



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE FACULDADE DE  
ENGENHARIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
MECÂNICA  
CURSO DE ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL

## **Relatório De Estágio**

**ANALISE DE FALHAS DO MOINHO DE PRODUÇÃO DE CIMENTOS NA EMPRESA  
DUGONGO CIMENTOS.**

**Discente:**

PAULO, Regina Atanásio

**Supervisor da Faculdade:  
Eng<sup>o</sup>. Roberto David**

**Supervisor da Empresa:  
Francisco Vilanculos**

Maputo, Maio de 2025



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE FACULDADE DE  
ENGENHARIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
CURSO DE ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL

## **Relatório De Estágio**

**Tema: ANÁLISE DE FALHAS DO MOINHO DE PRODUÇÃO DE CIMENTOS  
NA EMPRESA DUGONGO CIMENTOS.**

**Autora:**

PAULO, Regina Atanásio

**Supervisor Da faculdade:  
Eng.º Roberto David**

---

**Supervisor Da Empresa  
Francisco Vilanculos**

---

Maputo, Maio de 2025



**Análise de falhas do moinho de produção de Cimentos na Empresa Dugongo Cimentos  
Paulo, Regina**



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

CURSO DE ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL

**TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DO PROJECTO DO CURSO**

Declaro que a estudante Regina Atanásio Paulo entregou no dia 20/05/2025 as duas cópias do relatório do seu trabalho de Projecto do Curso intitulado: Análise de falhas do moinho de produção de cimentos na empresa Dugongo Cimentos.

Maputo, Maio de 2025

A Chefe da Secretaria:

---

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todos que contribuíram para a realização deste projeto. Em primeiro lugar, agradeço a Deus pelo dom da vida e por ter me acompanhado nesta caminhada acadêmica. Se cheguei até aqui, foi pela Sua graça.

Endereço meus agradecimentos à minha mãe, Maria Salomé, que sempre me apoiou e acreditou em mim. Em cada momento de desafio, suas palavras de encorajamento e compreensão me deram forças para seguir em frente. O seu exemplo de dedicação e esforço tem sido uma fonte constante de inspiração, e sem seu suporte emocional e prático, este trabalho não teria sido possível. Agradeço profundamente por tudo o que fez e continua a fazer por mim.

Agradeço também ao meu avô, Francisco Cabo, e às minhas irmãs, que sempre estiveram ao meu lado durante este percurso. Um agradecimento especial vai ao meu grande irmão, Ofélio Assiraf da Silva, que já não está mais conosco, mas cujo suporte durante minha trajetória acadêmica sempre será lembrado com carinho.

Ao meu supervisor Eng. Roberto David, por todo o apoio demonstrado pela paciência, pela orientação, cuja orientação e apoio foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho, os seus conselhos e críticas construtivas foram essenciais para o aprimoramento da pesquisa e pela confiança transmitida para a realização deste projeto.

A empresa Dugongo Cimentos e a todos os colaboradores da empresa por terem-me ajudado para que esse projeto desse certo. Dirijo um agradecimento especial ao senhor Francisco Vilanculos, cujo contributo foi decisivo. A sua orientação estratégica, as sugestões metodológicas e a constante disponibilidade para partilhar conhecimentos técnicos foram elementos-chave para o desenvolvimento e a qualidade dos resultados alcançados.

A minha colega Natália Gomana pelo suporte constante e pelos debates enriquecedores que ajudaram a aprimorar as minhas ideias.

Por fim, expresso a minha gratidão a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste projeto, seja por via de sugestões, apoio moral ou intelectual. Sem a colaboração e o apoio de cada um de vocês, este trabalho não teria sido possível.

Muito obrigada!

## **DEDICATORIA**

Dedico esse projeto ao meu falecido pai Atanásio Paulo a minha mãe Albertina João Bento, ao meu Avo Francisco Valentino Cabo e aos meus irmãos.

## **RESUMO:**

Este trabalho aborda a análise de falhas no moinho de produção de cimento, um componente crítico na indústria, com o objetivo de identificar as falhas mais frequentes e suas causas raiz, visando reduzir as paralisações não programadas. A pesquisa utiliza dados de operações reais para mapear essas falhas e examinar seu impacto na eficiência do equipamento e na qualidade do cimento produzido. Serão propostas práticas de manutenção, como rotinas de inspeção, treinamentos para a equipe operacional e o uso de ferramentas de análise de dados para prever falhas, criando um ambiente de produção mais resiliente e eficiente. Ao oferecer uma abordagem abrangente e prática, o trabalho busca contribuir para a melhoria contínua das operações e a sustentabilidade da produção, com a expectativa de que suas conclusões e recomendações sirvam como base para futuras pesquisas e melhorias na gestão industrial.

