



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



ÍTALO FERNANDO DE OLIVEIRA

**APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE GESTÃO DA QUALIDADE NOS DESVIOS
ENTRE OS ESTOQUES CONTÁBEIS E FÍSICOS EM PILHAS DE PRODUTO
MINERAL**

OURO PRETO

2019

ÍTALO FERNANDO DE OLIVEIRA

**APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE GESTÃO DA QUALIDADE NOS DESVIOS
ENTRE OS ESTOQUES CONTÁBEIS E FÍSICOS EM PILHAS DE PRODUTO
MINERAL**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia de Minas da Universidade
Federal de Ouro Preto como requisito
parcial à obtenção do título de
Engenheiro de Minas.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto
Pereira

OURO PRETO

2019

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

O482a Oliveira, Italo Fernando de .

Aplicação das ferramentas de gestão da qualidade nos desvios entre os estoques contábeis e físicos em pilhas de produto mineral. [manuscrito] / Italo Fernando de Oliveira. - 2019.

50 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Pereira.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas.

1. Gestão da qualidade - Minas e mineração. 2. Processamento mineral. 3. Metodologia de Análise e Solução de Problemas - MASP. I. Pereira, Carlos Alberto. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 622.7.097

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



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas - Departamento de Engenharia de Minas

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

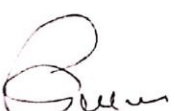
Aos 11 dias do mês de dezembro de 2019, às 09h00min, na sala 02 do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas DEMIN/EM, no Campus Universitário Morro do Cruzeiro, foi realizada a defesa da Monografia de Conclusão de Curso de Engenharia de Minas requisito da disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II, intitulado **“APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE GESTÃO DA QUALIDADE NOS DESVIOS ENTRE OS ESTOQUES CONTÁBEIS E FÍSICOS EM PILHAS DE PRODUTO MINERAL”**, pelo aluno **Ítalo Fernando de Oliveira**, sendo a comissão avaliadora formada por Prof. Dr. Carlos Alberto Pereira (orientador), Eng^o de Minas Thiago Duarte Figueiredo e Eng.^a de Minas Paôlla de Carvalho Barbosa.

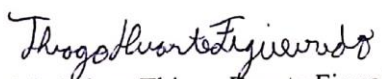
Após arguição sobre o trabalho, a comissão avaliadora deliberou pela ~~aprovação~~ do candidato, com a nota ~~7,0~~ concedendo-lhe o prazo de 15 dias para incorporar no texto final da monografia as alterações determinadas/sugeridas pela banca.

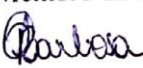
O aluno fará jus aos créditos e conceito de aprovação na disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II após o depósito, no site do Repositório UFOP, da versão final da monografia defendida, conforme modelo do CEMIN-2009, no Colegiado do Curso de Engenharia de Minas – CEMIN.

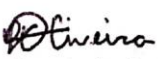
Para fins de registro, foi lavrada a presente ata que, depois de lida e aprovada é assinada pelos membros da comissão avaliadora e pelo discente.

Ouro Preto, 11 de dezembro de 2019.


Prof. Dr. Carlos Alberto Pereira
Presidente da Comissão Avaliadora e Orientador


Eng^o de Minas Thiago Duarte Figueiredo
Membro da Comissão Avaliadora


Eng.^a de Minas Paôlla de Carvalho Barbosa
Membro da Comissão Avaliadora


Ítalo Fernando de Oliveira


Prof. M.Sc. José Fernando Miranda
Professor responsável pela Disciplina Min 492 – Trabalho de Conclusão de Curso

*A minha família e amigos, pelo incentivo e
pelo apoio constante.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, saúde e por ter me dado forças para seguir adiante e nunca desistir dos meus sonhos.

A minha família, em especial minha mãe Selma por todo amor, apoio e incentivo.

Ao prof. Dr. Carlos Alberto Pereira pela orientação e amizade.

Aos docentes e colegas do Departamento de Engenharia de Minas, que contribuíram essencialmente para a minha formação como ser humano e profissional.

À Fundação Gorceix, pelo apoio e capacitação técnica de qualidade.

Aos amigos da Minera Jr. que me acolheram e me ensinaram valores que carregarei comigo por toda a carreira.

“Os ideais que iluminaram meu caminho, e que, de tempos em tempos me dão nova coragem para enfrentar a vida com alegria são a bondade, a beleza e a verdade.”

- Albert Einstein

RESUMO

O presente trabalho apresenta um estudo sobre a aplicação das ferramentas de gestão da qualidade no processo produtivo de uma empresa de mineração, com o objetivo de reduzir os desvios entre os estoques contábeis e físicos em pilhas de produto mineral. Esses estudos são de grande relevância para o controle e gestão da produção pois garantem a confiabilidade da informação, fazendo com que o planejamento de produção e venda seja mais assertivo. O estudo de caso foi desenvolvido em uma planta de processamento mineral a seco. As atividades foram planejadas e segmentadas conforme a Metodologia de Análise e Solução de Problemas – MASP e envolveram a aplicação de diversas ferramentas de qualidade em cada etapa do processo. Ao final foram identificadas três causas como as de maior relevância para o tratamento do desvio, relacionadas ao método utilizado para a determinação da massa contida nos estoques físicos, as práticas operacionais e a efetividade dos equipamentos de pesagem. Planos de ações específicos a cada causa foram criados e o resultado global observado foi a redução dos desvios de fechamento para níveis inferiores a 2%, de acordo com a meta proposta pela empresa.

Palavras-chave: gestão da qualidade; mineração; pilhas de produto mineral; processamento mineral; MASP.

ABSTRACT

This work presents a study on the application of quality management tools in the production process of a mining company, aiming to reduce the deviations between accounting and physical stocks in mineral product stacks. These studies have great relevance for production control and production management because they guarantee the reliability of information, making the production and sales planning more assertive. The study was developed in a waterless mineral processing plant. The activities were planned and segmented according to the Problem Analysis and Solution Methodology - MASP and involved the application of several quality tools in each step of the process. In the end, three causes were identified as the most relevant for the treatment of deviation, related to the method used to determine the mass contained in physical stocks, operational practices and the effectiveness of weighing equipment. A roadmap specific to each cause were created and the overall result observed was the reduction of inventory deviations to levels below 2%, according to the goal proposed by the company.

Key-words: quality management; mining; stockpiles of mineral product; mineral processing; MASP.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	9
1.2 JUSTIFICATIVA	10
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	10
2 OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVO GERAL.....	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1 MINERAÇÃO.....	12
3.2 RECURSOS MINERAIS DO BRASIL	13
3.3 ETAPAS DE OPERAÇÃO	14
3.4 ESTOQUES DE PRODUTOS	15
3.5 INVENTÁRIOS DE ESTOQUES	17
3.5.1 Estoques Apontados	18
3.5.2 Estoques Físicos ou Medidos	21
3.6 GESTÃO DA QUALIDADE	22
3.6.1 MASP	24
3.6.2 <i>Brainstorming</i>	25
3.6.3 Diagrama de Causa e Efeito	27
3.6.4 5W2H	28
3.6.5 Carta de Controle.....	29
4 METODOLOGIA.....	31
4.1 ESTUDO DE CASO	31
4.2 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA.....	33
4.3 ANÁLISE DO FENÔMENO	34
4.3.1 Sujeira Acumulada na Área de Paisagem.....	36
4.3.2 Divergência Entre as Densidade <i>In Situ</i> e Laboratorial.....	37

4.3.3 Falta de Balanças nos Pontos de Medição e Transferências	38
4.4 ESTABELECIMENTO DO PLANO DE AÇÃO	38
4.5 IMPLANTAÇÃO DO PLANO DE AÇÃO	40
4.5.1 Ações Gerenciais	40
4.5.2 Adaptações nos Equipamentos	40
3.5.3 Estudos Teóricos	40
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
5.1 AÇÕES GERENCIAIS	42
5.2 ADEQUAÇÕES ESTRUTURAIS	42
5.3 DENSIDADES <i>IN SITU</i>	43
5.4 ENSAIO PROCTOR	43
5.5 RESULTADO APÓS IMPLANTAÇÃO DO PLANO DE AÇÃO	45
6 CONCLUSÃO.....	47
REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

A chegada dos portugueses ao Brasil em 22 de Abril de 1500 é cercada de mistérios, alguns historiadores defendem que a descoberta foi por pura casualidade devido a um erro de navegação, enquanto outros defendem que a descoberta foi fruto de uma expedição em busca de novos territórios para a coroa portuguesa. Contudo independente da hipótese presumida como verdadeira, é sabido que as expedições portuguesas foram norteadas por interesses econômicos (VICENTINO; DORIGO, 2013).

Com a instauração da colônia no Brasil surgiram interesses imediatos nas riquezas naturais que poderiam estar escondidas em subsolo. Marco histórico desse interesse foi a criação das chamadas Entradas e Bandeiras, expedições que tinham como um dos objetivos principais desbravar o interior brasileiro na busca de ouro e outras pedras preciosas.

Dessa forma se deu o início da mineração no Brasil, com o descobrimento de grandes depósitos minerais em Minas Gerais e uma migração em massa de portugueses. Entretanto a formação de uma indústria de mineração parecida com o que vemos hoje só se deu após muitos anos, com a adoção das máquinas de vapor pela indústria no início do século XIX.

Hoje o Brasil ocupa posição de destaque no cenário mundial como um dos maiores exportadores de minérios. Grande parte desse sucesso é devido a adoção de sistemas de gestão voltados para a qualidade dos produtos e processos, que tornou a indústria brasileira mais competitiva ao ponto de rivalizar com as grandes minerações da Austrália e Canadá.

Diante disso, o presente trabalho tem como objeto de estudo a aplicação de metodologias de gestão da qualidade no processo produtivo de uma empresa de mineração com objetivo de reduzir os desvios de inventariado e garantir a confiabilidade do sistema.

1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Esse estudo foi desenvolvido em uma mineradora de grande porte localizada no estado de Minas Gerais. A empresa possui uma cava do tipo céu aberto com lavra por bancadas e duas unidades de processamento mineral, sendo uma com beneficiamento em umidade natural e outra com beneficiamento a úmido.

Atualmente nota-se um desvio significativo entre os apontamentos de produção no sistema de produção a seco, ocasionando o chamado ajuste de inventário, uma correção que é feita nos

estoques contábeis para que os mesmos coincidam com os apontamentos físicos. Esses ajustes de inventário aplicam uma penalização sobre a produção do mês contábil posterior, fazendo com que as metas de produção mensais fiquem mais arrojadas e demandando maior rendimento operacional dos equipamentos.

1.2 JUSTIFICATIVA

Através de avaliações em campo e análise de dados, notou-se a oportunidade da aplicação de metodologias de gestão da qualidade para investigar a causa raiz do problema, bem como propor soluções que garantissem maior aderência do inventário, proporcionando maior confiabilidade dos dados e menor desgaste entre os setores da empresa.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho aqui apresentado foi estruturado em 6 capítulos, iniciando no presente capítulo que foi elaborado de forma a apresentar a situação problema abordada e a motivação do trabalho. O capítulo 2 esclarece os objetivos do estudo. O capítulo 3 constituiu a revisão bibliográfica, que apresenta os principais conceitos relevantes para o entendimento do trabalho, como as etapas típicas de um processo produtivo em mineração e algumas noções sobre gestão da qualidade. O capítulo 4 apresenta o estudo de caso bem como as metodologias que foram utilizadas na pesquisa. Os resultados são expostos e discutidos no quarto capítulo e a conclusão do trabalho é tratada no capítulo 5. Por fim, o capítulo 6 apresenta as referências bibliográficas que foram utilizadas na elaboração do trabalho.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Diminuir o desvio de inventário nos estoques de produto mineral da empresa de referência, utilizando as ferramentas de gestão da qualidade.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Descrever o processo produtivo da empresa;
- b) Identificar e aplicar as ferramentas da gestão da qualidade adequadas ao processo estudado;
- c) Elaborar um plano de ação com a subsequente implantação.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 MINERAÇÃO

Segundo o historiador Harari (2017) uma das principais habilidades que deu ao animal do gênero *Homo* vantagem seletiva em relação aos concorrentes foi a capacidade cognitiva. Com essa capacidade de cognição maior os primeiros humanos foram capazes de fabricar ferramentas de pedra para ajudar na caça, proteção e na colheita de frutas. Claramente a relação entre o ser humano e os recursos naturais não parou por aí, com o passar dos anos o homem foi capaz de criar machados, lanças, discos de arado, painéis e construções em alvenaria utilizando para tal a extração e modificação dos recursos naturais que dispunha ao seu redor.

