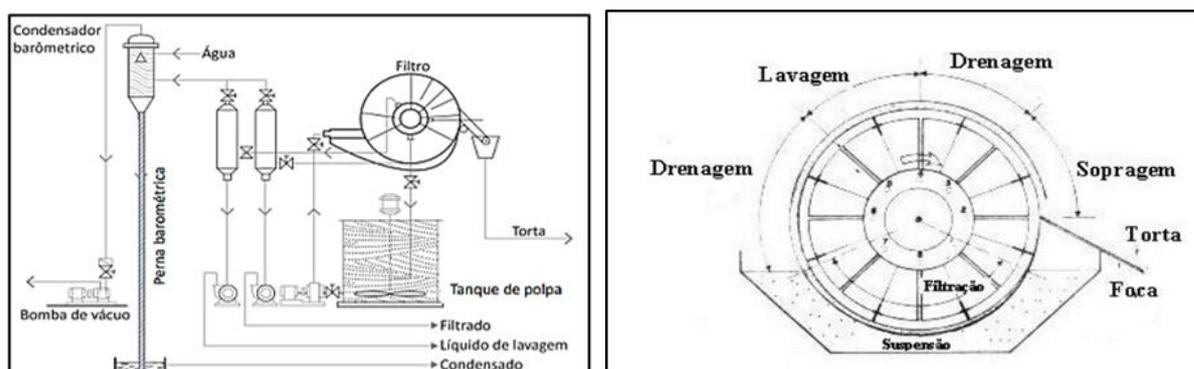
Os filtros do tipo tambor, disco, bandeja ou correia utilizam mecanismo de operação a vácuo e seguem o mesmo princípio físico. Esses filtros são projetados para operar de forma contínua, mas realizam uma série de tarefas em ciclos distintos, incluindo a formação da torta de filtração, secagem, lavagem e descarga (Guimarães, 2011).

Na Figura 10 (a), é apresentado o fluxograma de uma instalação industrial com um filtro rotativo a vácuo, amplamente utilizado na indústria mineral. Existem modelos de filtros rotativos a vácuo que operam por meio de pressão ou vácuo. A principal variação entre esses modelos está na forma de descarga dos sólidos, podendo exigir ou não a lavagem da torta (Carvalho, 2019 e Oliveira; Da Luz; Lacerda, 2004).

Esses equipamentos possuem um meio filtrante que recobre a superfície filtrante, pode ser um tambor ou discos. Eles utilizam um sistema de vácuo para criar uma diferença de pressão entre o tanque de polpa e a superfície do meio filtrante. Essa diferença de pressão permite que o líquido passe através da camada permeável do

filtro, enquanto as partículas sólidas são retidas nesse meio, formando uma camada de torta de filtração, como mostra a Figura 10 (b) (Carvalho, 2019 e Oliveira; Da Luz; Lacerda, 2004).

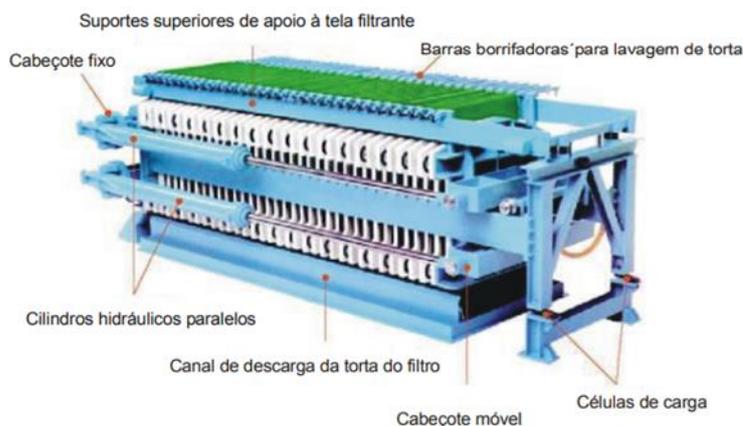
Figura 10 – (a) Fluxograma de instalação industrial com filtro rotativo a vácuo. (b) Esquema de um filtro de tambor rotativo à vácuo



Fonte: Adaptado de Carvalho, 2019

Conforme mencionado por França e Casqueira (2007), a técnica de filtragem sob pressão refere-se ao processo no qual a polpa é submetida a uma pressão positiva, ao invés de vácuo, para direcioná-la ao meio filtrante. Segundo Valadão (2007), os filtros de pressão caracterizam-se por terem produção de tortas com mais baixa umidade, mesmo em granulometrias mais finas, e por possuírem baixo custo operacional, porém mais alto custo de investimento. Um exemplo desses filtros são os filtros prensas horizontais de placas verticais, conforme ilustrado na Figura 11.

Figura 11 - Filtro prensa Metson Minerals

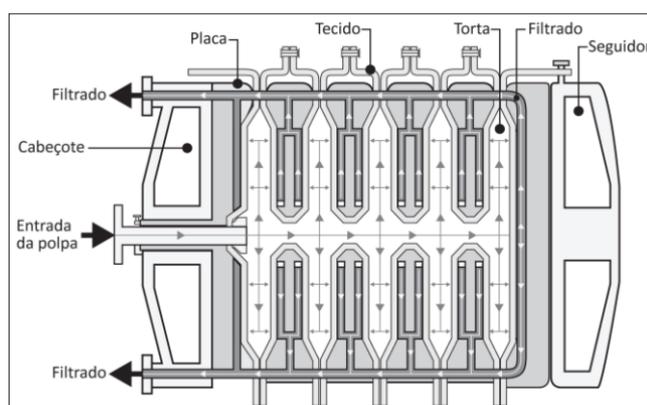


Fonte: Adaptado de Oliveira et al., 2004

De acordo com Guimarães (2011) e Rubim (2012), a filtragem nos filtros prensas é determinada por meio de um ciclo descontínuo, operando em bateladas, e apresenta vantagens significativas, tais como a produção de tortas com menor teor de umidade, menores custos de manutenção, baixo consumo de energia e a possibilidade de reaproveitamento da água.

Como ilustrado na Figura 12, esse equipamento é composto por elementos chamados quadros e placas, as quais podem ser do tipo câmara ou diafragma. Essas placas são revestidas com uma estrutura filtrante e cada uma possui reentrâncias em ambos os lados, que, quando combinadas com a placa vizinha, formam uma câmara. Segundo Guimarães (2011), essas variam de 250 x 250 mm a 2500 x 2500mm, dependendo do modelo do filtro prensa.

Figura 12 - Partes componentes e operação do filtro prensa



Fonte: França e Massari, 2004.

Segundo Chaves (2010), o ciclo de operação do filtro prensa horizontal com placas tipo câmara pode ser dividido em três etapas principais: enchimento, filtragem sob pressão máxima e descarga da torta.

Na etapa de enchimento, a polpa é bombeada para o interior do filtro, e com auxílio de uma bomba de deslocamento positivo, as placas são travadas e o sistema pressurizado. A pressão faz com que o líquido atravesse as telas filtrantes e flua pelos espaços existentes nas placas. Após um tempo de secagem, as placas são descarregadas individualmente através de um sistema automatizado. Em seguida, elas são lavadas, juntadas novamente uma a uma e travadas, encerrando o ciclo de operação do filtro (Chaves, 2010).

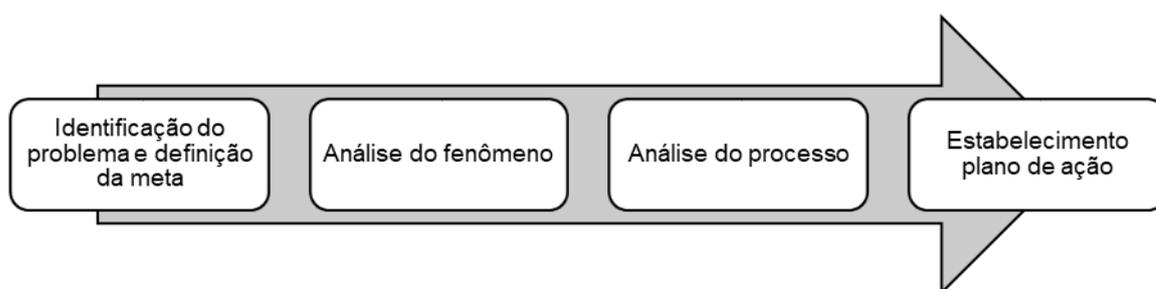
Por outro lado, o filtro prensa com placas tipo diafragma é composto por placas individuais intercaladas entre câmaras e diafragmas as quais possuem revestimento elástico, formando um conjunto chamado de pacote misto. Após o preenchimento das câmaras com a polpa, as bombas de alimentação são desligadas e os diafragmas são pressurizados hidráulicamente para extrair o líquido filtrado. A vazão de filtrado aumenta proporcionalmente à pressão de pressurização, sem que haja alimentação adicional de polpa. Esse sistema com diafragmas reduz o tempo de filtragem do processo de separação sólido-líquido. Após o tempo de pressurização, os diafragmas são despressurizados e as tortas são descarregadas (Guimarães, 2011).