**Palavra Chaves: Falhas, Moinho, Manutenção.**

**SUMMARY:**

This work addresses the failure analysis of the cement production mill, a critical component in the industry, with the aim of identifying the most frequent failures and their root causes, in order to reduce unplanned downtimes. The research utilizes data from real operations to map these failures and examine their impact on equipment efficiency and the quality of the produced cement. Maintenance practices will be proposed, such as inspection routines, training for the operational team, and the use of data analysis tools to predict failures, creating a more resilient and efficient production environment. By offering a comprehensive and practical approach, the study aims to contribute to the continuous improvement of operations and the sustainability of production, with the expectation that its conclusions and recommendations will serve as a foundation for future research and improvements in industrial management.

**Keywords:** Failures, Mill, Maintenance.



## Índice de Figuras

Figura 1: Diagrama de Ishikawa .....	9
Figura 2: Fluxo dos 5 Porquês .....	9
Figura 3: Diagrama de Pareto.....	10
Figura 4: Moinho cilíndricos.....	11
Figura 5: Moinho de Barras com arranjo de descarga por Overflow (Rowland, 1978).....	12
Figura 6: Moinho de bolas em repouso (Austin, 1984) .....	13
Figura 7: Moinho de discos (Figueira 2004).....	13
Figura 8: Moinho vibratório .....	14
Figura 9: Componentes do moinho vibratório (Braga, 2007). .....	14
Figura 10: Moinho de Rolos de Alta Pressão, o HPGR (Figueira, 2004) .....	15
Figura 11: Moinho de Martelos.....	16
Figura 12: Calcário (Fonte: Autor) .....	17
Figura 13: Clínquer (Fonte: Autor) .....	17
Figura 14: Gesso(Fonte: Autor) .....	18
Figura 15: Motor Principal (Fonte: Autor).....	18
Figura 16: Redutor Principal (Fonte: Autor).....	19
Figura 17: Posto de óleo do Redutor Principal (Fonte: Autor) .....	19
Figura 18: Exaustor Principal (Fonte: Autor) .....	20
Figura 19: Motor do Exaustor Principal (Fonte: Autor) .....	21
Figura 20: Ventilador do moinho (Fonte: Autor).....	21
Figura 21: Tubo de alimentação do moinho e Respirador (Fonte:Autor) .....	22
Figura 22: Rolamento do moinho (Fonte:Autor) .....	23
Figura 23: Carcaça do moinho (Fonte: Autor).....	23
Figura 24: Moinho de produção (Fonte: Autor).....	29
Figura 25: Planta do sistema produtivo .....	30
Figura 26: Sistema de controle de temperatura (Foto:Autor).....	31
Figura 27: Lubrificação (Fonte:Modulo de lubrificação 2022) .....	33
Figura 28: Caixa de posto de óleo com capacidade de 210L de lubrificação (Fonte: Autor)..	34
Figura 29: Tubo de entrada de lubrificação feito de forma manual (Fonte: Autor).....	35
Figura 30: Manômetros que controla a pressão e o níveis de óleo (Fonte: Autor) .....	35
Figura 31: Máquina de estação de dosagem de matéria prima (Fonte:Autor).....	37
Figura 32: Quantidade da matéria prima no moinho (Fonte:Autor) .....	38
Figura 33: Esferas desgastadas (Fonte;Autor).....	39
Figura 34: Parafusos que seguram os componentes do moinho (Fonte:Autor).....	39
Figura 35: Diagrama de ISHIKAWA, (Fonte: Autor).....	44

## Índice de Tabelas

Tabela 1: (Políticas de manutenção) Fonte: Waeyenbergh.....	24
---	----

## Índice

AGRADECIMENTOS.....	1
DEDICATORIA.....	2
RESUMO:.....	3
SUMMARY .....	4
Índice de Figuras .....	1
Índice de Tabelas.....	1
CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO.....	1
1.2. Problemática.....	2
1.3. Problema.....	2
1.4. Objectivos:.....	3
1.4.1. Objectivo Geral: .....	3
1.4.2. Objectivos Específicos: .....	3
1.4.3. Perguntas de investigação.....	4
1.4.4. Importância ou razões que motivam o estudo.....	4
1.5. Estrutura do trabalho .....	4
CAPÍTULO 2. REVISÃO DA LITERATURA .....	6
2.1. Análise de falhas .....	6
2.1.1. Objeto da Análise de Falha.....	7
2.1.2. Métodos de Análise de Falha.....	8
2.1.3. Ferramentas para Análise de Falhas.....	8
2.2. Conceitos básicos.....	10
2.2.1. Trituração .....	10
2.2.2. Moinho .....	10
2.3.2. Moinhos de barra.....	11
2.3.3. Moinho de bolas.....	12
2.3.4. Moinho de discos .....	13
2.3.5. Moinho vibratório.....	13
2.3.6. Moinho de rolos de alta pressão.....	15
2.3.7. Moinho de martelos.....	15
3. Materia prima para a produção de cimentos.....	16
3.1. Elementos que compõem o moinho .....	18
3.1.1. Acionamento principal .....	18
3.1.2. Posto de óleo do redutor.....	19
3.1.3. Sistema de refrigeração .....	20
3.1.4. Sistema de ventilação .....	21
3.1.5. Esferas .....	22
3.1.6. Alimentação.....	22
3.1.7. Cauda (Saída da matéria prima) .....	22
3.1.8. Respirador .....	22
3.1.9. Rolamentos.....	22
3.1.10. Sistema de lubrificação .....	23
3.1.11. Carcaça do moinho.....	23