A extração e modificação dos recursos naturais, mais especificamente os materiais geológicos é a definição da atividade que conhecemos como mineração. Segundo a legislação brasileira “a atividade de mineração abrange a pesquisa, a lavra, o desenvolvimento da mina, o beneficiamento, a comercialização dos minérios, o aproveitamento de rejeitos e estéréis e o fechamento da mina.” (BRASIL, 2018).

Em uma mineração o material geológico pode ser dividido em duas classes: o minério – aquele cuja a extração e processamento geram um fluxo positivo de caixa; e o estéril – aquele que a extração e processamento geram um fluxo negativo de caixa. Para garantir uma geometria de cava segura e acesso as áreas de interesse, ambos materiais são retirados da mina, porém somente o minério é processado e se torna produto final.

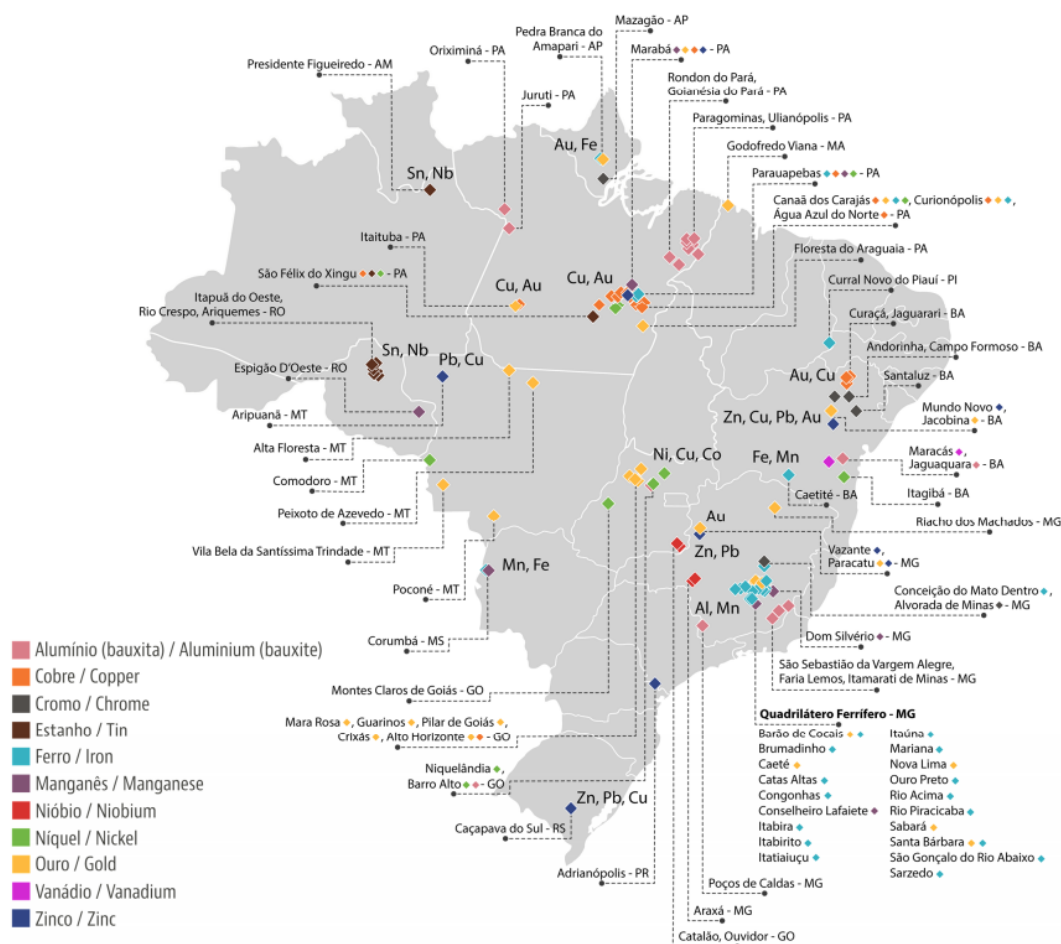
O processamento do minério se dá nas chamadas usinas de tratamento, podendo acontecer via úmida ou via seca. O processamento a seco envolve em via de regra a utilização de minérios ricos com teores já adequados para venda, ficando o processamento responsável somente pela adequação granulométrica dos produtos. Já o processamento a úmido envolve uma etapa chamada de concentração, que compreende o enriquecimento de uma porção do minério através de técnicas de separação baseadas nas propriedades diferenciadoras dos minerais. Os produtos de uma usina de processamento são chamados de concentrado – material com teores e granulometria adequados para a venda; e rejeito – fração empobrecida do minério.

3.2 RECURSOS MINERAIS DO BRASIL

O Brasil é um país muito rico em recursos naturais, segundo Santos (2010) são explorados mais de 55 tipos de minerais diferentes em território nacional, possuindo algumas das maiores reservas do mundo. Segundo a Agência Nacional de Mineração (2018), em 2017 as substâncias metálicas corresponderam a 80% do valor total da produção mineral comercializada brasileira, sendo as que mais se destacaram: alumínio, cobre, cromo, estanho, ferro, manganês, nióbio, ouro, vanádio e zinco.

Ainda segundo a Agência Nacional de Mineração (2018), os estados que mais se destacam na produção mineral são Minas Gerais e Pará, com cerca de 90% do valor de produção nacional. O elemento de maior destaque nesse cenário é o ferro, que é responsável por aproximadamente 70% do valor de produção das substâncias metálicas. A Figura 1 mostra a localização das principais reservas minerais brasileiras, evidenciando a diversidade mineral do país.

Figura 1- Principais reservas minerais brasileiras



Fonte: ANM (2018).

3.3 ETAPAS DE OPERAÇÃO

A mineração pode ser dividida em duas grandes áreas, beneficiamento e lavra. Segundo Curi (2017) a lavra pode ser subdividida em quatro fases distintas denominadas prospecção, exploração, desenvolvimento e exploração. A prospecção compreende a fase inicial da procura de uma ocorrência mineral. Já a exploração consiste de uma etapa de detalhamento geológico da ocorrência mineral, embasada em amostragens, avaliações técnico/econômicas e cubagem da jazida. O desenvolvimento envolve todas as etapas preparatórias para o aproveitamento da jazida, como a construção de estradas de acesso, edificações e plantas de processamento. Por fim, a exploração corresponde a fase da retirada do minério propriamente dita, englobando ainda um conjunto de operações unitárias como perfuração, desmonte, carregamento e transporte.

O beneficiamento corresponde a etapa de processamento do minério, ajustando suas características físicas e químicas para produzir um produto segundo as especificações do mercado. A etapa de beneficiamento é mais diversificada, podendo ser dividida em diversas operações conforme a complexidade em processar cada minério. Usualmente os circuitos de processamento são divididos em etapas de cominuição, classificação, concentração, separação sólido/líquido e manejo. Podemos definir estas etapas com base em seus objetivos da seguinte forma:

a) Etapa de cominuição: compreende as atividades que objetivam a redução do tamanho de partícula do minério para a liberação das unidades minerais, englobando as operações de britagem e moagem;

b) Etapa de classificação: trabalha como um elo entre as etapas de cominuição e concentração, separando as partículas que já estão com tamanho adequado para seguir para a etapa posterior do processo das que ainda necessitam de redução granulométrica.

c) Etapa de concentração: consiste da separação seletiva dos minerais baseado nas diferenças de propriedades entre o mineral de interesse e os minerais de ganga (LUZ; LINS, 2010).

d) Etapa de separação sólido/líquido: busca retirar a água que eventualmente foi adicionada no processo. Segundo França e Massarani (2010), a etapa de desaguamento possui dois objetivos básicos, que são: a produção de um sólido desaguado e de um líquido clarificado.

e) Etapa de manejo: consiste na disposição do rejeito gerado durante o processamento, podendo ser feita por empilhamento em rejeitos secos ou acondicionado em barragens quando o rejeito encontra-se em polpa.

3.4 ESTOQUES DE PRODUTOS

Os estoques são um importante ativo de uma empresa, seja pelo dinheiro investido nele, seja pelas possibilidades de negócios que eles garantem. Segundo Love (1979) podemos definir estoque como qualquer quantidade de produtos ou materiais sob controle da empresa, em um estado relativamente ocioso, esperando por seu uso ou venda.

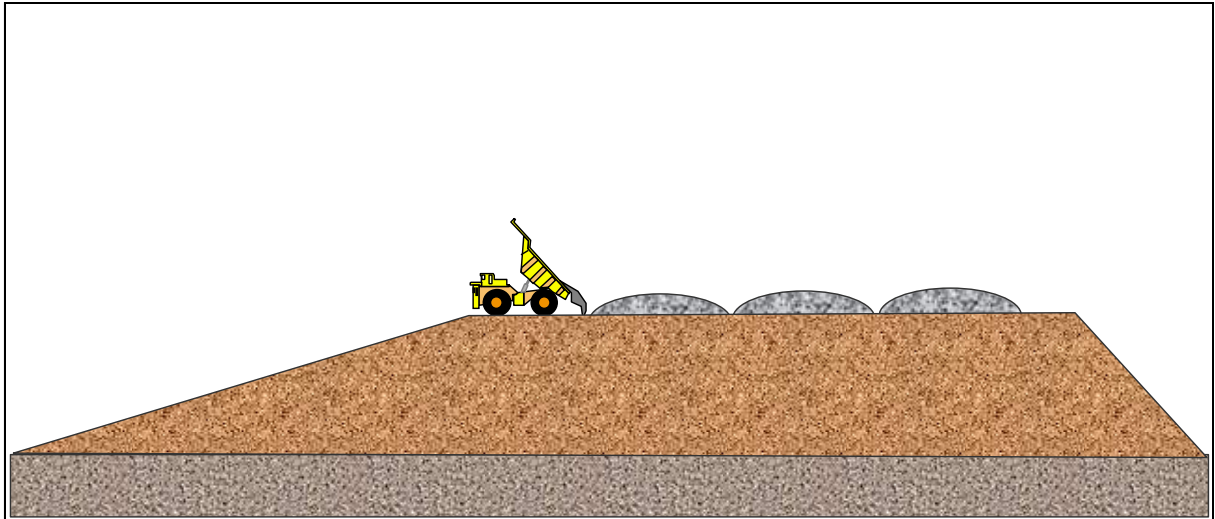
Segundo Freire e Mesquita (2008) os estoques podem ter função de pronto atendimento, ganho de escala, proteção, antecipação e especulação. O estoque de pronto atendimento tem função de garantir que o atendimento da demanda seja feito dentro do menor prazo possível. Os estoques de ganho de escala são utilizados para amenizar custos de produção e transporte, por exemplo quando é oferecido um desconto na aquisição de uma maior quantidade de produtos ou quando o valor do frete é integral mesmo transportando uma quantidade inferior a capacidade de transporte do veículo.

Os estoques de proteção são estoques de segurança, que tem por objetivo proteger outras partes da cadeia produtiva da falta de matéria-prima em casos de flutuações não previstas da demanda. Já os estoques de antecipação tem como função atender uma demanda futura prevista, considerando que os níveis de produção não serão alcançados devido uma sazonalidade, férias de produção ou uma manutenção programada. Por fim, o estoque de especulação tem como função proteger a empresa de variações bruscas das taxas de câmbio e preços futuros.