Segundo Chaves (2010), embora o filtro prensa seja amplamente utilizado nas indústrias química e metalúrgica, sua operação é considerada problemática devido à natureza descontínua do processo e à possibilidade de automação apenas em parte das etapas. Existem várias operações que precisam ser controladas, como o bombeamento da polpa para as placas, pressurização das placas, desligamento das bombas, abertura das placas, descarregamento da torta (placa por placa), descobrimento do transportador de correia, fechamento das placas e travamento do filtro.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção, é apresentada a sequência metodológica utilizada para conduzir a pesquisa, seguindo a estrutura do Ciclo PDCA, com foco na etapa “Planejar” (*Plan*), no contexto da investigação dos altos teores de umidade no processo de filtragem de concentrados de zinco em uma mina específica. A Figura 13 ilustra o macro sequenciamento das etapas para o levantamento das informações necessárias para execução deste trabalho.

Figura 13 - Sequência metodológica levantamento de dados



Fonte: Autoria própria, 2023

4.1 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

As interpretações da palavra “problema” englobam: “uma questão não resolvida que necessita de discussão, em diferentes domínios do conhecimento”; “Questão apresentada com o propósito de encontrar uma solução”.

Na fase de reconhecimento do problema, etapa fundamental no âmbito do Ciclo PDCA, a meta inicial é definir de maneira clara qual desvio ou oportunidade de melhoria que deve ser examinado. É nessa etapa que são definidos os indicadores base para avaliar os resultados e a meta de ganhos potenciais por meio do projeto.

Deste modo, foi realizada a coleta e análise dos dados históricos referentes à umidade dos concentrados finais de zinco durante o período de janeiro de 2020 a maio de 2023, visando investigar as situações em que a umidade ultrapassou 11%. Esse valor foi estabelecido como meta pela equipe gerencial da empresa.

Os dados foram obtidos através de relatórios do Sistema *PI Vision*, uma plataforma projetada para apresentação e armazenamento de informações em tempo real relacionadas a processos e operações industriais.

Além disso, foram coletados dados relacionados aos custos de manutenção por equipamento da usina, obtidos por meio de relatórios de um sistema intranet. Essas informações foram utilizadas para construção de gráficos detalhados, nos quais os dados foram categorizados por equipamento e acessórios, facilitando a elaboração de gráficos de Pareto.

Para orientar a coleta de dados, foram formuladas perguntas-chave que direcionaram o processo de investigação na fase de identificação do problema de filtragem. Os questionamentos abordados incluíram:

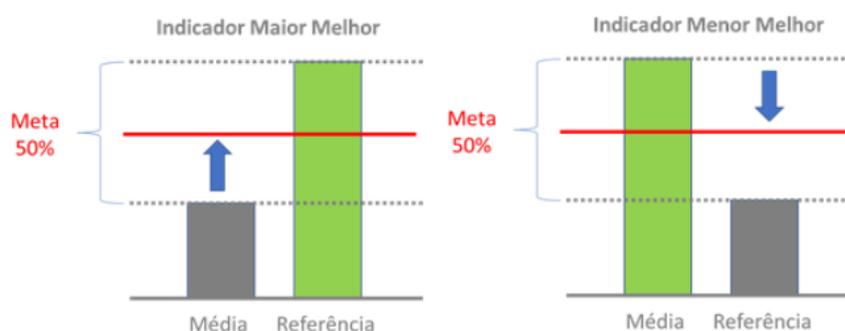
- a) natureza do problema: qual é natureza exata do problema em questão?
- b) Prioridade do problema: por que este problema foi considerado como prioridade?
- c) confiabilidade dos dados históricos: existem dados confiáveis que registraram o histórico do problema?
- d) credibilidade dos dados: por que os dados são considerados confiáveis e representativos?
- e) tendências históricas do indicador: Como o indicador vem se comportando historicamente?
- f) meta de umidade estabelecida: Qual é a meta de umidade a ser alcançada ou mantida?
- g) ganhos projetados: Quais são os ganhos esperados a partir da implementação do projeto?

- a) Definição da meta

Após a identificação do problema, foi estabelecido o objetivo a ser alcançado depois da execução do plano de ação proposto.

Para avaliar a viabilidade estatística da meta de 11% de umidade, foram utilizados os métodos da lacuna e dos quartis. Segundo Silva (2020), no método da lacuna, o valor almejado corresponde a 50% da diferença entre o maior resultado obtido pelo processo (valor ideal) e a média dos resultados. A Figura 14 ilustra de maneira esquemática o princípio matemático desse método.

Figura 14 - Representação Método da Lacuna



Fonte: Silva, 2020

Segundo Martis (2014), o método dos quartis divide os dados em quatro partes iguais. O 1º quartil (Q1 ou Q0,25) é o valor onde pelo menos 25% dos dados não são maiores que ele e pelo menos 75% dos dados não são menores do que ele. O 3º quartil é o valor onde pelo menos 75% dos dados não são maiores do que ele. A faixa intermediária, compreendendo cerca de 50% dos dados, situa-se entre Q1 e Q2, sendo este último também conhecido como mediana.

Neste trabalho, os cálculos para definição da meta basearam-se no histórico do indicador de umidade durante o período de janeiro de 2020 a maio de 2023. No total foram coletadas 41 amostras de dados, as quais foram inseridas em um banco de dados do Excel para possibilitar o cálculo das metas automaticamente.

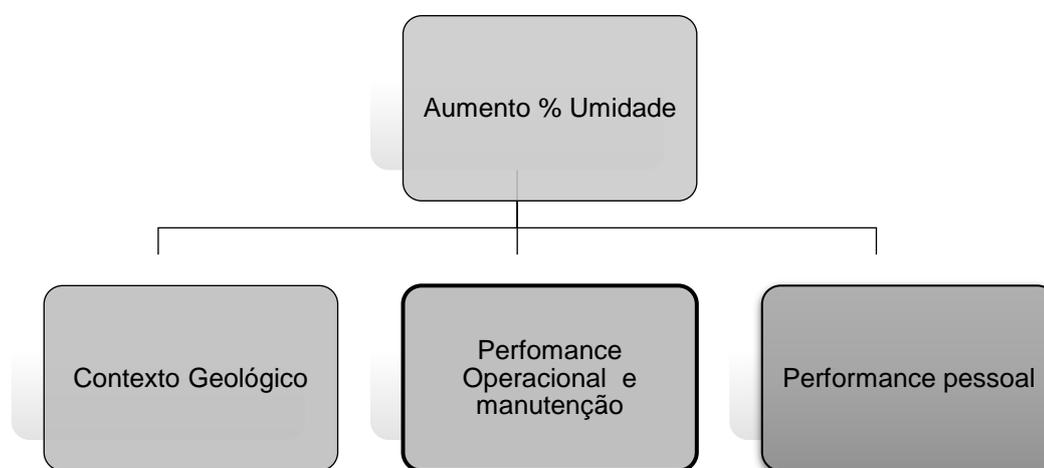
4.2 ANÁLISE DO FENÔMENO

Após identificação do problema e o estabelecimento das metas, inicia-se a etapa de análise do fenômeno. Nessa fase, o problema é dividido em conjuntos ou categorias

a fim de visualizá-lo de forma mais clara e priorizar problemas críticos a serem detectados.

A estratificação foi baseada no contexto geológico do corpo de minério, no desempenho operacional da filtragem, na performance da equipe pessoal envolvida na atividade e nas características do processo de beneficiamento, conforme ilustrado na Figura 15.