4.	Manutenção .....	24
4.1.	Importância de Manutenção .....	25
4.2.	Tipos de Manutenção.....	25
4.2.1.	Manutenção Correctiva .....	25
4.2.2.	Manutenção Correctiva Não Planeada .....	26
4.2.3.	Manutenção Correctiva Planeada.....	26
4.2.4.	Manutenção Preventiva .....	27
4.2.5.	Manutenção Preditiva.....	27
4.2.6.	Manutenção Detectiva.....	28
	<b>CAPÍTULO 3. CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO .....</b>	<b>29</b>
3.1.	Apresentação da empresa .....	29
3.2.	Estado actual do objecto de investigação .....	29
	<b>SISTEMA PRODUTIVO DA EMPRESA .....</b>	<b>30</b>
3.2.1.	Factores que influenciam na falha ou paragem do moinho.....	30
3.2.2.	Temperatura do moinho .....	31
3.3.	Lubrificação.....	32
3.4.	Manutenção .....	36
3.5.	Entupimento .....	36
3.6.	Desgaste das peças .....	38
3.7.	Operador.....	40
3.8.	Consequências da paragens do moinho.....	40
3.8.1.	Redução da Produção .....	40
3.8.2.	Aumento dos Custos.....	40
3.8.3.	Diminuição da Qualidade .....	41
3.8.4.	Impacto na Cadeia de Suprimentos .....	41
3.8.5.	Segurança .....	41
3.9.	Capacidade de produção do moinho .....	41
3.9.1.	Sem avarias ou paragens .....	41
3.9.2.	Com Avaria ou paragens.....	41
	Exemplo de Cenários com Avaria .....	41
3.9.3.	Capacidade Reduzida .....	42
3.9.4.	Impacto na Qualidade.....	42
3.9.5.	Avaria Significativa.....	42
3.9.6.	Capacidade Reduzida .....	42
3.9.7.	Impacto na Qualidade.....	42
	<b>CAPÍTULO 4: METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA.....</b>	<b>43</b>
4.1.	Análise de falhas do Moinho.....	43
	<b>CAPÍTULO 5: APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS..</b>	<b>45</b>
5.1.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	45
5.2.	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	46
5.3.	Soluções Proposta .....	47
5.3.1.	Modelo Proposto de Manutenção.....	47
5.4.	Plano de Manutenção Preventiva .....	47
5.4.1.	Documentação e Registro.....	50

5.4.2.	Treinamento da Equipe .....	50
5.4.3.	Avaliação e Revisão .....	50
5.5.	Formulários de Registro e Análise de Falha .....	51
5.5.1.	Benefícios do formulário da Análise De Falha .....	51
5.5.2.	Procedimento para Preenchimento da Análise De Falha.....	52
5.6.	Fluxograma de Registro de Falhas .....	52
5.6.1.	Controle das Falhas e Gerenciamento do Banco de Falhas.....	53
CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....		54
6.1.	Conclusão .....	54
6.2.	Recomendações .....	54
6.3.	Limitações da pesquisa.....	54
6.4.	Sugestões para futuros trabalhos .....	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		56
ANEXOS .....		57
ANEXO A: PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA.....		58
ANEXO B: FORMULARIO DE FUNCIONAMENTO DO MOINHO DA EMPRESA.		59
ANEXO C: ANALISE DAS FALHAS PAGINA 1 .....		60
ANEXO C: ANALISE DAS FALHAS PAGINA 2 .....		61
ANEXO D: SISTEMA PRODUTIVO DO MOINHO .....		62
ANEXO E: SISTEMA PRODUTIVO DO MOINHO .....		63
ANEXO F: FICHA TECNICA DO MOINHO .....		64

## CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

No século XXI, as indústrias têm apresentado algumas dificuldades no que tangem manutenção com equipamentos de tecnologia avançada.