Em minerações é comum a estocagem de produtos, sejam os produtos acabados ou mesmo o minério bruto. Essa estocagem é feita por carácter estratégico, para garantir o atendimento da demanda em paradas imprevistas e longas da usina de processamento ou da operação na mina e também, para atender condições futuras de mercado mais favoráveis. Por se tratar de sólidos granulados, os estoques de produtos minerais são confeccionados por empilhamento. São duas as principais técnicas construtivas de pilhas de estoque mineral: empilhamento por correias transportadoras e empilhamento por camadas.

Nunes (2014) descreve a construção de pilhas por camadas da seguinte forma: o método consiste em utilizar caminhões para o transporte do granulado, descarregando o material por basculamento e formando pequenas pilhas cônicas, como ilustrado na Figura 2.

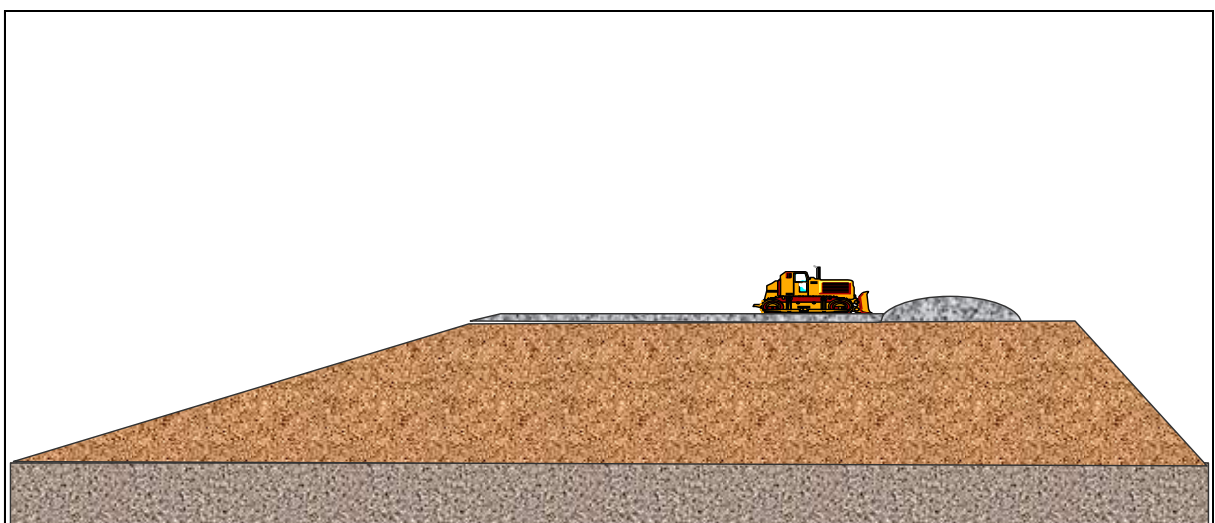
Figura 2- Visão esquemática da formação de pilha por camadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ainda segundo Nunes (2014), após a disposição do granulado um trator nivela a área “quebrando” as pequenas pilhas e formando uma camada de espessura uniforme chamada de praça, que serve como base para a próxima disposição. Esse processo se repete até que se atinja a altura final de pilha, como ilustrado na Figura 3.

Figura 3- Trator quebrando o material e formando a camada



Fonte: Elaborado pelo autor.

O segundo método mais comumente utilizado é o empilhamento por correias transportadoras. O método consiste em transportar o granulado por correias até o ponto de lançamento, onde o material cai livremente formando a pilha. Comumente os transportadores de correias utilizados para essa operação são do tipo fixo, formando as chamadas pilhas cônicas como ilustrado na Figura 4, mas em casos que o transportador de correia tem liberdade para transladar é possível formar as pilhas ditas “feijão” e longitudinal.

Figura 4- Pilha cônica em escala piloto



Fonte: Nunes (2014).

3.5 INVENTÁRIOS DE ESTOQUES

Segundo Esser (2010) a falta de confiabilidade das informações sobre os saldos dos materiais em estoque provoca prejuízos para todos os envolvidos, podendo comprometer o atendimento

aos clientes finais e internos, gerando perdas e retrabalhos e até mesmo acarretando em questionamentos dos controles contábeis e gerenciais.

Nesse sentido, a precisão dos dados ganha status de confiabilidade das informações e é um indicador gerencial que é levado em conta nas gestões de estoques modernas (ESSER, 2010). Existem diversas formas de avaliar a acurácia dos saldos em estoques, por contagem individual dos produtos, por amostragem ou por contagem indireta. Sempre que possível opta-se pela contagem individual dos produtos pois esta gera um menor erro de medição, entretanto essa metodologia é mais lenta e depende que o produto seja fracionado em unidades discretas, como caixas, pacotes, sacos, etc. A contagem indireta é utilizada devido a impossibilidade ou morosidade de se fazer uma medição direta, porém acarreta em mais erros devido a imprecisão das medidas envolvidas. Um exemplo de aplicação pode ser a determinação de unidades de prego em uma caixa, utilizando o peso médio dos pregos e o peso líquido do conjunto.

Nas empresas de mineração, o processo mais comum na checagem dos estoques de produtos minerais é a medição indireta, visto que os estoques podem ter grandes massas e a pesagem do material por balanças rodoviárias ou balanças integradoras é lenta, cara e depende de área de servidão para a estocagem do material pesado. O procedimento mais comum para tal é a determinação da massa através do volume do estoque e da densidade do material, porém diversas incertezas podem não ser levadas em conta nesse processo, gerando um erro significativo no valor final.

Por fim, os dados levantados em campos são confrontados com os dados contábeis correspondentes. Em casos onde é observada uma divergência menor que um parâmetro de tolerância, o saldo contábil é aceito como adequado, nos casos contrários o saldo físico é tido como verdadeiro e o saldo contábil é ajustado.

3.5.1 Estoques Apontados

Os estoques apontados correspondem ao registro contábil dos estoques físicos, por isso são também chamados de estoques contábeis. É importante que os dados dos estoques contábeis sejam confiáveis, pois é a partir deles que a empresa traça estratégias de vendas, compras e produção.

Na estocagem de produtos granulados é comum a utilização de balanças rodoviárias e integradoras para a pesagem do material que será empilhado, formando assim o banco de dados

do estoque contábil. As balanças rodoviárias pesam a carga armazenada nos caminhões, como ilustrado na Figura 5, estas possuem boa confiabilidade mas podem ser mais trabalhosas, pois o caminhão precisa ficar estacionado durante algum tempo sobre a balança, além de que são necessárias duas pesagens (caminhão cheio e caminhão vazio) para se determinar o peso líquido.

Figura 5- Balança rodoviária utilizada na medição da carga dos caminhões



Fonte: Página da Saturno Smart.

Já nas usinas de processamento mineral a forma mais comum de pesagem da produção é pela utilização de balanças integradoras. Esses equipamentos são instalados na estrutura do transportador de correia de modo análogo à um cavalete de suporte convencional, fazendo leituras de toda a carga que passa pela área de pesagem. Pela integração das medidas se obtém a massa acumulada que passou pela correia no período de interesse.

Esse equipamento proporciona medições mais dinâmicas e rápidas, porém é mais sensível as condições ambientais podendo imputar erros mais significativos que a pesagem pela balança rodoviária. A Figura 6 mostra uma balança integradora montada sobre a estrutura de um transportador de correia.

Figura 6- Exemplo de montagem de uma balança integradora



Fonte: Página da Bextra.

Segundo Santos (2010), as fontes de incerteza passíveis de provocar diferenças nos estoques apontados são:

- a) Desalinhamento das correias transportadoras quando utilizado balança integradora;
- b) Desalinhamento dos roletes na área de pesagem da balança integradora;
- c) Sensor de velocidade da correia transportadora mal instalado e desalinhado;
- d) Falta de um plano de calibração das balanças;
- e) Vazão do transportador de correia abaixo do limite mínimo indicado pelo fabricante da balança;
- f) Perdas por vazamentos no circuito de beneficiamento;
- g) Falta de balanças nos pontos de medições e transferências e consequentemente o trabalho com peso estimado;
- h) Acumulo de sujeira na mesa da balança;

i) Falta de treinamento dos empregados no uso dos sistemas de gestão da produção e prática de controle de estoques.

3.5.2 Estoques Físicos ou Medidos

Os estoques físicos nada mais são que o conjunto de produtos ou materiais armazenados em campo ou em um galpão que aguardam para sua utilização futura. São a tradução física dos estoques contábeis e por isso são utilizados de referência para medir a acurácia dos dados registrados no sistema.

Como dito anteriormente, o método mais comum para checagem dos estoques físicos em pilhas de produto mineral é a medição indireta. Existem várias técnicas para determinar a massa contida em uma pilha, mas invariavelmente essas técnicas envolverão a determinação de uma densidade aparente do estoque e a cubagem do volume de material estocado. A determinação do volume total da pilha é geralmente feito por levantamentos topográficos, seja pela utilização das tradicionais estações totais ou com a utilização de técnicas mais modernas, como o levantamento por laser scanner e drone.

Em relação a determinação da densidade aparente da pilha não se observa um consenso sobre qual a melhor técnica a ser aplicada. Existem basicamente duas formas para essa avaliação, por ensaios *in situ* ou por ensaios em laboratório. Das técnicas de ensaio *in situ* podemos destacar os ensaios por cilindro de cravação e por frasco de areia, descritos nas normas ABNT 9813 (2016) e ABNT 7185 (2016) respectivamente.

Nunes (2014) descreve uma técnica muito simples para a determinação da densidade *in situ*. O procedimento consiste em escavar uma certa quantidade de material, deixando uma abertura com geometria próxima de um padrão, determinada por um gabarito. O material escavado é acondicionado em sacos para a determinação da massa total do furo. Em seguida, o furo é revestido com uma fina manta plástica e preenchido até a borda com um volume conhecido de água. A densidade é então determinada pelo quociente entre a massa de material retirada do furo e pelo volume de água que foi acondicionado. Santos (2010) discute outros métodos aplicados para a determinação da densidade *in situ*: método da abertura de vala e método do densímetro nuclear.

Nas indústrias, observa-se a preferência pela utilização de técnicas em laboratório para a determinação da densidade. As mais comuns são densidade por picnometria, por deslocamento de volume em meio denso, pela balança hidrostática e medição em tambor compactado (SANTOS, 2010). Não existe uma técnica notoriamente preferível sobre as outras, pois elas apresentam precisões, tempos de ensaio, custos e complexidades diferentes. Logo, a técnica escolhida é sempre relacionada ao capital disponível para o ensaio e a qualidade esperada da medida.

Um outro fator que indevidamente é pouco levado em conta na medição dos estoques físicos é a amostragem. Segundo a ABNT 3082 (2019) a amostragem em pilha não deveria ser feita, pois a mesma não segue as premissas da teoria da amostragem, visto que o núcleo da pilha nunca é amostrado e por consequência todas as partes do lote não tem a mesma probabilidade de serem amostradas.

A única forma de contornar esse obstáculo é fazendo uma campanha de amostragem que contemple pontos no interior e na superfície da pilha, envolvendo equipamentos como escavadeiras e caminhões para cortar a pilha em diferentes cotas. Obviamente uma campanha de amostragem desse tipo é mais cara e trabalhosa.

O que se observa na prática é que as empresas preferem uma campanha mais simples, imputando maiores erros de amostragem e menor qualidade das medidas. Esse tipo de procedimento é incorreto do ponto de vista técnico, mas por serem levantamentos que objetivam o controle interno, então é aceito um nível maior de erro, ficando os controles mais rigorosos para os eventos que envolvam a saída de mercadoria ou informações para terceiros.