Figura 15 - Estratificação do problema em categorias



Fonte: Autoria própria, 2023.

a) Contexto geológico

Foram levantadas informações sobre blocos de minérios cuja lavra foi iniciada no intervalo entre 2020 e 2023. Os dados incluíram as quantidades de minério transportadas e alimentadas na usina, além dos teores de zinco e chumbo presentes em cada bloco.

b) Performance operacional e manutenção

Em relação ao processo operacional e a manutenção, foram realizados acompanhamentos em campo, pelo menos duas vezes na semana durante quatro meses, para análise da atuação da equipe mecânica de acordo com as principais ocorrências de falhas apontadas pela equipe operacional.

c) Performance pessoal

Foi realizado um acompanhamento no campo, durante duas vezes na semana no turno administrativo, para avaliar a performance dos profissionais no processo de filtragem. O objetivo era analisar aspectos como a distribuição da equipe, o número de operadores responsáveis pela atividade de filtragem e as ocorrências relacionadas a paradas operacionais no processo.

4.3 ANÁLISE DO PROCESSO

Segundo Vicente (2021), a fase de análise do processo tem como objetivo descobrir as causas principais dos problemas relacionados ao processo e quais ações deverão ser tratadas para construção do posterior plano de ação. Para isso, foi analisada as etapas do ciclo do filtro prensa e esquematizado no fluxograma da Figura 16.

Deste modo, nessa fase é construído um mapa do processo gerador do problema, a fim de documentar como o processo realmente opera. Todas as atividades que agregam ou não valor devem ser inseridas neste mapa. É a partir da análise do mapa de processo que é possível identificar oportunidades que conduzirão a identificar e eliminar etapas que não agregam valor; reduzir tempo de ciclo; aumentar a produtividade, reduzir custos e reduzir defeitos.

Neste contexto, na construção do fluxograma de etapas do filtro prensa da mina analisada, nota-se oportunidades em relação a otimização dos processos de abertura e enchimento do filtro, no pressionamento, abertura e descarga e na retomada das placas para as posições iniciais.

Figura 16 - Fluxograma etapas de funcionamento do filtro prensa



Fonte: Autoria própria, 2023

O filtro prensa analisado é tipo horizontal, com placas de câmaras. Seu funcionamento envolve três fases principais: a etapa de enchimento, seguida pela filtragem sob pressão máxima, e, por fim, a descarga da torta formada. O equipamento é mostrado na Figura 17. Segundo Guimarães (2021), os filtros prensas horizontais possuem o mesmo princípio de funcionamento, diferenciando-se de acordo com características de cada fabricante.

Figura 17 - Filtro prensa horizontal com placas do tipo câmaras



Fonte: Registro do Autor, 2023.

De acordo com Guimarães (2011), os filtros prensas que funcionam em modo de batelada, devido aos seus ciclos descontínuos, requerem grandes quantidades de operações de controle em comparação ao demais tipos de filtros. Conseqüentemente, esses filtros requerem operadores especializados e dedicados exclusivamente a esse processo.

Ao analisar os tempos médios de duração de cada etapa, com objetivo de identificar variações em relação ao padrão operacional do filtro, notou-se que a fase de maior duração era a de drenagem (20 minutos), seguida pela abertura e descarga da torta filtrada (15 minutos), conforme relatado pelos operadores.

Durante a fase de drenagem, foram observados vazamentos e perdas de concentrado (Figura 10), causados pelo desalinhamento das placas ou pela obstrução dos meios filtrantes. Essas questões possuem um impacto direto na umidade da torta.

Figura 18 - Fase de drenagem com registro de vazamentos



Fonte: Registro do autor, 2023.

Quanto às fases de abertura e descarga (Figura 19) essas operações eram realizadas manualmente, já que o sistema automático de descarga não estava funcionando conforme esperado. Isso demandava a colaboração de pelo menos dois operadores e contribuía para um aumento no tempo necessário para o ciclo do filtro.

Figura 19 – Etapas de abertura e descarga do filtro



Fonte: Registro do Autor, 2023.

4.4 PROPOSTA PLANO DE AÇÃO

Andrade (2017) caracteriza o plano de ação como o produto do conjunto de processos abordados na etapa “*Plan*” do ciclo PDCA. Nesse plano, estão detalhadas todas as ações que deverão ser tomadas para atingir a meta proposta inicialmente. Além disso, Barros (2001) enfatiza que o objetivo deste plano é tornar a implementação de metas uma realidade operacional dentro do processo de produção, visando uma elevada probabilidade de sucesso.

Deste modo, após a coleta de dados e a identificação das possíveis causas que levaram ao não cumprimento da meta de 11% de umidade, estabelecida pela empresa, foi desenvolvido um plano de ação com base nos principais pontos identificados durante a análise dos dados e o acompanhamento em campo.

Contudo, é importante ressaltar que este trabalho não teve como finalidade executar as medidas propostas, atribuídas à fase “*Do*” (Fazer) do ciclo PDCA. Em vez disso, o objetivo foi mapear áreas com potencial de melhoria e sugerir abordagens para mitigar ou eliminar o impacto desses pontos na performance do processo de filtragem.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, é apresentada a proposta de um plano de ação destinado a eliminar e/ou mitigar dos desvios de umidade atrelados a performance do filtro prensa de zinco em uma mina de minérios polisulfetados.

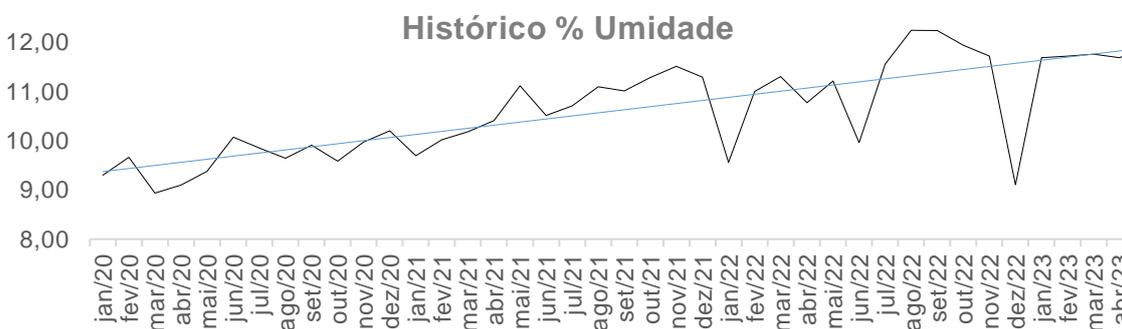
5.1 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

Por meio da análise dos dados históricos de umidade no período de 2020 a maio de 2023, mostrados na Figura 20, observou-se que a partir de setembro de 2021 ocorreram recorrências significativas de valores de umidade do produto que não estavam em conformidade com a especificação limite de 11%, atribuída pela empresa.

Ao analisar o ano de 2022, verificou-se que umidades inferiores a 11% ocorreram apenas em cinco meses (janeiro, fevereiro, abril, junho e dezembro). Além disso, esses valores demonstraram uma tendência de crescimento para os próximos meses.

Com base nos dados de 2023, não foram registrados teores de umidade inferiores a 11% desde o início de janeiro até maio do mesmo ano. Durante esse período, a umidade média foi de 11,76%.

Figura 20 - Histórico percentual de umidade: 2020, 2021 e 2023



Fonte: Autoria própria, 2023.

Além disso, em 2023 foram registradas ocorrências de aumento do material fora de especificação para o embarque (Figura 21), resultando na redução do espaço disponível nos pátios de estocagem.

Figura 21 - Limitação da capacidade do pátio



Fonte: Registro do autor, 2023

Além disso, observou-se que também houve o aumento das ocorrências de dificuldades nas descargas de concentrados (Figura 22), devido ao fenômeno conhecido como “efeito *sticking*”, onde o material com alta umidade tem a tendência de aderir às paredes ou laterais das estruturas.