“A cimenteira Moçambique Dugongo Cimentos, S.A entrou no mercado moçambicano de produção de cimento com a fábrica localizada no distrito de Matutuine, a 70 km da Cidade de Maputo, com capacidade de produção de dois milhões de toneladas de cimento por ano.”

As máquinas em indústria de produção contemplam as fases de implementação, organização e otimização de tarefas de manutenção. A produção de cimentos requer um número considerável de etapas produtivas. Esta produção ocorre em máquinas automática chamada Moinho que é de extrema importância para a produção do cimento, porém em todo processo industrial, inúmeros factores podem inserir falhas à equipamentos, o que torna o sector de manutenção extremamente importante dentro do contexto operacional da empresa. Pois no cenário actual, com a extrema competitividade de mercado, níveis de disponibilidade confiabilidade de equipamentos se tornam cada vez mais importante, impactando no facturamento da empresa.

As falhas fazem parte do cotidiano das mais variadas organizações, e, ignorá-las, pode contribuir para o insucesso das empresas. É necessário que os administradores estejam atentos às falhas em seus produtos e serviços e, a partir da experiência, aprender e aprimorar os procedimentos de acordo com o que foi observado. A recuperação de falhas deve ser objectivo de qualquer organização, as que visam diminuir riscos ocasionados por falhas e as que visam tornar o tratamento de falhas como um diferencial competitivo.

Neste contexto, o trabalho visa analisar as falhas do moinho de produção de cimentos na empresa Dugongo cimentos, que é delicada, pois a sua falha ou avaria acarreta geralmente paragens na produção, os moinhos são essenciais para a moagem de matérias-primas (clínquer, calcário e gesso) formando o produto final que será utilizado na construção. Essas produções destacam a necessidade crítica de um plano de manutenção bem estruturado, que inclui manutenção preventiva, preditiva e correctiva para minimizar o tempo de inactividade, garantir a segurança operacional e prolongar a vida útil do equipamento.

## **1.2. Problemática**

Os estudos realizados por Marquez (2009) indicam que dentro do novo cenário, extremamente competitivo e economicamente globalizado, é de fundamental importância que as empresas enxerguem a produção e manutenção como uma função e sector estratégico para aumento da produtividade. Tendo em vista que a produtividade está directamente ligada à redução dos custos e propicia aumento de facturamento, confiabilidade e disponibilidade das máquinas produtivas que podem contribuir consideravelmente para o aumento da competitividade das indústrias. As falhas ou avarias do moinho leva à parada imediata da produção de cimento, resultando em paradas não programadas e comprometendo a capacidade de atender à demanda do mercado. A necessidade de reparos emergenciais e substituição de peças pode gerar altos custos imprevistos, além das despesas com a perda de produção durante o período de inactividade. Logo há uma necessidade de se fazer uma análise sobre essas paragens frequentes e propor práticas de manutenção adequada pois a falta de manutenção do moinho afecta directamente a produção.

## **1.3. Problema**

Sendo a Dugongo uma empresa especializada em produção de cimento, a falta de técnicos especializados e que possam apresentar soluções para evitar paragens frequentes, tem reduzido a produção anual, o que reduz também os lucros.

#### **1.4. Objectivos:**

##### **1.4.1. Objectivo Geral:**

Analisar as falhas do moinho de produção de cimentos da empresa dugongo cimentos.

##### **1.4.2. Objectivos Específicos:**

- Identificar os tipos de falhas frequentes no moinho;
- Reduzir as paralisações de produção causadas por falhas não programadas no moinho;
- Propor práticas de manutenção.

### **1.4.3. Perguntas de investigação**

Quando se fala de análises de falhas do moinho, é importante levar em consideração algumas interrogações fundamentais como:

- Quais são os principais factores que façam com que hajam paragens frequentes do moinho?
- Que tipo de técnicas podem ser implementadas para melhorar o desempenho do moinho?
- Como a manutenção preventiva pode ajudar nesse tipo de casos?

### **1.4.4. Importância ou razões que motivam o estudo**

Durante o percurso de aprendizagem na Faculdade de Engenharia, a cadeira de Gestão de Manutenção leccionada no DEMA, Departamento de Engenharia Mecânica, foi uma das que despertou a minha atenção, razão pela qual surgiu o interesse de aplicar questões mais técnicas ou práticas num sector que engloba o estudo da manutenção para a realização do estudo ou do presente relatório.

- Reunir metodologias com melhores técnicas de manutenção;
- Apresentar melhores possibilidades de manter a disponibilidade do moinho e reduzir intervenções correctivas no mesmo equipamento;
- Organizar informações de modo a apoiar a manutenção.