3.6 GESTÃO DA QUALIDADE

Segundo Carvalho e Paladini (2012) para compreendermos o conceito de gestão da qualidade, primeiro se faz necessário entender um pouco sobre a história, interpretando esse conceito e sua evolução através do ambiente produtivo vigente na época.

Ao analisar a evolução dos processos produtivos devemos nos deparar inicialmente com as técnicas de artesanato. O artesão era o perito do processo produtivo, tinha conhecimento de todas as etapas do ciclo de produção, da compra ou extração da matéria prima até a venda. Nesse contexto, a qualidade do produto era medida pela satisfação do cliente e conceitos como

confiabilidade, conformidade, metrologia, tolerância e especificação ainda eram singelos (CARVALHO; PALADINI, 2012).

Com a primeira revolução industrial surgiram modelos de produção mais agressivos, fundamentados na produção em massa, divisão do trabalho e alta concorrência. Nessa época conceitos como especificação, tolerância e conformidade se tornaram fundamentais para uma operação correta em linha de montagem. Surgiu também nesse período a figura do inspetor, que se tornava o responsável por garantir o controle da qualidade na linha de produção (CARVALHO; PALADINI, 2012).

Ainda segundo Carvalho e Paladini (2012), o próximo salto observado no conceito de controle da qualidade aconteceu em 1924 quando Walter A. Shewhart introduziu o controle estatístico de processos e metodologias de análise e solução de problema.

No início da Segunda Guerra Mundial, já se observava uma grande difusão dos conceitos de gestão da qualidade, mas foi no período pós-guerra que novamente observamos um salto no conceito e aplicação da qualidade. Nesse período o Japão lutava pela reconstrução da nação e grandes teóricos da área da qualidade estavam no país acompanhando o restabelecimento das indústrias. Surge daí o modelo japonês de gestão da qualidade, que conservava traços do modelo ocidental e acrescentava ideias relacionadas à participação dos trabalhadores e da alta gerência no processo de gestão da qualidade (CARVALHO; PALADINI, 2012).

Talvez um dos grandes representantes do modelo japonês de gestão da qualidade foi Taiichi Ohno, um dos idealizadores do sistema Toyota de produção. Ohno influenciou o modelo com ideias como produção enxuta e melhoria contínua (SARDI, 2008).

Então, em 1987 surge o modelo normativo para a área de gestão da qualidade, a série 9000 da ISO (International Organization for Standardization). Segundo Carvalho e Paladini (2012) a ISO 9000 difundiu-se rapidamente e tornou-se requisito para ingressar em muitas cadeias produtivas.

Estes são alguns dos elementos da gestão da qualidade moderna, que tem ganhado força mundo a fora com ideias como terceirização, customização do produto, estoque zero, produção enxuta, produção flexível, *just in time*, controle estatístico de processos, etc (SARDI, 2008).

3.6.1 MASP

Segundo a Escola Nacional de Administração Pública - ENAP (2015), “a Metodologia de Análise e Solução de Problemas (MASP) é uma forma estruturada de analisar e solucionar problemas da rotina diária das organizações, também conhecida como *QC Story*, oriunda do movimento da qualidade total no Japão”. Segundo Oribe (2012), diferentes versões do MASP já foram apresentadas por diversos autores em diferentes publicações, evidenciando que é um método aberto, apesar de que todas as versões apresentavam elementos bastante comuns.

O método é composto por “etapas predefinidas destinadas à escolha de um problema, análise de suas causas, definição e planejamento das ações que estabelecem uma solução, verificação do resultado e geração de aprendizado decorrido de sua aplicação” (PIRES, 2014, apud LORENZON, 2018). O Quadro 1 ilustra as etapas do MASP:

Quadro 1 – Etapas do MASP

ETAPA	DESCRIÇÃO
Etapa 1: Identificação do problema	Escolha do problema
	Histórico do problema
	Mostrar perdas atuais e ganhos viáveis
	Fazer análise de pareto
	Nomear responsáveis
Etapa 2: Observação	Descoberta das características do problema através de coleta de dados e observação do local
	Cronograma, orçamento e meta
Etapa 3: Análise	Definição das causas influentes
	Escolha das causas mais prováveis
	Análise das causas mais prováveis
Etapa 4: Plano de ação	Elaboração da estratégia de ação
	Elaboração do plano de ação para o bloqueio e revisão do cronograma e orçamento final
Etapa 5: Ação	Treinamento
	Execução da ação
Etapa 6: Verificação	Comparação dos resultados
	Listagem dos efeitos secundários
	Verificação da continuidade ou não do problema
Etapa 7: Padronização	Elaboração ou alteração do padrão
	Comunicação
	Educação e treinamento
	Acompanhamento da utilização do padrão
Etapa 8: Conclusão	Relação dos problemas remanescentes
	Planejamento do ataque aos problemas remanescentes
	Reflexão

Fonte: Bastiani (2013).

3.6.2 Brainstorming

O *brainstorming* é uma técnica utilizada para propor soluções ou ideias sobre um problema ou tema específico. No Brasil a técnica também é chamada de tempestade de ideias. O processo consiste de uma reunião onde os participantes devem expor suas ideias e debater acerca das propostas apresentadas.

Buchele *et al.* (2014) argumentam que o *brainstorming* deve ser usado por qualquer grupo ou organização com problemas ou necessidades de novas ideias, evidenciando sua importância no processo de solução de problemas. Segundo McGlynn (2004) apud Buchele *et al.* (2014), o *brainstorming* pode ainda ser utilizado para tarefas de planejamento, geração de hipóteses, bem como tomada de decisão, visto que muitos problemas desse tipo necessitam de criatividade.

Em uma sessão de *brainstorming*, os participantes são estimulados a expressar todas as ideias que tiverem sobre o tema tratado. Para que o processo seja efetivo, algumas regras são lançadas na execução da dinâmica, como explicitado no Quadro 2, “o objetivo oculto dessas regras é que a geração de um grande número de ideias irá estimular o surgimento de ideias de alta qualidade também”. (BUCHELE *et al.* 2014)

Quadro 2 - Regras para uma execução adequada do *brainstorming*

Nº	REGRA
1	Deve-se expressar todas as ideias que vêm à mente.
2	É proibido criticar e julgar as ideias dos companheiros.
3	Quanto mais criativa a ideia, melhor.
4	A quantidade é mais importante que a qualidade, quanto maior o número de ideias, maior a probabilidade de ideias vencedoras.
5	Deve-se tentar sugerir ideias que possam ser unidas com ideias de outras pessoas, ou como a ideia de outras pessoas pode ser melhorada.

Fonte: Buchele *et al.* (2014).

Fixado as regras iniciais, existem diferentes métodos que podem ser seguidos. No Quadro 3 é mostrado um método para uma execução adequada de uma reunião de *brainstorming*. Seguidas essas orientações é esperado que o processo ideacional se dê de forma facilitada, criando um ambiente colaborativo e criativo (BUCHELE *et al.*, 2014).

Quadro 3- Passos para uma sessão de *brainstorming*

ETAPA	MÉTODO
1	Selecione os participantes com base na natureza do problema a ser resolvido (a mistura de diferentes níveis de participantes deve ser evitada, pois em geral, os participantes devem ter um conhecimento prévio acerca do tema).
2	Defina claramente o problema a ser debatido e esclarecido aos participantes
3	As sessões devem durar entre 30 e 45 minutos e devem ter um mediador para conduzir o processo.
4	A preparação dos participantes pode ser feita em duas etapas, antes ou durante a sessão: <u>Antes:</u> Envie um memorando de uma página aos participantes convidando-os a participarem da sessão com exemplos de ideias desejadas para a solução do problema em questão. Isto permitirá que os participantes pensem previamente sobre o problema. <u>Durante:</u> Nesse caso, deve haver uma orientação de aproximadamente 30 minutos sobre o problema. A utilização de métodos, técnicas e ferramentas complementares é recomendada pra incentivar a geração de ideias.
5	Realize rodadas consecutivas até que nenhum participantes tenha algo a mais para acrescentar. Incentive os participantes a darem o maior número possível de contribuições.
6	Para registro das ideias, utilize um gravador ou flip-chart.
7	Em um segundo momento as ideias semelhantes podem ser agrupadas, assim como aquelas sem importância ou impossíveis de se realizar devem ser descartadas.
8	Selecione as ideias com base em critérios para atender aos objetivos do problema.

Fonte: Buchele *et al.* (2014).

3.6.3 Diagrama de Causa e Efeito

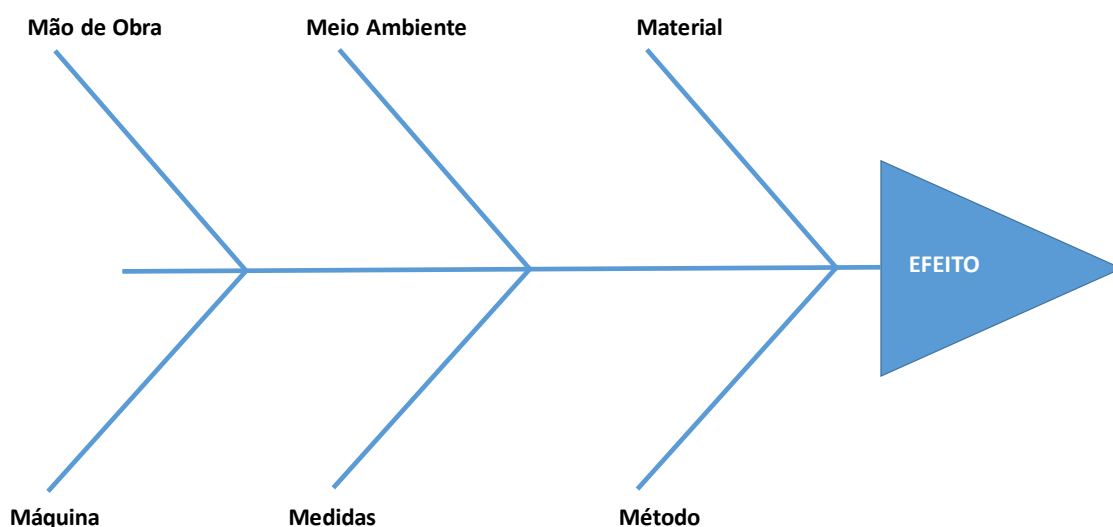
Esse diagrama é conhecido também como diagrama de Ishikawa em homenagem ao seu criador, o engenheiro japonês Kaoru Ishikawa ou como diagrama de espinha de peixe, devido sua forma gráfica. “O objetivo dessa ferramenta é a análise das operações dos processos produtivos” (CARVALHO; PALADINI, 2012).

Segundo Carvalho e Paladini (2012) o eixo principal do diagrama mostra o fluxo básico de informações e os eixos secundários mostram as contribuições secundárias para o processo em análise.

“O diagrama ilustra as causas principais de uma ação, de um resultado ou de determinada situação, para as quais se dirigem causas de menor importância. Este fluxo conduz ao sintoma, resultado ou efeito final de todas (interações) e cada uma (reflexos isolados) dessas causas. O diagrama assim, permite a visualização da relação entre as causas e os efeitos delas decorrentes.” (CARVALHO; PALADINI, 2012).

Segundo Vieira (1999) apud Pimentel (2016), a primeira etapa para a confecção do diagrama é a determinação do problema a ser abordado, para posteriormente identificar as possíveis causas do problema em questão. Alguns teóricos da qualidade sugerem dividir as causas primárias em seis categorias chamadas de “6M”, que são: material, método, máquinas, mão de obra, meio ambiente e medidas. A Figura 7 ilustra o formato básico de um diagrama de causa e efeito baseado na divisão das causas primárias conforme o 6M. Entretanto, cabe ressaltar que existem casos em que nem todas as categorias do 6M estarão representadas por uma causa.

Figura 7- Modelo do diagrama de Ishikawa



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.6.4 5W2H

Behr et al. (2008) apud Brum (2013), definem esta ferramenta como sendo “uma maneira de estruturarmos o pensamento de uma forma bem organizada e materializada antes de implantarmos alguma solução no negócio”. Seu nome vem do uso das palavras em inglês: *What* (O que), *Where* (Onde), *Who* (Quem), *Why* (Por que), *When* (Quando), *How* (Como) e *How much* (Valor).