Figura 22 - Efeito sticking impedindo descarga do material

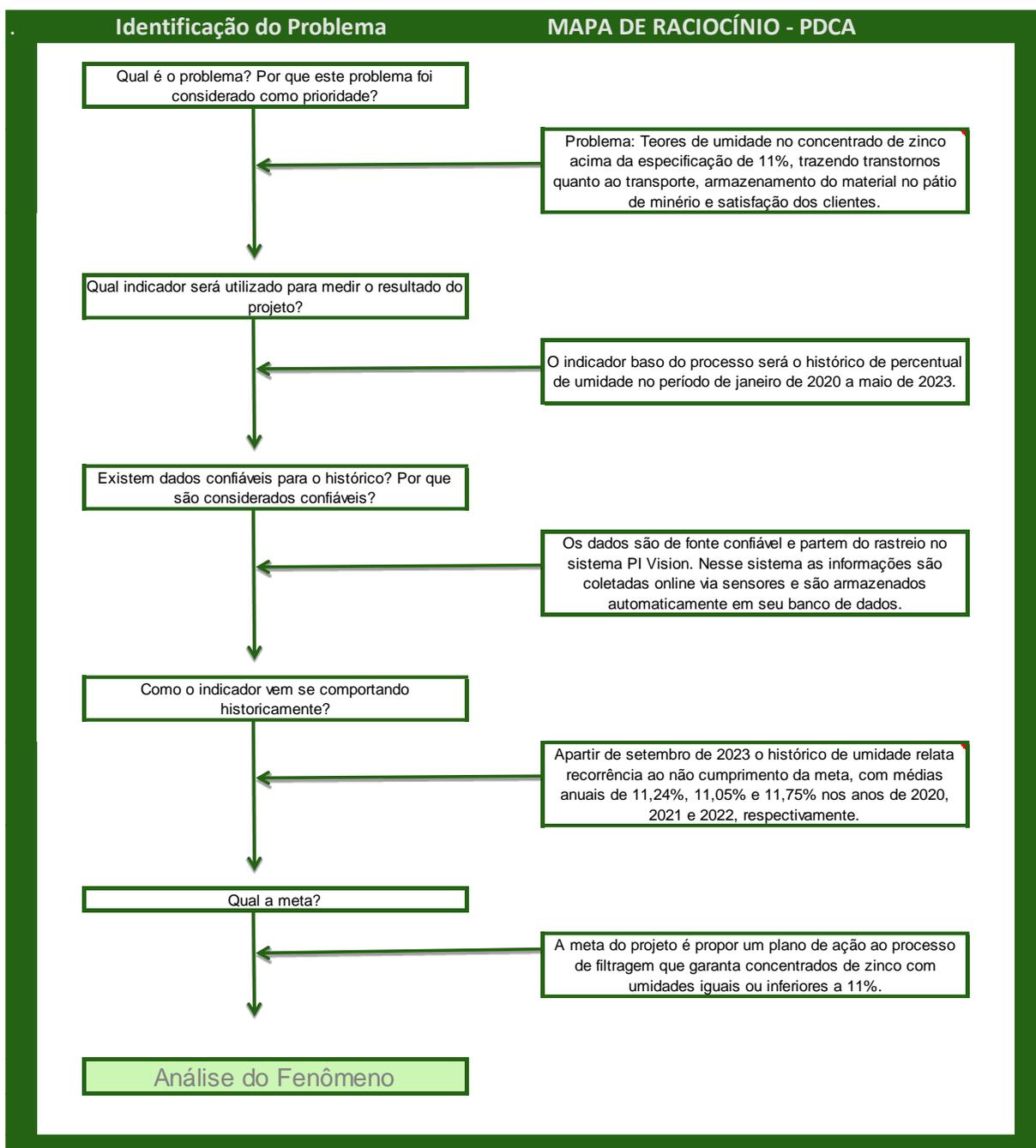


Fonte: Registro do autor, 2023.

Deste modo, o problema encontrado e investigado nesta pesquisa é teores de umidade acima de 11%. O indicador central analisado nesta pesquisa é o percentual de umidade do produto.

As respostas às perguntas direcionadoras feitas na fase inicial de identificação deste problema estão organizadas de forma esquemática no fluxograma da Figura 23, demonstrado a seguir.

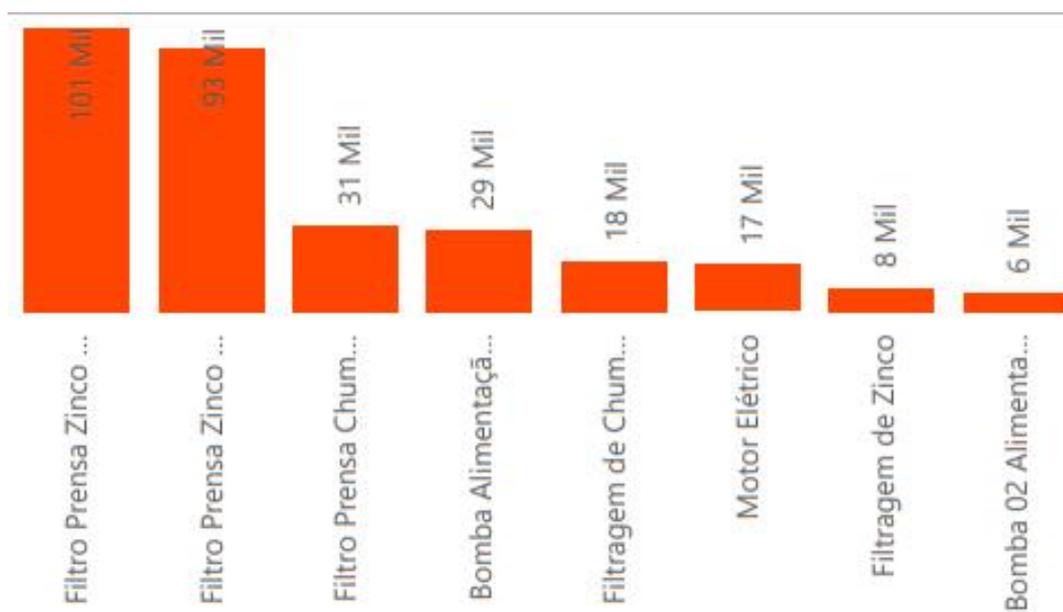
Figura 23 – Fluxograma de identificação do problema



Fonte: Adaptado de Vicente (2021).

Além da baixa performance do equipamento, a partir dos dados obtidos junto a gerência de manutenção, observou-se que durante o período de novembro de 2022 a maio de 2023, cerca de 64,03% dos gastos foram destinados às manutenções no filtro prensa de zinco, totalizando um valor acumulado de R\$ 112 mil, como apresentado nas colunas representantes do filtro prensa no gráfico da Figura 24.

Figura 24 - Levantamento dos custos de em manutenção dos equipamentos da usina



Fonte: Arquivo interno da empresa, 2023.

Portanto, entre as várias despesas associadas aos equipamentos empregados na usina de processamento, os gastos relacionados aos custos de filtragem foram identificados como o ponto central de análise devido ao impacto evidenciado no orçamento geral e no cumprimento da meta de umidade estabelecida pela empresa.

5.2 ANÁLISE DA VIABILIDADE ESTATÍSTICA DA META

Após identificação do problema, foi realizado o cálculo de viabilidade estatística da meta de 11% de umidade utilizando os métodos da lacuna e dos quartis. O objetivo foi determinar se a meta pré-estabelecida pela empresa era estatisticamente exequível.

Para ambos os cálculos, levaram-se como universo amostral 41 dados sobre os teores de umidades nos anos de 2020 a maio de 2023.

No método da lacuna que referência ao benchmark ou valor de referência tem-se que a lacuna, também definida como meta, é resultante do melhor resultado subtraído pela média dos resultados. Deste modo, aplicando diferença entre o maior valor de umidade encontrado (12,24%) e o menor (8,94%), tem-se que a amplitude de 3,31%

e a lacuna de 1,65%. Quando a lacuna é somada ao menor valor de umidade, tem-se que a meta definida pelo método da lacuna era de 10,59%, logo menos restrita que a meta de 11% estabelecida da empresa.