Para além de garantir a qualidade de produção do cimento, há uma grande possibilidade através desse estudo, que é minimizar ou reduzir aquilo que é o custo que as paragens frequentes podem causar a empresa.

## **1.5. Estrutura do trabalho**

Este trabalho é composto por seis capítulos, Introdução, Revisão da Literatura, Contextualização, Metodologia de Resolução de Problema, Avaliação de Resultados, Conclusões e Recomendações.

No capítulo Introdução são apresentados os objectivos do trabalho, a metodologia aplicada e as razões que justificam a elaboração do mesmo.

No capítulo Revisão da Literatura é exposto referencial teórico detalhado que sintetiza informações relevantes sobre Análise de falha, Moinho e a Manutenção Industrial, as teorias principais e a sua evolução histórica.



No capítulo Contextualização descreve-se a apresentação da empresa, descreve-se também o estado actual do objecto em estudo que é o moínho, actividades presenciadas e a estratégia de manutenção na empresa Dugongo cimentos.

No capítulo da Metodologia de Resolução do Problema são expostos os procedimentos utilizados para análise de dados do equipamento.

O capítulo, apresenta os resultados obtidos pela implementação dos dados e discussão dos resultados encontrados durante as investigações

No capítulo Conclusão encerra-se o trabalho com análise crítica dos resultados, avaliação de consistência, proximidade com a teoria e verificação do alcance do objetivo proposto.

## **CAPÍTULO 2. REVISÃO DA LITERATURA**

Segundo a norma ABNT NBTR (1994) Falha término da capacidade de um item a sua função requerida. Falha é um evento, diferente de pane, que é um estado. Uma pane é geralmente decorrente de uma falha de um item, podendo existir sem uma falha anterior. Existem vários tipos de falhas, a saber:

Falhas repentinas – São aquelas que ocorrem repentinamente depois do uso do item por algum tempo. Alguns exemplos de itens com falhas repentinas são os seguintes: Lâmpadas, correias, certos tipos de componentes. O período entre a instalação de um item e a sua falha é incerto, mas pode ser estimado através de distribuição de frequências que podem ser: progressivas, retrocessivas ou aleatórias pela natureza.

Falhas progressivas – nestas a probabilidade de falha aumenta com o aumento de vida de funcionamento do item. Por exemplo, lâmpadas, pneus, etc.

Falhas retrocessivas – estas são aquelas em que a habilidade de sobrevivência do item no estágio inicial de funcionamento aumenta a esperança da vida. Por exemplo, motores elétricos, turbinas, etc.

Falhas aleatórias – nestas existe uma constante probabilidade de falha associada ao item por várias razões, como choques físicos, má utilização, sobre carregamento, etc.

Falhas graduais – são aquelas que ocorrem progressivamente. Nestas, a eficiência reduz com o tempo e conseqüentemente:

- Aumentam os custos de operação;
- Reduz a produtividade do item; e
- Reduz o valor residual do item.

Os itens com falhas graduais são caracterizados por serem muito caros e exigirem manutenção. Por exemplo, veículos, máquinas, caldeiras, etc.

### **2.1. Análise de falhas**

É um processo que consiste em analisar a ocorrência de um determinado problema, seu grau de severidade e encontrar a sua causa raiz dessa falha. Essa análise pode ser realizada de diversas formas, e cada método terá uma melhor funcionalidade conforme a situação.



Heravizadeh; Mendling; Rosemann (2008) dizem que, na ocorrência de defeitos, é comum que a equipe busque soluções paliativas. Porém, o ideal não é solucionar um problema momentaneamente, mas sim, tratar a causa do problema para que o mesmo não se torne recorrente. Todas as vezes que um defeito volta a ocorrer, o custo e o tempo para solucioná-lo tomam dimensões maiores.

Andersen & Fagerhaug (2006) consideram que, para maior agilidade e eficácia na identificação dos fatos que contribuíram para a ocorrência dos problemas, é essencial o emprego do método de análise de causa

Ainda segundo o SEBRAE (2008), ao pensar na análise e no conhecimento sobre determinado processo, problema ou ação a serem concretizadas, sendo usada em três etapas durante a solução de problemas, conforme apresentado a seguir.

- Diagnóstico: Durante a investigação de um problema ou processo, a fim de somar informações e buscar rapidamente as falhas;
- Plano de ação: Estruturar um plano de ação, de acordo com o que deve ser feito para extinguir um problema;
- Padronização: Auxilia na padronização de procedimentos que devem ser considerados como exemplo, para prevenir o reaparecimento de modelos.