O 5W2H auxilia no mapeamento e padronização de processos e na elaboração de um plano de ações. O método consiste em responder as sete perguntas até que todos os aspectos básicos tenham sido levados em conta no planejamento. Quando a ferramenta é bem implementada o resultado é um aumento de produtividade, visto que as partes do processo sabem exatamente o que fazer, quando fazer, onde fazer, de que forma fazer e o porquê de fazer.

Segundo Brum (2013), com o aumento da dificuldade em gerir processos e informações, “essa metodologia através de respostas simples e objetivas, permite que informações extremamente cruciais para a contextualização de um planejamento sejam identificadas”. O Quadro 4 apresenta o resumo da metodologia e as respostas esperadas para cada pergunta.

Quadro 4 - Resumo da metodologia 5W2H

Passos	Conteúdo das respostas	Exemplo de perguntas
<i>What</i>	Ações necessárias ao tema analisado	O que deve ser ou está sendo feito? Quais os insumos do problema/processo? O que se pretende extrair do problema/processo? Quais os métodos, materiais e tecnologias que devem ser utilizados?
<i>Why</i>	Justificativa das ações	Por que ocorre este problema? Por que executar desta forma? Para que atuar nesse problema?
<i>Where</i>	Locais influenciados pelas ações	Onde ocorre/ocorreu o problema? Onde é preciso atuar para corrigir o problema?
<i>Who</i>	Responsabilidades pelas ações	Quem são os agentes envolvidos? Quem conhece melhor o processo? Quais as pessoas deverão executar o plano de ação?
<i>When</i>	Definir prazos	Quando começar e terminar? Quando deverão ser executadas cada etapa do plano?
<i>How</i>	Métodos a serem utilizados	Como será executado o plano? Como registrar as informações necessárias? Como definir as etapas do processo?
<i>How much</i>	Definir orçamento	Quanto será o custo envolvido? Quanto custará os recursos necessários? Quanto custa corrigir o problema?

Fonte: Adaptado de Brum (2013).

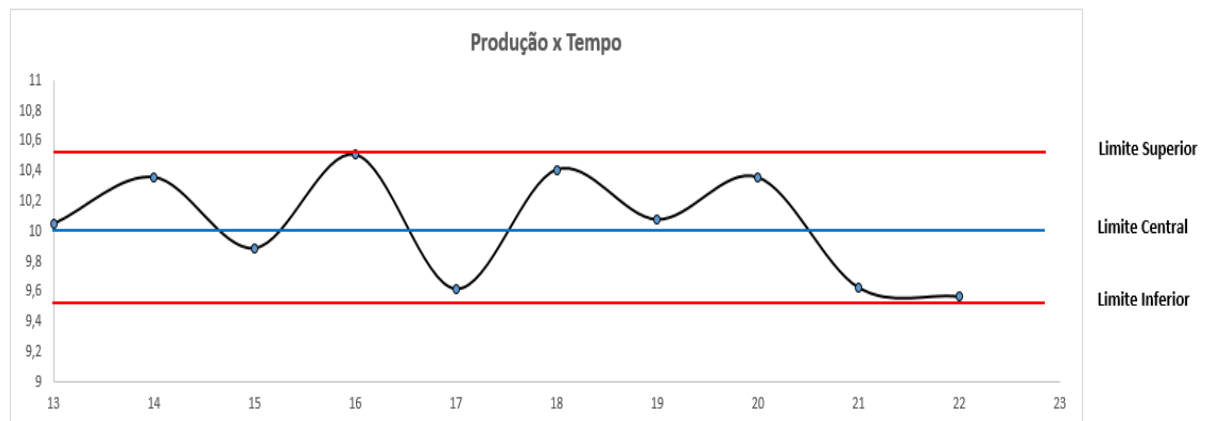
3.6.5 Carta de Controle

Carta de controle ou gráficos de controle são ferramentas utilizadas para o acompanhamento de um processo. Esse gráfico é composto basicamente por três linhas, uma que indica a média esperada como resultado ou limite central de um processo e outras duas que indicam os limites inferior e superior aceitáveis do processo. A Figura 8 exemplifica a estrutura de uma carta de controle genérica. As funções da carta de controle são: evidenciar que um processo está

operando sobre controle estatístico, sinalizar resultados anômalos de processo e apresentar dados para que sejam tomadas ações gerenciais para a melhoria dos processos (TURUTA, 2015).

Usualmente os gráficos de controle fornecem os resultados dos processos conforme uma variação do tempo, podendo ser horas, dias, meses, etc. É esperado que os dados se distribuam aleatoriamente entre os limites de controle e uma linearidade dos dados pode indicar que o processo está fora de controle. A utilização de gráficos de controle contribui para identificar e sanar defeitos de processo mais rapidamente, além de diminuir o custo com retrabalho e fabricação (TURUTA, 2015).

Figura 8- Modelo de carta de controle



Fonte: Elaborado pelo autor.

4 METODOLOGIA

O presente trabalho apresenta um estudo de caso sobre a aplicação das metodologias de gestão da qualidade em um processo produtivo de uma empresa de mineração, com o objetivo de reduzir os desvios entre os estoques físicos e contábeis em pilhas de produto mineral. O trabalho foi desenvolvido e planejado segundo os conceitos da Metodologia de Análise e Solução de Problemas - MASP, com a aplicação de diversas ferramentas da qualidade nas diferentes etapas.

4.1 ESTUDO DE CASO

Esse estudo foi desenvolvido em uma unidade de uma mineradora de grande porte situada no estado de Minas Gerais, que possui lavra própria e plantas de processamento mineral. Por motivo de segurança das informações o nome da empresa será mantido em sigilo durante todo o trabalho.

Na unidade em que o estudo foi desenvolvido são produzidas mais de 15 milhões de toneladas de produto concentrado por ano. Quase dois terços da produção é destinada ao comércio exterior, enquanto o restante é direcionado para o atendimento interno em outra unidade da empresa, para a transformação metalúrgica.

A lavra é feita a céu aberto por bancadas, com caminhões fora de estrada da série 793-F e 793-D com capacidades de 240 toneladas. O processamento é feito em duas plantas distintas, sendo uma planta voltada para o processamento a úmido do minério de menor qualidade e outra voltada para o processamento a seco do minério de alta qualidade. Este estudo foi realizado na planta de processamento a seco.

Esta planta não contempla um circuito de concentração visto o alto teor do minério alimentado. Por isso, os equipamentos da planta trabalham conforme um circuito típico de britagem, de forma a somente garantir a adequação granulométrica dos produtos. A figura 9 ilustra o fluxograma do processo. O minério bruto, *Run of Mine – ROM*, passa por duas etapas de britagem, uma em circuito aberto e outra em circuito fechado. O *topsize* de saída do circuito de britagem possui diâmetro equivalente em cerca de 50 mm. O minério britado alimenta duas linhas paralelas de peneiramento, compostas por peneiras idênticas. Em uma mesma linha as peneiras trabalham de forma a aumentar o tempo de residência do minério, ou seja, os equipamentos são dispostos de forma que o material retido no primeiro *deck* da primeira peneira alimente o primeiro *deck* da segunda peneira.

No peneiramento secundário todas as peneiras possuem o segundo *deck* “cego”, logo a classificação propriamente dita é de responsabilidade do primeiro *deck*, enquanto o segundo *deck* somente direciona o *undersize* para a área de descarga. São gerados dois produtos desse processo, um dito grosso (*oversize* do peneiramento) e um dito fino (*undersize* do peneiramento), que apesar da diferença em tamanhos apresentam teores compatíveis do elemento de interesse.

O sistema de produção a seco tem capacidade produtiva instalada de aproximadamente 8 milhões de toneladas ano. Os produtos possuem dois destinos comuns, expedição via malha ferroviária ou estocagem em pilhas. A estocagem final é feita em pilhas do tipo camada e a produção do circuito é contabilizada através de balanças integradoras.

4.2 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

Ao acompanhar os inventários de estoque na unidade de processamento a seco, foi observado um frequente desvio de fechamento, indicando uma anormalidade no processo. Para a confirmação da hipótese, as tabelas de controle foram transformadas em uma carta de controle como visto na Figura 10.

Figura 10- Carta de controle do processo de inventariado



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a análise, foi considerado um limite aceitável de desvio igual a $\pm 2,00\%$ conforme orientação da própria empresa. A carta de controle revelou uma não aleatoriedade dos dados e consecutivos desvios fora do limite de controle, confirmando o entendimento de que o processo estava inadequado.

4.3 ANÁLISE DO FENÔMENO

Após a identificação do problema, uma equipe foi designada para analisar o fenômeno e quais suas possíveis causas. Com o entendimento do problema, uma rodada de *brainstorming* levantou quais deveriam ser as causas raízes que a princípio levariam ao desvio na reconciliação dos estoques. As ideias são listadas no Quadro 5.

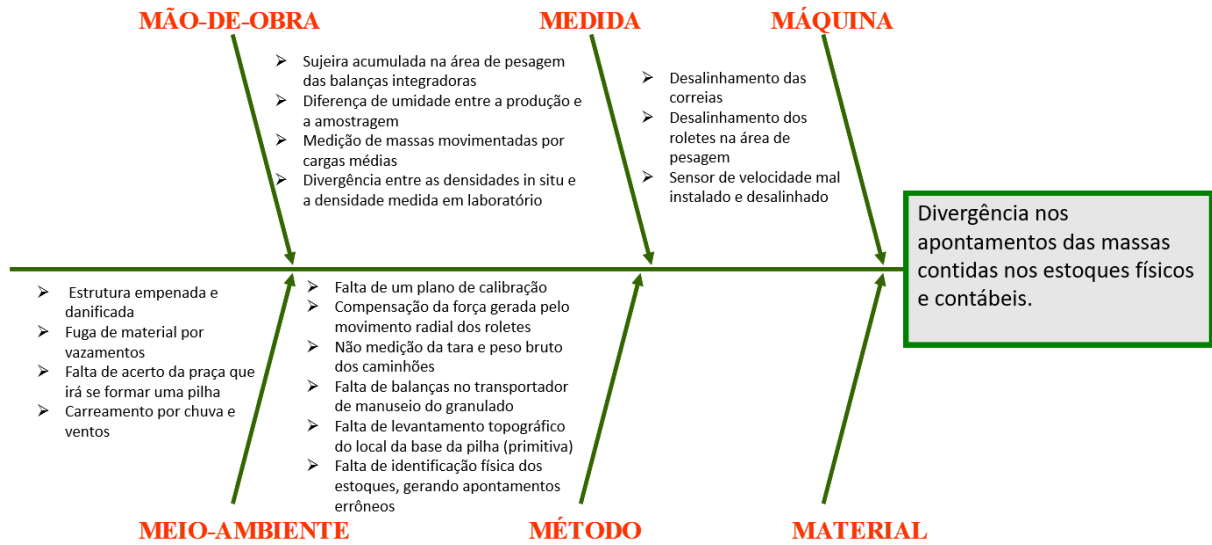
Quadro 5 – Ideias Geradas pelo *brainstorming*

Ideias Geradas	
1	Desalinhamento das correias
2	Desalinhamento dos roletes na área de pesagem
3	Sensor de velocidade mal instalado e desalinhado
4	Falta de um plano de calibração
5	Sujeira acumulada na área de pesagem das balanças integradoras
6	Estrutura empenada e danificada
7	Compensação da força gerada pelo movimento radial dos roletes
8	Não medição da tara e peso bruto dos caminhões
9	Fuga de material por vazamentos
10	Falta de balanças no transportador de manuseio do granulado
11	Falta de acerto da praça que irá se formar uma pilha
12	Falta de levantamento topográfico do local da base da pilha (primitiva)
13	Falta de identificação física dos estoques, gerando apontamentos errôneos
14	Carreamento por chuva e ventos
15	Diferença de umidade entre a produção e a amostragem
16	Medição de massas movimentadas por cargas médias
17	Divergência entre as densidades in situ e a densidade medida em laboratório

Fonte: Elaborado pelo autor.