Tabela 4 -Históricos umidade média mensal entre janeiro de 2020 a fevereiro 2021

Mês	Média Umid	Mês	Média Umid	Mês	Média Umid
<i>jan/20</i>	9,30	<i>mar/21</i>	10,18	<i>mai/22</i>	11,21
<i>fev/20</i>	9,66	<i>abr/21</i>	10,41	<i>jun/22</i>	9,96
<i>mar/20</i>	8,94	<i>mai/21</i>	11,12	<i>jul/22</i>	11,56
<i>abr/20</i>	9,10	<i>jun/21</i>	10,51	<i>ago/22</i>	12,24
<i>mai/20</i>	9,38	<i>jul/21</i>	10,71	<i>set/22</i>	12,24
<i>jun/20</i>	10,07	<i>ago/21</i>	11,10	<i>out/22</i>	11,94
<i>jul/20</i>	9,85	<i>set/21</i>	11,01	<i>nov/22</i>	11,72
<i>ago/20</i>	9,65	<i>out/21</i>	11,28	<i>dez/22</i>	9,11
<i>set/20</i>	9,91	<i>nov/21</i>	11,51	<i>jan/23</i>	11,69
<i>out/20</i>	9,58	<i>dez/21</i>	11,29	<i>fev/23</i>	11,72
<i>nov/20</i>	9,97	<i>jan/22</i>	9,56	<i>mar/23</i>	11,76
<i>dez/20</i>	10,20	<i>fev/22</i>	11,00	<i>abr/23</i>	11,69
<i>jan/21</i>	9,70	<i>mar/22</i>	11,30	<i>mai/23</i>	11,94
<i>fev/21</i>	10,02	<i>abr/22</i>	10,77		

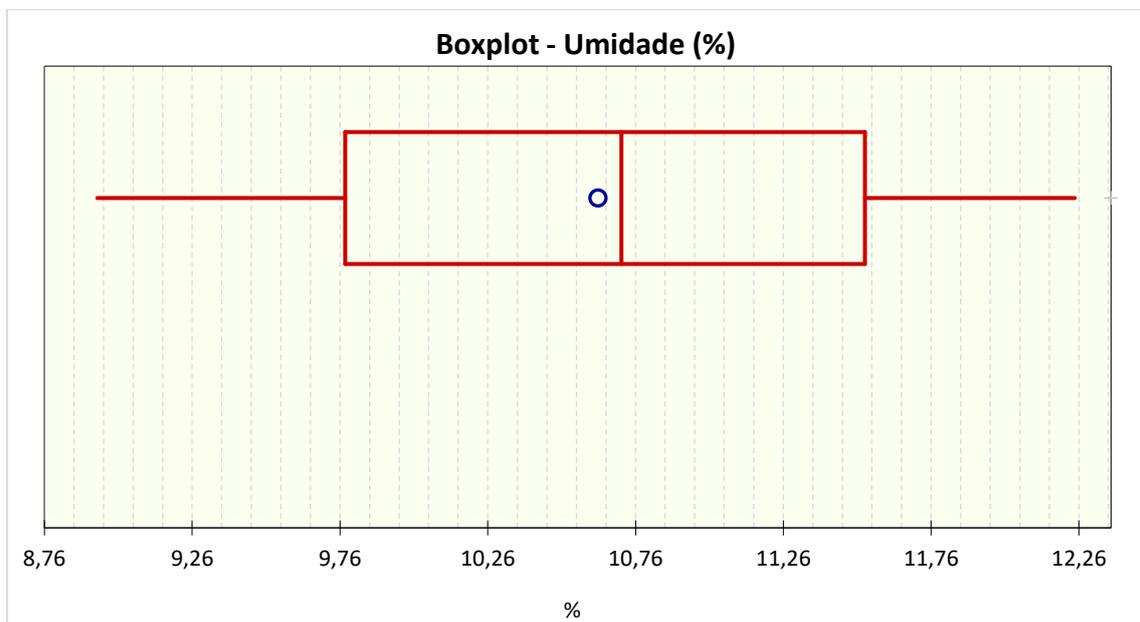
Fonte: Arquivo interno da empresa

Quando se aplica o método dos quartis, tem-se que a meta é de 9,77%, considerando que o indicador é do tipo quanto menor melhor, utiliza-se como meta o primeiro quartil. Portanto, pelo método dos quartis, a meta de 11% de umidade estabelecida pela empresa é viabilizada estatisticamente.

Tabela 5 – Dados dos cálculos da meta pelo método dos quartis

Boxplot - Umidade (%)	
n	41,00
Mínimo	8,94
1º Quartil	9,77
Mediana	10,71
3º Quartil	11,53
Máximo	12,24
Limite Inferior (LI)	7,14
Limite Superior (LS)	14,17
Menor valor dentro (LI)	8,94
Maior valor dentro (LS)	12,24
Desvio Padrão	0,97
Média	10,63

Figura 25 – Boxplot – Meta da umidade



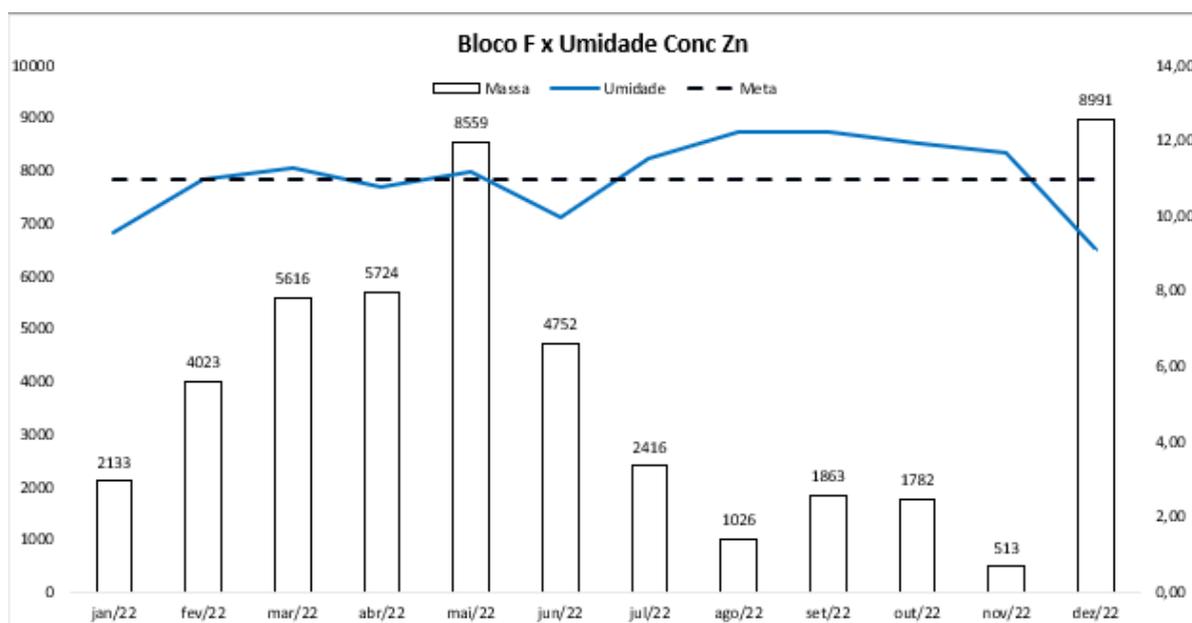
5.3 ANÁLISE DO FENÔMENO

Após o estabelecimento da meta, deve ser feita uma análise do fenômeno ou análise do problema para que as características do problema possam ser reconhecidas. Durante esse processo, o problema foi estratificado em subcategorias a fim de investigar as causas potenciais para o não atingimento da meta de 11% umidade nos concentrados de zinco. As categorias foram: contexto geológico, performance operacional e manutenção e performance pessoal.

5.3.1 Contexto geológico

No contexto geológico, constatou-se o início de lavra de um bloco novo em janeiro de 2022, denominado BLOCO F. Enquanto o BLOCO F foi lavrado, observou-se que a umidade tem valores superiores a 11% em todos os meses, exceto janeiro, junho e dezembro de 2022, de acordo com a Figura 26.

Figura 26 - Bloco F versus Umidade Concentrado de Zinco



Fonte: Autoria própria, 2023.

Como os percentuais de umidade já estavam com valores acima de 11% desde setembro de 2021, não é possível estabelecer uma correlação direta entre o aumento do percentual de umidade e o início da lavra do BLOCO F em 2022. Para entender melhor essa relação, seria necessário realizar um estudo detalhado das características físicas e químicas do minério proveniente deste novo bloco, a fim de compreender como estas influenciam o processo de separação sólido líquido. Isso sugere a possibilidade de abordar esse tema em um novo estudo.

Porém, sabe-se que diversas variáveis relacionadas às características físicas do minério podem influenciar na eficiência do processo de filtração. De acordo com Oliveira (2004) e Guimarães (2011), algumas dessas variáveis incluem:

- distribuição granulométrica: a presença de partículas finas diminui o desempenho da filtração. Partículas grossas formam tortas com intersticiais maiores. Isso permite que líquido atravesse com maior facilidade pelo meio filtrante, aumentando a velocidade de filtração e reduzindo a umidade da torta;
- Forma das partículas: partículas angulares ou irregulares podem dificultar a passagem dos fluidos, reduzindo a velocidade de filtração e, possivelmente, levando ao entupimento do meio filtrante;

5.3.2 Performance operacional e mecânica

Na análise das principais ocorrências de natureza mecânica identificadas pela equipe operacional, constataram-se que estas não haviam sido registradas em nenhum sistema de automação nos últimos anos. Em vez disso, eram comunicadas via rádio pela equipe de operação à equipe de manutenção, que então precedia com ações corretivas. Esse procedimento levou a perda do histórico das ocorrências relacionadas as falhas mecânicas ao longo do tempo.