### **2.1.1. Objetivo da Análise de Falha**

A análise de Falha surge com a finalidade de evitar, quando não, minimizar as falhas aumentando a confiabilidade dos equipamentos e reduzindo os custos de manutenção.

Isso é feito, através de um exame lógico e sistemático da falha a fim de procurar as causas fundamentais da falha e tratá-las através de ações consistentes de manutenção/operação.

Para isso, a Análise de falha deve:

- ✓ Encontrar a causa fundamental da falha;
- ✓ Planejar ações que visem eliminar ou minimizar a causa;
- ✓ Atuação junto à área responsável pelo equipamento;
- ✓ Acompanhar a performance do equipamento;

### **2.1.2. Métodos de Análise de Falha**

Os métodos de análise de falhas referem-se às abordagens sistemáticas e estruturadas que são usadas para investigar, identificar e entender as causas subjacentes de falhas. Eles oferecem um conjunto de princípios ou passos a serem seguidos durante o processo de análise.

Exemplos de métodos para análise de falhas incluem:

#### **Análise de Causa Raiz (RCA)**

O RCA (do inglês Root Cause Analysis) é um processo sistemático para encontrar a origem dos problemas e prevenir sua recorrência. Inclui várias técnicas como os 5 Porquês e o Diagrama de Ishikawa. É amplamente usado nas indústrias para resolver problemas complexos e melhorar processos.

#### **Análise de Modos de Falha e Efeitos (FMEA)**

Avalia os modos de falha potenciais de um sistema, classificando-os por sua severidade, ocorrência e detectabilidade. Comumente utilizado no design e na manutenção de sistemas para prever e prevenir falhas antes que ocorram

#### **Análise de Árvore de Falhas (FTA)**

Um método lógico e visual para descrever e analisar as causas potenciais de falhas dentro de um sistema. A análise de árvore de falhas é utilizada para entender como diferentes fatores contribuem para uma falha e para mapear a relação entre subsistemas e falhas.

### **2.1.3. Ferramentas para Análise de Falhas**

As ferramentas de análise de falhas são os recursos específicos (como diagramas, gráficos, software) que auxiliam na implementação dos métodos. Elas fornecem suporte visual e organizacional para a coleta, análise e apresentação de dados.

Exemplos de ferramentas de análise de falhas incluem:

## Diagrama de Ishikawa (Espinha de Peixe)

Um gráfico usado para identificar, explorar e exibir todas as possíveis causas de uma falha, categorizando-as em grupos como máquina, mão de obra, métodos, materiais, meio ambiente e medidas. O Diagrama de Ishikawa ajuda a organizar as causas potenciais de um problema de forma visual, facilitando a identificação de padrões e relações.

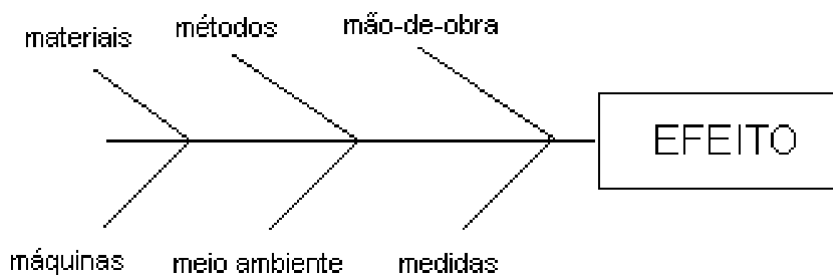


Figura 1: Diagrama de Ishikawa

## 5 Porquês

A técnica dos 5 Porquês é uma ferramenta simples e eficaz usada para identificar a causa raiz de um problema, fazendo uma série de perguntas “por quê?” até que a causa fundamental seja descoberta. Este método é particularmente útil para problemas menos complexos e pode ser complementado por outras ferramentas para falhas mais intrincadas.

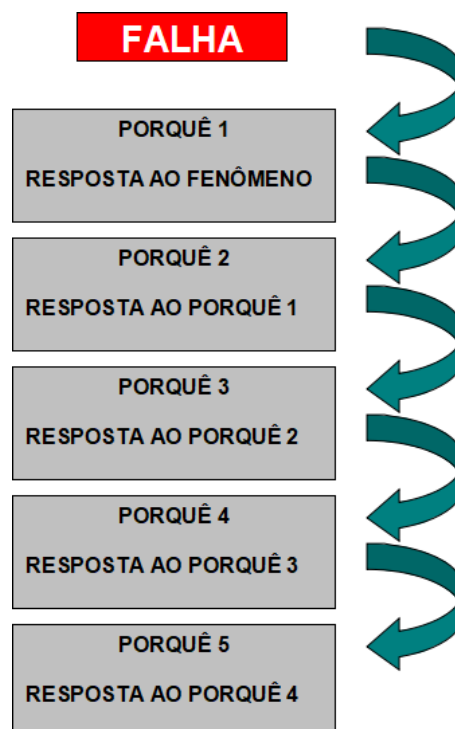


Figura 2: Fluxo dos 5 Porquês

## Diagrama de Pareto

É um gráfico de barras que classifica as causas de falhas em ordem de frequência ou impacto, baseando-se no princípio de Pareto (80/20). Utilizado para priorizar os problemas que precisam ser resolvidos primeiro para maximizar a eficácia da resolução de falhas.