A seguir, as ideias listadas foram dispostas em um diagrama de Ishikawa, para posterior discussão e análise de quais causas realmente tinham efeito significativo sobre o desvio de inventário. A Figura 11 mostra o diagrama de Ishikawa cheio, podemos notar que não foram levantadas hipóteses sobre o material e a mão de obra, indicando que esses não deveriam influenciar nos desvios.

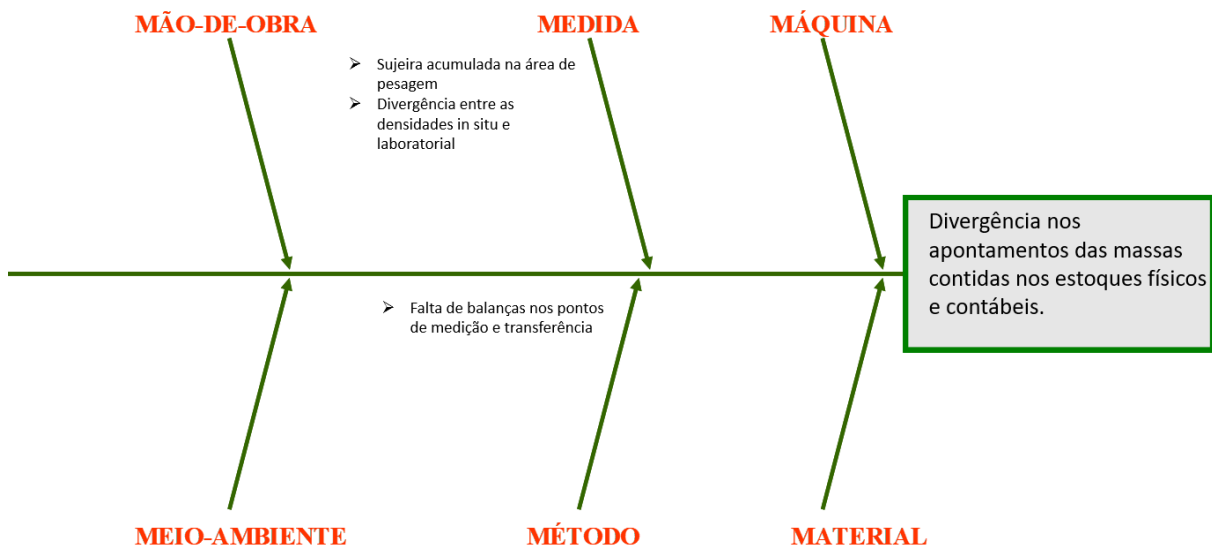
Figura 11- Diagrama de Ishikawa cheio



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após uma análise mais criteriosa, envolvendo visitas ao campo e discussões técnicas, algumas das prováveis causas foram descartadas. A Figura 12 mostra o diagrama de Ishikawa vazio, contemplando somente as hipóteses que foram consideradas relevantes.

Figura 12- Diagrama de Ishikawa vazio



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na análise final somente hipóteses relativas a medida e método foram consideradas relevantes e essas receberam uma tratativa específica, seja para estudo e confirmação da influência no desvio ou seja por meio de ações que mitigassem sua ocorrência.

4.3.1 Sujeira Acumulada na Área de Pesagem.

Essa hipótese foi considerada devido ao alto potencial de impacto na qualidade das medidas das balanças integradoras. A área de pesagem da balança é uma região onde o peso do material sobre a correia exerce força sobre as células de carga, deformando esses pequenos dispositivos eletromecânicos. A deformação na célula de carga é então interpretada como peso do material sobre a correia.

Quando bem instaladas e calibradas, as balanças integradoras fazem leituras confiáveis, entretanto existe muita sensibilidade quanto a sujeira nas mesmas. Um acúmulo de material mesmo que pequeno sobre a estrutura de pesagem faz com que a balança adicione esse valor em cada leitura que realiza. Essa propagação do erro em cada leitura implica em um *offset* na produção contabilizada, podendo esse ser um valor significativo conforme o tempo de duração entre a ocorrência de acúmulo e a limpeza do equipamento.

A solução definitiva desse problema é difícil, pois os transportadores de correia são equipamentos que fundamentalmente perdem uma pequena quantidade de material durante o transporte. Essa situação é ainda mais potencializada quando as intervenções mecânicas são precárias, propiciando o desalinhamento da correia e derramamento de material.

O fator humano também contribui para o agravamento da situação. Normalmente a limpeza da área de pesagem é de responsabilidade dos operadores de campo, que devem fazer checagens recorrentes e intervenções sempre que necessário. Entretanto as intervenções para limpeza são tarefas morosas, pois só podem ser feitas com o equipamento parado, fazendo necessário realizar os bloqueios mecânicos e elétricos do equipamento para tal. Com isso, observa-se uma diminuição da sensibilidade por parte dos operadores do que eles consideram como acúmulo de material, que quando questionados dizem que não consideraram a sujeira observada como significativa o suficiente para realizar o procedimento de parada da planta.

4.3.2 Divergência Entre as Densidade *In Situ* e Laboratorial

Esse fator foi considerado devido a ocorrência sistemática de divergências no inventário dos estoques, sugerindo que a metodologia usada para a determinação da densidade aparente das pilhas tem uma baixa aderência quando comparada com a situação em campo.

O inventário é feito por comparação entre as medições em campo com o estoque contábil gerado pelo registro das balanças integradoras. A massa no estoque físico é determinada pela relação entre a densidade aparente do material e o volume da pilha. O volume é estabelecido através de levantamentos topográficos como uso de estação total, enquanto a densidade aparente é retirada através de ensaios em laboratório.

A técnica utilizada para a determinação da densidade aparente é o método da medição em tambor compactado. Nesse método é utilizado uma balança de bancada, com precisão de 1 g e um cilindro de fundo cego com volume conhecido. O cilindro é preenchido totalmente com o minério amostrado na pilha, posteriormente o cilindro é submetido a três quedas de uma altura padrão. Com esse processo o material sofre adensamento proveniente da energia adquirida com as quedas. O cilindro é novamente preenchido para repor qualquer material que por ventura tenha se desprendido e o ciclo é repetido até que se totalizem 30 quedas. A densidade aparente do material é então determinada pelo produto entre a massa de contida no cilindro e o volume do interno do cilindro.

As incertezas desse processo que podem acarretar em erros na densidade são: a amostragem que somente seleciona porções superficiais na pilha, o ensaio em laboratório que não consegue atingir o mesmo nível de tensões e carregamentos semelhantes ao processo encontrado em campo, a umidade do material durante a produção e durante o ensaio e o intervalo entre as campanhas de amostragem.

Por fim, cabe ressaltar que o teor de umidade gravimétrico natural do minério processado no beneficiamento a seco é em torno de 7,5% e esse valor já é automaticamente descontado dos dados de produção, entretanto o fator umidade não é levado em conta durante o ensaio compactação em tambor. Por esses fatores a divergência entre as densidades *in situ* e laboratorial foi considerada como provável causa dos desvios.

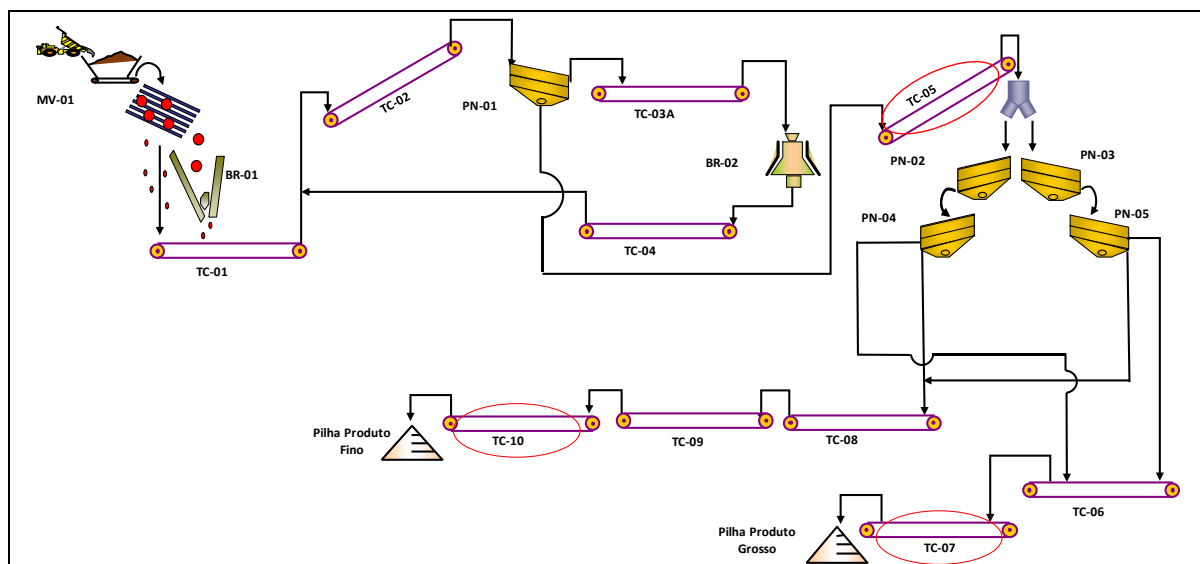
4.3.3 Falta de Balanças nos Pontos de Medição e Transferências

Essa hipótese foi considerada devido uma situação operacional muito peculiar que foi observada em campo. Atualmente estão instaladas 3 balanças integradoras no circuito, situadas no TC-05, TC-07 e TC-10, conforme destacado na Figura 13.

A balança situada no TC-05 mede a entrada de material no sistema de peneiramento secundário, enquanto as balanças situadas nos transportadores TC-07 e TC-10 medem a produção de *oversize* e *undersize* respectivamente. Devido a granulação do minério, que possui uma fração fina muito expressiva, as taxas instantâneas de material sobre o transportador de *oversize* são muito baixas gerando imprecisão da leitura da balança integradora nesse componente.

Em virtude da imprecisão da balança, que muitas vezes não registra as leituras, as massas do *oversize* são estipuladas por diferença entre a alimentação e a massa do *undersize*. Essa manobra pode acarretar em erros, uma vez que as perdas entre a alimentação e o manuseio não são passíveis de detecção.

Figura 13- Locais com balança integradora instalada



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4 ESTABELECIMENTO DO PLANO DE AÇÃO

Foram propostas ações para cada uma das três causas fundamentais selecionadas, sendo estudos para confirmar a influência da causa no desvio gerado ou intervenções com o objetivo de mitigar os desvios propriamente ditos. As ações foram estruturadas conforme a metodologia 5W2H, como visto no Quadro 6.

No total sete ações foram propostas, que envolveram as práticas de gestão, adaptações nos equipamentos e estudos qualitativos para a validação do método de ensaio da densidade. O custo total das ações foi estimado em R\$ 35.975,00 com base nos insumos necessários e no valor da hora-homem necessária em cada solução.