Porém, ao longo do período de análise de quatro meses, foram observadas que as ocorrências se concentravam, sobretudo, em desgaste mecânico das placas e danos aos tecidos filtrantes, como esquematizado nas Figura 27.

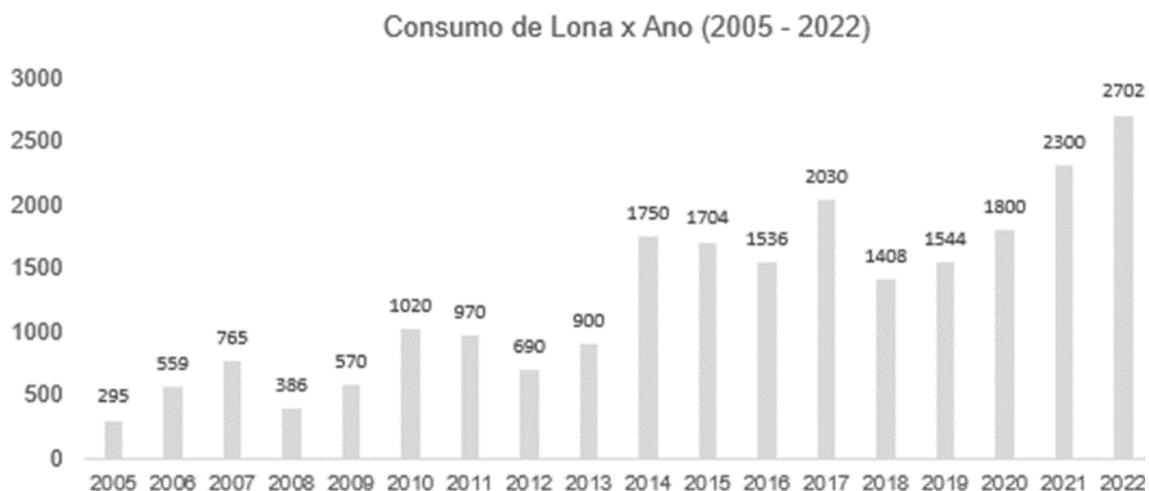
Figura 27 - Danificação das placas nas extremidades dos quatro cantos



Fonte: Registro do autor, 2023.

Ao examinar o registro histórico das substituições dos tecidos filtrantes, abrangendo o período de janeiro de 2005 a dezembro de 2022, observou-se tendência ascendente no consumo desse material a partir de 2020, conforme representado na Figura 28.

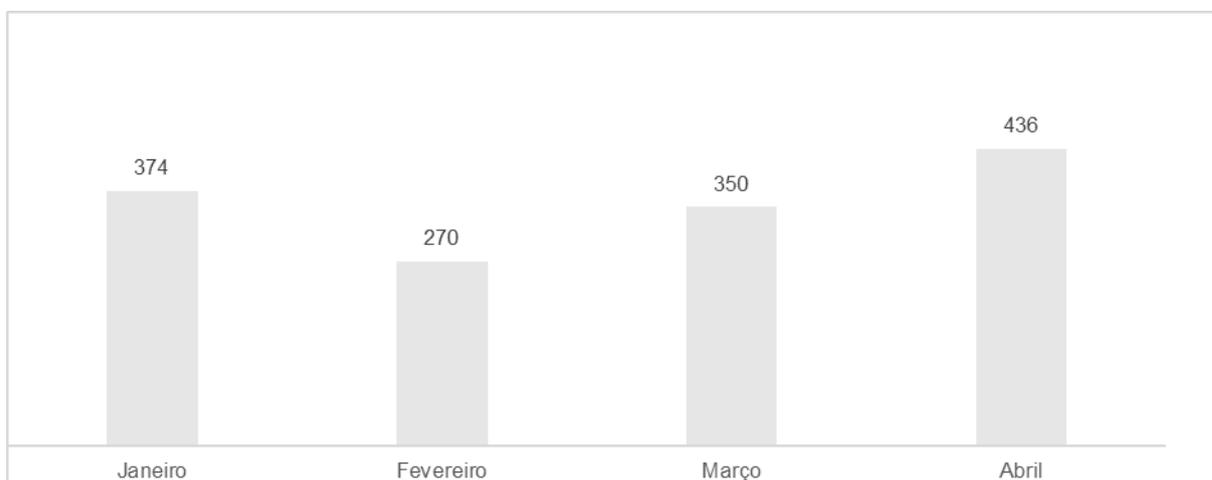
Figura 28 - Histórico de consumo tecido filtrante



Fonte: Arquivo interno.

Em 2023, ao analisar o padrão de consumo mensal (Figura 18), notou-se que entre janeiro e abril, foram consumidos 1430 tecidos filtrantes. Esse montante corresponde a aproximadamente 52% do consumo do ano anterior, registrado em apenas um intervalo de quatro meses.

Figura 29 - Histórico consumo de tecido no ano de 2023



Fonte: Autoria própria, 2023.

Deste modo, a média mensal de consumo de tecidos filtrantes em 2023 foi de 365 unidades, e cada tecido tinha uma vida útil média de 10 dias, conforme apresentado no Quadro 4. Cada unidade de tecido foi adquirida pelo valor médio de R\$ 645,00, o que resultou em um gasto médio mensal de R\$228.125,00. Com base nesses números, a estimativa de custo anual é de R\$2.737.500,00.

Tabela 6 - Levantamento de dados consumo e custos de tecidos filtrantes em 2023

Nº de placas	Duração média de lonas (dias)	Consumo anual de lonas por placa	Consumo anual de lonas total	Custo médio anual com lonas	Consumo médio mensal de lonas	Custo médio mensal com lonas
120	10	37	4380	R\$2.737.500,00	365	R\$228.125,00

Fonte: Dados internos.

Segundo Chaves (2010), a danificação dos meios filtrantes e placas afeta diretamente a eficiência do equipamento, provocando vazamento, perdas de material e geração de produtos com altas umidades. Além disso, há o aumento dos custos com aquisição de novos tecidos.

Entre os problemas que podem causar obstruções nas placas e danificação dos tecidos filtrantes, segundo Da luz *et al.* (2010), Guimarães (2011) e o Manual do Fabricante Sintetika (2023), estão:

- a) partículas Abrasivas: A presença de partículas abrasivas na suspensão que está sendo filtrada pode causar desgaste prematuro nos meios filtrantes. Essas partículas abrasivas podem causar erosão e danos físicos às superfícies do filtro, reduzindo sua eficiência e vida útil;
- b) pressão excessiva: o uso de pressão excessiva durante o ciclo de operação do filtro prensa pode danificar o meio filtrante, causando ruptura, rasgos ou deformações. a pressão excessiva pode ocorrer devido a configurações incorretas do equipamento ou problemas no sistema de controle;
- c) materiais inadequados: a escolha inadequada do material do meio filtrante em relação às características da suspensão ou dos produtos químicos envolvidos pode levar à degradação ou corrosão do meio filtrante ao longo do tempo.
- d) desgaste do ciclo de operação: a operação frequente do filtro prensa, que envolve pressão, drenagem, separação e outros movimentos mecânicos, pode causar um desgaste gradual no meio filtrante ao longo do tempo;
- e) falta de manutenção: a falta de manutenção regular, como limpeza adequada e substituição programada do meio filtrante, pode acelerar sua degradação e reduzir sua vida útil;

- f) condições de processo extremas: condições extremas de temperatura, pH ou composição química da suspensão podem corroer ou danificar os materiais do meio filtrante.

5.3.3 Performance pessoal

Na análise da performance pessoal realizada no período de acompanhamento dos dados neste estudo, através da aplicação da ferramenta de qualidade 5W2H e da interação direta com os operadores no campo, registrou-se uma frequência nos relatos sobre insuficiências na equipe para suprir todas as necessidades operacionais e para acompanhar o processo de filtração de forma eficaz.

Observou-se que os mesmos operadores responsáveis pela operação de filtração também tinham a responsabilidade de realizar a limpeza das contenções de toda usina, especialmente quando ocorriam falhas ou obstruções nos sistemas de bombeamento de outros processos, resultando em transbordamentos. Esses operadores eram encarregados de limpar as piscinas que continham os materiais transbordados. Em algumas ocasiões, essa limpeza coincidia com o período de descarga das tortas filtradas, o que levava a um aumento do tempo de ciclo do filtro.