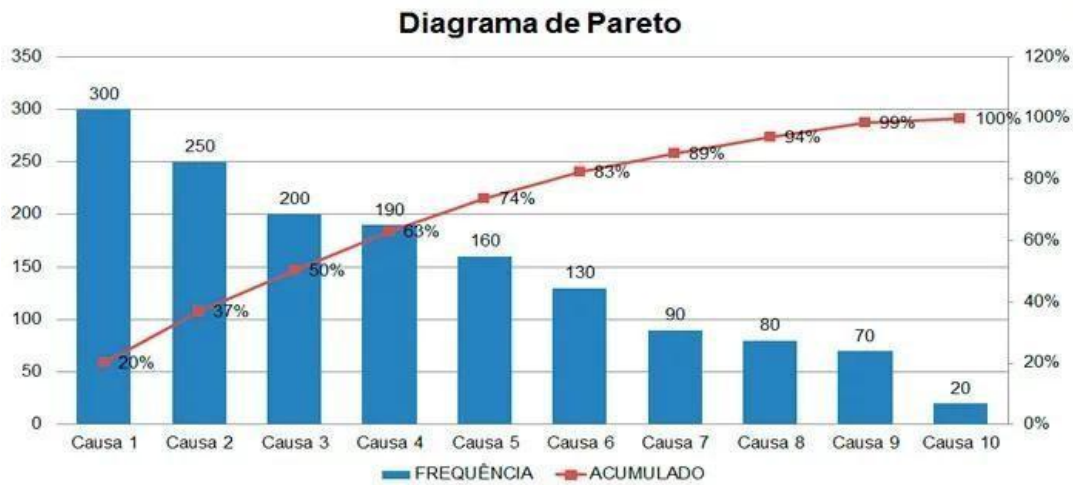


Figura 3: Diagrama de Pareto

Em suma, os métodos de análise de falhas fornecem abordagens teóricas ou processuais para investigar e solucionar problemas, enquanto as ferramentas para análise de falhas são os recursos específicos que ajudam na implementação desses métodos.

Ambos são essenciais para uma análise de falhas abrangente e bem-sucedida, mas desempenham papéis diferentes dentro do processo de resolução de problemas.

## 2.2. Conceitos básicos

### 2.2.1. Trituração

Refere-se ao processo de redução de tamanho de materiais através de esmagamento, moagem ou fragmentação. É frequentemente usada em contextos industriais e de processamento de materiais, como na produção de ração animal, reciclagem de resíduos, ou processamento de minerais.

### 2.2.2. Moinho

Um moinho industrial é um equipamento utilizado para moer ou triturar materiais em uma variedade de indústrias, como a de alimentos, mineração, farmacêutica e química. Ele serve para reduzir o tamanho dos grãos ou materiais sólidos, transformando-os em pó ou em

partículas menores, com o objetivo de facilitar o processamento subsequente ou melhorar a qualidade do produto final.

Existem diferentes tipos de moinhos industriais, cada um adequado para necessidades específicas.

## **2.3. Tipos de moinho**

### **2.3.1. Moinhos de cilindros**

A Figura 4 ilustra um moinho de cilíndricos, estes podem ser de dois tipos: de barras ou de bolas. São moinhos de impacto e de atrito e são compostos por uma carcaça cilíndrica de ferro, sendo o seu interior revestido por placas de aço duro ou borracha. A carcaça gira sobre chumaceiras e o seu interior contém barras ou bolas de aço (corpos moedores). Devido à rotação da carcaça, os corpos moedores atingem uma altura, de onde pela ação da gravidade, caem sobre os restantes corpos moedores e sobre o material a ser moído, que se encontra no restante espaço dentro do moinho.



**Figura 4: Moinho cilíndricos**

### **2.3.2. Moinhos de barra**

São moinhos que utilizam barras como meio moedor. Um exemplo é mostrado na Figura 5. O peso considerável das barras torna este moinho apto a moer material mais grosso, já que a queda de uma barra produz um impacto significativo, sendo este o mecanismo de fragmentação predominante. Estes moinhos podem ser considerados máquinas de britagem fina ou de moagem grossa. São muitas vezes escolhidos para britagens finas quando o material é argiloso. Podem ser usados tanto em via úmida quanto em via seca. É basicamente um equipamento para circuito aberto, frequentemente preparando material para moinho de bolas (Figueira, 2004).