Quadro 6- Plano de ações proposto

Causas a serem tratadas	Soluções a serem implementadas	What? (o que?)	Who? (quem?)	When? (quando?)	Why? (por que?)	Where? (Onde?)	How? (Como?)	How much? (Quanto custa?)
Sujeira Acumulada na área de pesagem	Implementar rotina de inspeção mais rigorosa	Instruir operadores da usina a checar a condição de limpeza das balanças sempre que se iniciarem as atividades no turno.	Supervisores do turno.	30/set/19	Para garantir um nível de acompanhamento adequado da situação das balanças.	Planta de processamento o a seco	Através de treinamento	R\$125,00
	Implementar item no check-list	Adicionar item sobre a limpeza das balanças no check-list do turno.	Técnicos do turno.	08/out/19	Para acompanhar se as inspeções estão sendo executadas.	Planta de processamento o a seco	Alterando o documento padrão	R\$50,00
	Estudar possibilidade de instalar sistema de aspersão fixo	Projetar um sistema de limpeza por aspersão fixa nas balanças integradoras.	João Batista	30/set/19	Para que não seja necessário a parada da planta para as limpezas.	Planta de processamento o a seco	Prototipando através do sólides	R\$8.000,00
	Instalar sistema de aspersão fixo	Se validado pela manutenção mecânica, instalar sistema de limpeza conforme o projeto.	Supervisor de manutenção adm.	15/out/19	Para que não seja necessário a parada da planta para as limpezas.	Planta de processamento o a seco	Através do projeto	R\$4.000,00
Divergência entre as densidade in situ e laboratorial	Avaliar a aderência das densidades in situ com os dados laboratoriais	Realizar ensaios in situ nos estoques e comparar com os resultados obtidos nos ensaios em laboratório.	Ítalo	30/out/19	Para avaliar a compatibilidade do método com os dados obtidos em campo.	Estoques de produto	Atraves do método de cilindro de cravação e escavação.	R\$2.000,00
	Testar a aderência do ensaio de proctor em relação as densidades in situ	Realizar o ensaio de compactação proctor em uma amostra de produtos, comparando o resultado com os dados de laboratório.	Ítalo	30/out/19	Para avaliar a compatibilidade do método com os dados obtidos em campo.	Estoques de produto	Como descrito na NBR 7182	R\$1.800,00
	Adaptar as células de carga e sensores para uma faixa de trabalho menor.	Comprar e instalar a placa e sensores necessários para adaptação da balança presente.	Clayton	30/out/19	Para garantir a confiabilidade das leituras.	TC-07	Através das orientações do fornecedor	R\$20.000,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.5 IMPLANTAÇÃO DO PLANO DE AÇÃO

4.5.1 Ações Gerenciais

As lideranças de cada turno ficaram responsáveis por treinar os operadores da planta, a fim de demonstrar para os mesmos a criticidade da limpeza nas áreas de pesagem e os impactos causados pela não conformidade. Também foram modificados os procedimentos padrões, contemplando inspeções específicas nas áreas de pesagem, além de adicionar um campo referente a limpeza no *check-list* do turno.

4.5.2 Adaptações nos Equipamentos

Foram feitas adaptações nos equipamentos de forma a aumentar a confiabilidade na leitura das balanças. A primeira ação foi a prototipagem e instalação de um sistema de aspersão fixo para a realização da limpeza da estrutura das balanças integradoras. Esse sistema objetivou facilitar a realização da tarefa, de modo que não fosse necessário a paralização da operação para a execução da atividade.

A segunda alteração foi a adaptação da balança integradora no transportador de produtos *oversize*. Essa objetivou a leitura exata da produção de *oversize*, eliminando o processo de inferência por diferença entre a alimentação e as saídas.

3.5.3 Estudos Teóricos

Foram realizados dois estudos teóricos com o objetivo de avaliar a aderência dos resultados do ensaio de compactação por tambor com a situação observada em campo. Primeiramente foram feitas alguns ensaios de densidade aparente *in situ* conforme a metodologia sugerida por Nunes (2014) e pela metodologia do cilindro de cravação. Foram coletadas amostras em diferentes pontos da pilha que teoricamente deveriam apresentar densidades bem distintas, sendo essas: amostra de rampa, amostra de saia e amostra de meio de pilha.

As amostras foram coletadas escavando a pilha com auxílio de uma espátula conforme as dimensões do gabarito, Figura 14-a. O material escavado foi acondicionado em sacos para posteriormente serem pesados. O volume da abertura escavada foi determinado pelo preenchimento com água, Figura 14-b.

Figura 14 – Ensaio de densidade *in situ*

(a)

(b)

Legenda: a) Escavação conforme gabarito.

b) Aferição do volume com preenchimento por água.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A densidade *in situ* foi determinada pela divisão do peso da amostra pelo volume do furo, os resultados foram comparados com a densidade aparente determinada pelo método da compactação em tambor, que era de 2,816 g/cm³.

Também foi coletado material para realizar o ensaio de compactação de Proctor, conforme a ABNT 7182 (2016). Esse ensaio tem como objetivo avaliar a densidade máxima de um solo. O teste é realizado compactando o material através da queda de um soquete com peso padrão, a umidade do material é variada entre as bateladas e a densidade é calculada entre cada teste. O objetivo desse segundo estudo foi avaliar a influência do fator umidade e a aderência da densidade Proctor com as densidades determinadas em campo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 AÇÕES GERENCIAIS

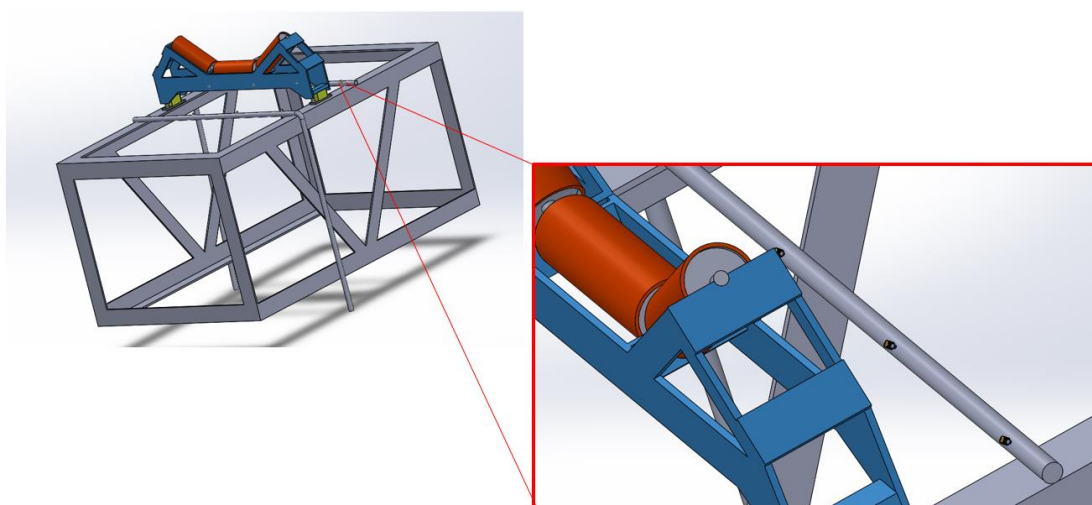
Após o treinamento dos operadores de campo foi observado uma melhora nas condições de limpeza das balanças. Acompanhando o *check-list* do turno observou-se poucos desvios, indicando que os operadores compreenderam a importância da limpeza adequada. Entretanto, não foi possível medir individualmente o efeito das ações gerenciais, pois a adequação das estruturas também contribuiu para um ganho na limpeza.

5.2 ADEQUAÇÕES ESTRUTURAIS

A primeira adequação estrutural foi a adaptação da balança integradora no transportador de *oversize*. Essa adequação contribui com a confiabilidade dos dados, uma vez que a produção final era a soma simples das produções dos transportadores de manuseio. Com esses dados foi possível ainda comparar as massas alimentadas com a produção, evidenciando perdas por vazamento e fuga de material.

A segunda adequação estrutural foi a instalação de aspersores fixos para a limpeza da balança integradora, conforme Figura 15. A princípio o equipamento foi instalado somente no transportador de manuseio de *undersize*, pois o mesmo transporta 85% da massa da alimentação. O acionamento dos aspersores é feito de forma manual, mas existe um projeto futuro para automação desse processo.

Figura 15- Sistema de aspersão fixo



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3 DENSIDADES *IN SITU*

As densidades determinadas *in situ* são mostradas no Quadro 7. A menor densidade foi observada na região de saia da pilha, com densidade média de 2,56 g/cm³. A maior densidade 3,19 g/cm³ foi observada na região de rampa. Esses dados estão condizentes com o que era esperado devido ao método construtivo da pilha. As regiões de saia apresentam menor densidade, pois são regiões onde o material é somente lançado. Já a região de rampa é um local onde o fluxo de caminhões e tratores é intenso, contribuindo para a compactação do material.

Quadro 7 - Resultados dos ensaios *in situ*

Amostra	Peso situ (g)	Peso seco (g)	Umidade	Volume (mL)	Densidade situ (g/cm ³)	Obs
1	3945	3725	5,91%	-	-	Amostra para compactação
2	5850	5560	5,22%	2000	2,925	Amostra meio de pilha
3	4595	4365	5,27%	-	-	Amostra para compactação
4	1945	1915	1,57%	610	3,189	Amostra rampa
5	1920	1815	5,79%	739	2,598	Amostra de saia
6	1870	1760	6,25%	739	2,531	Amostra de saia

Fonte: Elaborado pelo autor.

Cabe aqui destacar que as amostras 5 e 6 foram colhidas conforme a técnica do cilindro de cravação, o que não foi possível nas demais devido a maior compactação do solo que impedia a penetração do cilindro. Já as amostras 2 e 4 foram colhidas conforme a metodologia proposta por Nunes (2014). As amostras 1 e 3 foram coletadas para a execução do ensaio de Proctor.

Avaliando os dados chegamos à constatação de que não é possível afirmar com convicção que o resultado do ensaio de compactação em tambor é inadequado, pois a densidade obtida pelo método (2,816 g/cm³) está dentro do intervalo de densidades observadas em campo. Porém, observamos uma tendência de perda de umidade no material estocado com relação a umidade natural do minério na alimentação da planta.

5.4 ENSAIO PROCTOR

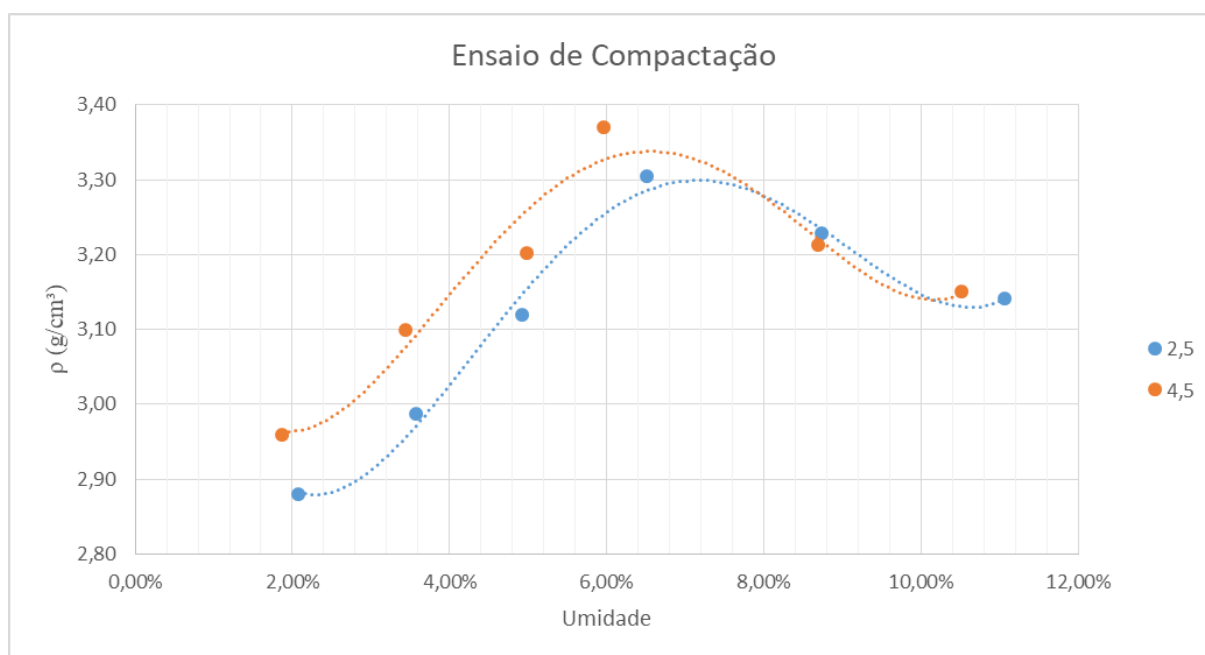
Os resultados do ensaio de compactação Proctor são mostrados na Tabela 1. Podemos notar o efeito da umidade na densidade do material, que aumenta até certo ponto conforme adicionamos água no produto. Esse comportamento é evidenciado na Figura 16.