Essa sobrecarga de responsabilidades e a interseção de tarefas podem ter contribuído para as dificuldades observadas na operação do filtro prensa e para os problemas relacionados à eficiência do processo. Portanto, a identificação e a possível redistribuição das responsabilidades podem ser abordagens a serem consideradas para melhorar a eficiência operacional e reduzir os impactos negativos no tempo de ciclo do filtro.

5.4 PLANO DE AÇÃO

Segundo Barros (2001), o objetivo deste plano é tornar a implementação de metas efetivas no processo de produção, visando aumentar a probabilidade de sucesso.

Nesse contexto, após estratificação dos dados, no âmbito do contexto geológico da lavra do BLOCO F, torna-se evidente a ausência de correlação entre a massa do minério desta região com o aumento da umidade, como foi mostrado na Figura 14.

Deste modo, direcionou-se a ênfase das ações deste plano aos desvios relatados nas seções anteriores, que estão resumidos na Figura 30.

No processo de identificação de oportunidades de melhoria mapeadas, essas foram categorizadas em: mão de obra, manutenção e método. Os pontos de desvios encontrados são listados a seguir:

- a) processo de descarga é realizado de forma manual;
- b) a falta de estruturação das placas resulta em um encaixe inadequado do sistema, ocasionando vazamentos e perdas de concentrado;
- c) a operação do processo de filtragem é muitas vezes a primeira responsabilidade dos novos operadores, o que significa que muitos deles podem não ter experiência suficiente com o processo;
- d) não há operadores dedicados exclusivamente à operação de descarga, pois eles também são designados para limpar as piscinas de contenções ou lidar com materiais de transbordo na planta;
- e) dificuldades na coleta e registro de dados, uma vez que não há controle sistemático dos indicadores operacionais da filtragem, o que impede o rastreamento de horas paradas por manutenção corretiva ou preventiva;

Figura 30 - Proposta de Plano de Ação com base nas oportunidades de melhoria encontradas

Plano de ação					
Segmentos	Item	Meta: Melhoria da performance operacional do filtro prensa para garantia de com até 11% de umidade			
		Medida	Responsável	Prazo / Frequência	Procedimento
Mão de Obra	1.1	Reciclagem do treinamento individual com equipe operacional	Eng. Processos	Prazo 15 dias	Realizar apresentações, manuais, vídeos ou recursos online sobre operação do filtro prensa
	1.2	Atualizar procedimento operacional padrão do processo e repassar com os operadores	Eng. Processos	Prazo 30 dias	Formalizar, de acordo com os padrões da empresa, um documento contendo o procedimento operacional padrão requerido.
	1.3	Possibilitar operação assistida com suporte técnico de operadores mais experientes	Supervisor área	30 dias	Inicialmente proporcionar treinamento aos operadores experientes para desenvolver habilidades de mentoria, comunicação eficaz e transferência de conhecimento as equipes. Posterior, realizar as operações assistidas em todos os turnos.
	1.4	Elaborar report diário de ocorrências relacionadas as falhas mecânicas dos filtros	Supervisor área	Frequência Diária	Criar base de dados para inputs das ocorrências da filtragem pelo dispatch
	1.5	Manter operador da filtragem com função exclusiva de acompanhamento da performance do filtro	Eng. Processos	Frequência Diária	Contratação de equipe operacional para suprir as demandas paralelas a filtragem
Manutenção	2.1	Criar banco de dados para acompanhamento dos indicadores operacionais em tempo real, os quais são: disponibilidade física, utilização, eficiencia.	Equipe manutenção	Prazo 10 dias	Implementação de sensores em casa etapa do ciclo de filtragem, utilizando o PI Vision, para calculo automáticos das horas operacionais e mecânicas
	2.2	Garantir disponibilidade do sistema de bandejamento	Equipe manutenção	Frequência nos Períodos de manutenções preventivas	Contato entre manutenção e o fabricante para direcionamento das atividades de alinhamento
	2.3	Realizar manutenção geral para alinhamento das guias laterais	Equipe manutenção	Frequência Períodos de manutenções preventivas semanais	Contato entre manutenção e o fabricante para direcionamento das atividades de alinhamento
	2.4	Padronizar tamanhos das placas	Equipe manutenção	Prazo 15 dias	Aquisição de placas com padronização de modelos
	2.5	Realizar adequação do tamanho/furações dos tecidos filtrantes para reduzir o desgaste das placas;	Equipe manutenção	Prazo 15 dias	Aquisição de meios filtrantes de acordo com as placas ou customização dos tecidos já comprados
	2.6	Elaborar plano de preventiva de acordo com a atualização do item 1.4	Liderança Manutenção	Entregue juntamente ao plano mensal de produção usina	Mapeamento das principais ocorrências de manutenção com base nos reports operacionais
Método	2.7	Criar plano orçamentário para compra ou reparo das placas do filtro para padronização	Eng. processos	Entrega juntamente ao plano de custo (prazo indicado pela empresa)	Orçamento com fornecedores e análise do centro de custo para direcionamento estratégico de recursos para avaliação da aquisição ou reparo das placas
	2.8	Definir rotina de retomada material das piscinas de contenções para filtração	Eng. processos	Entrega juntamente com o Plano semanal de operação (prazo indicado pela empresa)	Retomada do material das piscinas de contenção para o processo de filtragem via bombeamento quando houver paradas preventivas ou corretivas dos filtros
	2.9	Acompanhar trocas e danificação de tecidos	Eng. processos	Diário	Report diário realizado pelo supervisor em todo término de turno com informação do número de tecidos danificados ou trocados.

Fonte: Elaboração própria, 2023

6 CONCLUSÕES

Através do presente estudo de caso, conclui-se que a metodologia de melhoria contínua desempenhou um papel fundamental ao orientar o processo de identificação de causas raiz e oportunidades dentro da operação de filtragem. Dentre as áreas de atuação identificadas, destacam-se aquelas relacionadas à mão de obra, manutenção e método.

Questões relacionadas a descarga manual do filtro, a falta de estruturação adequada das placas e a ausência de operadores exclusivamente dedicados à operação de descarga revelaram lacunas que comprometem a eficiência do processo, podendo impactar diretamente no teor de umidade dos produtos produzidos.

Além disso, as dificuldades encontradas na coleta e no registro de dados representam obstáculos para um monitoramento preciso e uma análise aprofundada do desempenho operacional. A observação de operadores sobrecarregados, responsáveis tanto pela filtragem quanto pela limpeza das contenções, suscita preocupações quanto à qualidade da operação e à possibilidade de erros decorrentes dessa sobreposição de tarefas.

Dessa maneira, as diretrizes da fase “*Plan*” do Ciclo PDCA contribuíram para a elaboração de uma proposta de plano de ação, que poderá ser aplicada de forma estratégica na operação do filtro, a fim de garantir que os teores de umidade no concentrado de Zn permaneçam dentro da meta de 11% da empresa.

REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR ISO 9000:2015: **Sistemas de gestão da qualidade — Fundamentos e vocabulário**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, set. 2015.
- ALENCAR, J. P. S. G. et. al. **Avaliação da influência da tipologia do minério em testes de sticking**. Disponível em: <ecnologiammm.com.br/article/>
- ANDRADE, Darly Fernando. **Seis Sigma: Coletânea de Artigos**. Volume I. 1ª Edição. Belo Horizonte: Poisson, 2017.
- ARAUJO, Luis César G. de. Organização, **Sistemas e Métodos e as tecnologias de Gestão Organizacional**. Segunda edição. São Paulo: Atlas, 2006.
- BARROS, M. M. S. B. **Implantação de inovações tecnológicas em empresas construtoras: como vencer esse desafio?** In: CONSTRUÇÃO 2001 – ENCONTRO NACIONAL DA CONSTRUÇÃO, Lisboa, 2001. Por uma construção sustentável: Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2001. P.102-109.
- BESSANT, J.; FRANCIS, D. **Developing Strategic Continuous Improvement Capability**. *International Journal of Operations & Production Management*. 1999. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/01443579910291032/full/html>.
- BESSANT, J.; et. Al.M. **An evolutionary model of continuous improvement behavior**. *Technovation*, v. 21, p. 67-77, 2000.
- BESSANT, Jonh, et. al. **Managing Innovation beyond the Steady State**. *Technovation*. 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/222656926_Managing_Innovation_Beyond_the_Steady_State
- BHUIYAN, N.; BAGHEL, A. **An overview of continuous improvement: from the past to the present**. *Management Decision*. 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/235270272_An_overview_of_continuous_improvement_From_the_past_to_the_present.
- BHUIYAN, N.; BAGHEL, A. WILSON, J. **A sustainable continuous improvement methodology at an aerospace company**. *International Journal of Productivity and Performance Management*. 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/235275022_A_sustainable_continuous_improvement_methodology_at_an_aerospace_company
- BREYFOGLE III F. W.; CUPELLO J. M.; MEADOWS, B. **Managing Six Sigma: a** CARVALHO, Livia Chaguri. **Separações Mecânicas - Filtração**. Universidade Federal de São Paulo- Escola de Engenharia de Lorena, Departamento de Engenharia Química. São Paulo, 2019.