Tabela 1- Resultados do ensaio de compactação Proctor

Ensaio de Compactação Proctor												
Teste	Soquete	Peso Cápsula		Peso Cápsula + sinter		Massa sinter seca		Umidade			Massa Corpo de Prova	Densidade
		1	2	1	2	1	2	1	2	média		
1	2,5	14,76	11,11	28,79	26,90	28,50	26,57	2,07%	2,09%	2,08%	2872	2,88
2	2,5	12,85	12,10	29,33	29,26	28,74	28,65	3,58%	3,55%	3,57%	2980	2,99
3	2,5	10,20	11,52	25,64	25,91	24,88	25,20	4,92%	4,93%	4,93%	3112	3,12
4	2,5	12,16	10,28	29,13	23,21	28,05	22,35	6,36%	6,65%	6,51%	3296	3,30
5	2,5	10,71	15,21	24,33	27,71	23,17	26,59	8,52%	8,96%	8,74%	3220	3,23
6	2,5	28,74	25,02	60,30	62,93	56,76	58,79	11,22%	10,92%	11,07%	3134	3,14
7	4,5	12,75	11,68	30,19	26,40	29,87	26,12	1,83%	1,90%	1,87%	2952	2,96
8	4,5	11,04	10,28	20,68	22,95	20,36	22,50	3,32%	3,55%	3,44%	3092	3,10
9	4,5	11,65	10,65	25,06	22,15	24,41	21,56	4,85%	5,13%	4,99%	3194	3,20
10	4,5	12,22	14,45	29,68	27,84	28,63	27,05	6,01%	5,90%	5,96%	3362	3,37
11	4,5	24,45	25,37	48,60	61,65	46,53	58,45	8,57%	8,82%	8,70%	3204	3,21
12	4,5	23,73	24,69	68,42	62,88	63,65	58,92	10,67%	10,37%	10,52%	3142	3,15

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 16- Resultados do ensaio de compactação



Fonte: Elaborado pelo autor.

A densidade máxima estimada foi de 3,30 g/cm³, utilizando um peso padrão de 2,5 Kg para a compactação e 3,35 g/cm³ utilizando o peso padrão de 4,5 Kg. Essas densidades são superiores as encontradas em campo, sugerindo que a compactação em campo não é tão intensa quanto a compactação experimentada no ensaio. Do ponto de vista prático é um resultado coerente, pois o ensaio de Proctor é indicado para determinação de densidades ótimas em aterros compactados, enquanto que a compactação nos estoques de pilha mineral não é tão rigorosa devido ao método construtivo.

Ademais, o ensaio de Proctor revelou um dado interessante, a umidade ótima para compactação está entre 6,5% e 7,5%. Essa umidade é muito próxima da umidade natural do minério (7,5%), indicando que durante a confecção dos estoques a umidade é próxima da ótima. Porém, como observado nas amostragens *in situ*, essa umidade tende a diminuir com o tempo e com a região onde é amostrado o material. Isso significa que as umidades durante o ensaio de compactação em tambor estão mais distantes da ótima, implicando em uma densidade menor do que deve ser observado em campo.

O comportamento da curva de compactação é explicado através das interações pontuais entre os grãos. Em um solo seco, as partículas tem contato direto umas com as outras e uma grande força de atrito é estabelecida, dificultando o deslocamento de um grão para um espaço vazio e por consequência uma menor compactação a um nível de carregamento constante.

Por outro lado, a medida que se aumenta a umidade no material, é formado uma película de água entre as partículas, o que diminui sensivelmente a força de atrito entre elas. Essa diminuição da força de atrito provoca uma melhor compactação do solo, entretanto isso só acontece até um valor de umidade considerado ótimo. Após a umidade ótima as forças de poropressão começam a ter valores significativos, dificultando a compactação.

Em virtude dessa análise foi sugerido que o ensaio de compactação em tambor fosse realizado conforme a umidade natural do minério (7,5%). Essa decisão foi tomada considerando que a densidade obtida no ensaio de tambor foi mais próxima da densidade observada em campo.

5.5 RESULTADO APÓS IMPLANTAÇÃO DO PLANO DE AÇÃO

Após a implantação de todas as ações, observou-se uma redução no erro de inventário. Na Figura 17, a região destacada em verde na figura indica o período pós implantação das ações. Observamos que houve uma diminuição do desvio de inventário no período de análise, alcançando desvios inferiores a 2%, porém não é possível quantificar qual das ações teve maior impacto nesse resultado.

Figura 17- Carta de controle do processo pós a execução do plano de ação



Fonte: Elaborado pelo autor.

Apesar dos resultados terem melhorado, o gráfico ainda apresenta uma tendência negativa, indicando que o processo ainda está inadequado e que possivelmente existem outros fatores que estão contribuindo para o desequilíbrio do mesmo.

6 CONCLUSÃO

O processo produtivo da empresa foi descrito, evidenciando os procedimentos, equipamentos utilizados e as possíveis fontes de erro que contribuíram para o desvio de inventário observado. A primeira etapa do estudo foi evidenciar o problema a partir do levantamento de dados, daí o estudo partiu para uma etapa de observação e análise das prováveis causas raízes.

Com as causas mais prováveis definidas, foram estabelecidas tratativas e planos de ações para a solução do problema. Após a implantação das ações foi verificado uma redução do erro de inventariado, validando a efetividade das ações implementadas. Essas etapas foram planejadas segundo a Metodologia de Análise e Solução de Problemas – MASP.

Como as ações foram implantadas em conjunto, não foi possível determinar qual delas teve efeito mais significativo. O ensaio de densidade alternativo proposto não obteve resultados coerentes com os ensaios em campo, porém esse estudo revelou o quanto a umidade interfere na compactação. Com esses dados em mãos, foi proposta a adequação da metodologia de compactação em tambor, para que a mesma fosse mais fidedigna a condição encontrada *in situ*.

Por fim, foi observado uma redução dos desvios de inventário para níveis inferiores a 2% e dentro da faixa de controle, mas apesar da melhora dos resultados no período de análise os desvios observados ainda possuem uma tendência negativa. Isso indica que ainda existem variáveis que estão influenciando negativamente o processo, contribuindo para o desvio nos inventários.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Mineração. **Anuário mineral brasileiro: Principais substâncias metálicas** / Coord. Geral Osvaldo Barbosa Ferreira Filho; Equipe Técnica por Marina Dalla Costa et al.; – Brasília: ANM, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 3082: Minérios de ferro – Procedimentos de amostragem e preparação de amostra**. Rio de Janeiro, 98f. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 9f. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7185: Solo - Determinação da massa específica aparente, *in situ*, com emprego do frasco de areia**. Rio de Janeiro, p. 8. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9813: Solo – Determinação da massa específica aparente *in situ*, com o emprego de cilindro de cravação**. Rio de Janeiro, p. 5. 2016.

BASTIANI, J. **MASP (Método de Análise e Solução de Problemas)**. Disponível em: < <https://blogdaqualidade.com.br/masp-metodo-de-analise-e-solucao-de-problemas-parte-1/>>. Acesso em: 01 dezembro 2019.

BEXTRA. Sistemas de pesagem. **Balança integradora/dosadora**. Disponível em: <<http://bextra.com.br/products/balanca-integradora-dosadora/>>. Acesso em: 30 novembro 2019.

BEHR, A. et al. **Gestão da biblioteca escolar: metodologias, enfoques e aplicação de ferramentas de gestão e serviços de biblioteca**. Brasília, vol 37 nº 2 ago 2008, p 32-42.

BRASIL. **DECRETO Nº 9.406**, de 12 de junho de 2018. Regulamenta o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967, a Lei nº 6.567, de 24 de setembro de 1978, a Lei nº 7.805, de 18 de julho de 1989, e a Lei nº 13.575, de 26 de dezembro de 2017.

BRUM, T. **Oportunidades de aplicação de ferramentas de gestão na avaliação de políticas públicas: O caso da política nacional de resíduos sólidos para a construção civil**. 2013. 72 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Juiz de Fora. 2013.

BUCHELE, G. et al. **Áreas de Estudo da Gestão da Inovação: Proposta de um Modelo**. In: XI Congresso Virtual Brasileiro - Administração, São Paulo, 2014.

CARVALHO, M.; PALADINI, E. **Gestão da qualidade – Teoria e casos**. 2ª edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

CURI, A. **Lavra de minas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 462 p.

ENAP – ESCOLA NACIONAL DE ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA. **Análise e melhoria de processos: Metodologia MASP**. Brasília: Fundação Escola Nacional de Administração Pública, 2015.

ESSER, W. **A importância do controle interno, do inventário e da auditoria para as organizações: um estudo de caso da Agropecuária Hermes Petry & CIA LTDA – ME**. 2010. 59 f. Monografia (Graduação em Ciências Contábeis) – Faculdade de Ciências Contábeis e Administração do Vale do Juruena, Juína, 2010.

FRANÇA, S.; MASSARANI, G. Separação Sólido-Líquido. In: LUZ, A.; SAMPAIO, J.; FRANÇA, S. **Tratamento de minérios**. 5ª edição. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010, p. 637 – 678.

FREIRE, G.; MESQUITA, M. Gestão de Estoques. In: LUSTOSA, L. et al. **Planejamento e controle da produção**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008, p 76 – 100.

HARARI, Y. **Sapiens - Uma breve história da humanidade**. Porto Alegre: 24ª edição, L&PM Editores, 2017. 459 p.

LORENZON, E. **Utilização do MASP (Método de Análise e Solução de Problemas) em uma granja de suínos**. 2018. 26 f. Monografia (Graduação em Administração de Empresas) – Centro de Gestão Organizacional, Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES. 2018.

LOVE, S. **Inventory control**. Nova York: McGraw-Hill, 1979.

LUZ, A.; LINS, F. Introdução ao Tratamento de Minérios In: LUZ, A.; SAMPAIO, J.; FRANÇA, S. **Tratamento de minérios**. 5ª edição. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010, p. 3 – 18.

MCGLYNN, R. et al. **Brainstorming and task performance in groups constrained by evidence**. Organizational Behavior and Human Decision Processes, v. 93, p. 75–87, 2004.

NUNES, D. **Comportamento geotécnico de pilha de estéril formada pelo método de disposição por correia**. 2014. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. 2014.

ORIBE, C. **A História do MASP**. Revista Banas Qualidade, 29 abr. 2012.

PIMENTEL, L. **Aplicação de ferramentas da qualidade para o controle e melhoria da taxa de paradas no processo de laminação**. 2016. 48 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto. 2016.

SANTOS, R. **Análise propositiva da divergência entre o volume físico e o volume contábil de pilha de produto mineral**. 2010. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2010.

SARDI, J. **Estudos de Administração Geral**. Ed. Universitária da UFOP, 2008. 85p.

SATURNO SMART. **Smart rodoviária metálica**. Disponível em: <<https://www.saturnosmart.com.br/produtos/smart-rodoviaria-metalica/>>. Acesso em: 30 novembro 2019.

TURUTA, T. **Aplicação de cartas de controle como ferramenta de melhoria frente às dificuldades operacionais de laboratórios acreditados na ABNT NBR ISO/IEC 17025**. 2015. 66f. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

VICENTINO, C.; DORIGO, G. **História geral do Brasil**. Vol 2. São Paulo: Editora Scipione, 2013.

VIEIRA, S. **Estatística para a Qualidade: Como avaliar com precisão a qualidade em produtos e serviços**. Rio de Janeiro: Elseiver, 1999.