CHAVES, A. P. **Teoria e Prática do tratamento de minérios**. Volume 2. São Paulo, CURCIO, D. et al. 2019. **Ferramentas para Melhoria Contínua na Gestão da Qualidade: Benefícios e desafios do programa 5S nas organizações de pequeno porte**. Repositório UNIFEI.

DALE, B.; VAN DER WIELE, A.; VAN IWAARDEN, J. **TQM: An overview**. Managing DANIELEWICZ, Marcio. **Procedimentos para rastreabilidade das não-conformidades no processo produtivo**. 2006 Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, 2006.

EALYVÁSQUEZ-VARGAS et. al. **Applying the Plan-Do-Check-Act (PDCA) Cycle to Reduce the Defects in the Manufacturing Industry: A Case Study**. In: Applied Sciences. Novembro, 2018.

FRANCO, L. S. et al. **As aplicações do Total Quality Management em empresas no Brasil: uma revisão sistemática de literatura**. In: IX Congresso Brasileiro de Engenharia de produção, 2019, Ponta Grossa, PR.

FILHO, V. G. **Gestão da Qualidade Total: Uma abordagem prática**. 3. ed. Campinas: Alínea, 2010.

FRANÇA, S. C. A. e Massarani, G. **Separação sólido-líquido**. In: Luz, A. B., Sampaio, J. A. e Almeida, S. L. M. (Ed.). Tratamento de Minérios. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004.

FRANÇA, S. C. A.; CASQUEIRA, R. G. **Ensaio de filtragem em filtro de folha (Leaf Test)**. IN: Tratamento de Minérios: práticas laboratoriais. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2007. p. 411-422.

FRANK, A. G. et al. **Integração do QFD e da FMEA por meio de uma sistemática para tomada de decisões no processo de desenvolvimento de produtos**. Production, SciELO Brasil, v. 24, n. 2, p. 295–310, 2014.

GUIMARÃES, Nilton Caixeta. **Filtragem de rejeitos de minério de ferro visando a sua disposição em pilhas**. ResearchGate, Dissertação de Mestrado. VALE, Belo Horizonte, 2011.

IMBS, Consulting. **Integrated management business solutions**. Metodologia dos 5W2H. 2018. Lisboa, fev. 2018.

ISHIKAWA, K.: **Controle de Qualidade Total à maneira japonesa**. Editora Campus, 1993.

KAYNAK, Hale. **The relationship between total quality management practices and their effects on firm performance**. Journal of Operations Management, v. 21, n. 4, p. 405–435, 2003.

LUZ, A. B. et al. **Tratamento de minérios**. 5ª edição. Rio de Janeiro, CETEM/MCT, 2010.

MACHADO, L. G. **Aplicação da metodologia PDCA: etapa p (plan) com suporte das ferramentas da qualidade**. Minas Gerais, Juiz de Fora: 2007.

MARTINS, M. E. G. 2014. **Quartis**, Rev. Ciência Elem., V2(04):268
doi.org/10.24927/rce2014.268

MONTORO, S. R. **Operações Unitárias Experimental II: Filtração**. São Paulo: 2012. Disponível em: <http://www.dequi.eel.usp.br/~srmontoro/>

NASCIMENTO, I.; CAZUMBÁ, N. S.; GÓIS, N. **Filtração e o dimensionamento de um filtro prensa**. UNIFACS. Salvador,

OHNO, Taiich. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.

OLIVEIRA, M. L. M.; LUZ, J. A. M.; LACERDA, C. M. M. **Espessamento e Filtragem**. Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Engenharia de Minas. Ouro Preto, setembro de 2004.

OLIVEIRA, P. R. F. et. al **A implantação do Lean Manufacturing numa oficina de manutenção de equipamentos de mineração**. In: Anais do V Simpósio de Engenharia de Produção - SIMEP 2017. Disponível em: <
<http://dSPACE.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/30237>>

OLIVEIRA, R. P. D. **Sistemas, organização e métodos**. São Paulo: Atlas, 2013
PACHECO, A. P. R., SALLES, B. W., POSSAMAI, M. A. G. O. **O ciclo PDCA na gestão do conhecimento: uma abordagem sistêmica**. 2020. Rio Grande do Sul, Universidade de Santa Catarina.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. **Administração da Produção - Operações Industriais e Serviços**. Curitiba: UnicenP, 2007.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. **Administração da Produção: Operações Industriais e de Serviços**. Curitiba: UnicenP, 2007. 750 p. practical guide to understanding, assessing, and implementing the strategy that yields bottomline success. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2001. Quality. Blackwell Business Oxford: 1999.

PEPPER, Matthew P. J.; SPEDDING, Trevor. **A. The evolution of lean Six Sigma**. *International Journal of Quality & Reliability Management*, v. 27, n. 2, p. 138-155, 2010.

REIS, Tiago. **Gestão de Empresas: O que é o Diagrama de Pareto e como utilizá-lo para melhorar processos**. 2018.

RUBIM, Cristiane. **Vantagens dos filtros tipo prensa**. TAE: Revista Especializada em Tratamento de Águas e Efluentes, v. 2, n. 8, 2012.

SABINO, C. V. S. et. al. **O uso do diagrama de Ishikawa como ferramenta no ensino de ecologia no ensino médio** – Educação & Tecnologia, Belo Horizonte, V.14, n. 3, p.52-57 – 2009.

SAMAWI, Ghazi *et al.* **Relation between Total Quality Management Practices and Business Excellence: Evidence from Private Service Firms in Jordan.** International Review of Management and Marketing, v.8, n.1, p.28-35. 2019.

SEBRAE. **Formação de multiplicadores para atuação no mercado de trabalho.** 2013. Disponível em: <https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/>

SHIBA, Shoj. et. al. **TQM: Quatro revoluções na gestão da qualidade.** São Paulo: Bookman, 1997.

SHINGO, Shigwo. **O Sistema Toyota de produção do ponto de vista da Engenharia de Produção.** 2ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 1996
Signus Editora, 2010.

SILVA, Cleiton. Oliveira *et al.* **A utilização do método PDCA para melhoria dos processos: um estudo de caso no carregamento de navios.** Revista Espacios.2017. Disponível em:
<https://www.revistaespacios.com/a17v38n27/a17v38n27p09.pdf>

SILVA, H. B. N. **Aplicação da Metodologia Seis Sigma como Fator Estratégico para Aumento da Eficiência Operacional: Estudo de Caso de uma Empresa no Setor Portuário.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, 2020.

SILVA, M. R. et.al. Filtração. **Operações Unitárias,** Bento Gonçalves. 2012.
Disponível em: <https://azdoc.tips/preview/filtraa0-5c148ea7893f8>

SINETIKA. **Conhecendo os Tecidos Filtrantes e Suas Aplicações.**2023. Manual do Fabricante.

TOLEDO, J.C. et al. **Qualidade: Gestão e Métodos.** Rio de Janeiro: LTC, 2014.
TUBINO, D. F. **Manual de planejamento e controle da produção.** São Paulo: Atlas, 2000.

VALADÃO, G.E.S.; ARAUJO, A.C.(Org.). **Introdução ao Tratamento de Minérios.** 1a ed., Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007, v. 1, p. 11-16.

VICENTE, P. T. **Aplicação da Metodologia PDCA na Gestão da Manutenção de Equipamentos Móveis de uma Empresa de Mineração.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Departamento de Engenharia Mecânica, Ouro Preto, MG, 2021.
WERKEMA, C. **Criando a Cultura Lean Seis Sigma.** Elsevier Brasil, 2012

WOMACK, James; JONES, Daniel. **A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.