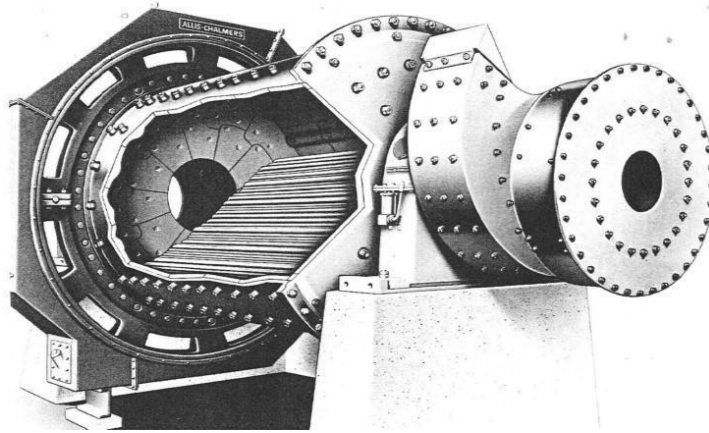


Figura 5: Moinho de Barras com arranjo de descarga por Overflow (Rowland, 1978).

### 2.3.3. Moinho de bolas

São moinhos rotativos que utilizam esferas de aço fundido ou forjado ou ferro fundido como meio moedor (Metso, 2005).

O moinho de bolas é o moinho mais utilizado na indústria e é mais adequado à moagem fina do que o moinho de barras, pois as bolas que se encontram dentro da sua carcaça possuem uma área superficial por unidade de peso superior à das barras. É também adequado para a moagem em processos secos ou húmidos. Este tipo de moinho é normalmente utilizado quando o comprimento da carcaça é de 1 a 1,5 vezes maior do que o seu diâmetro.

Internamente os moinhos de bolas são revestidos por placas de aço ou borracha, protegendo-os do desgaste. Estas placas podem ser substituídas quando necessário, pois minimizam o escorregamento das bolas, reduzindo assim, o desperdício de energia.

As bolas de aço ocupam de 20 a 40 % do volume interior da carcaça e movem-se de modo a promover a cominuição do material. A dimensão das partículas a moer rondam a ordem dos 20 mm e estas bolas permitem reduzi-las entre 44 e 250  $\mu\text{m}$

#### Descrição do processo

A figura 6 apresenta a configuração de um moinho de bolas típico. A estrutura cilíndrica é carregada com corpos moedores, no caso bolas de aço. Um produto grosseiro é alimentado em uma extremidade, passa pelo seu interior recebendo ação de quebra da carga moedora que é lançada sobre o material devido ao efeito de rotação da carcaça cilíndrica. Um produto com uma distribuição granulométrica reduzida é descarregado pela outra extremidade.



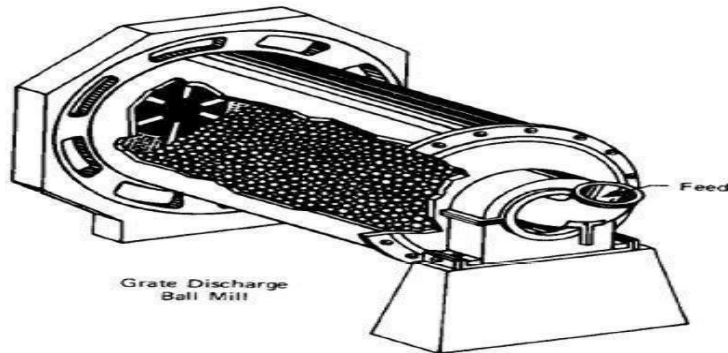


Figura 6: Moinho de bolas em repouso (Austin, 1984)

### 2.3.4. Moinho de discos

O moinho de discos, ilustrado na figura 7, é ideal para moagem fina e é composto por dois discos de aço manganês fundido com ressaltos internos, sendo um fixo e o outro móvel, com movimentos em sentidos contrários. Através da abertura central do disco fixo, é feita a alimentação do moinho e o material movimenta-se até ao espaço entre os discos. De seguida o material é fragmentado devido ao movimento excêntrico do disco móvel e é forçado a deslocar-se até à câmara coletora que se encontra na periferia. A granulometria final do material pode ser variável, conforme o ajuste da abertura entre os discos. Ainda é de realçar que este tipo de máquina é de pequenas dimensões e habitualmente encontra-se em um laboratório (Figueira 2004).

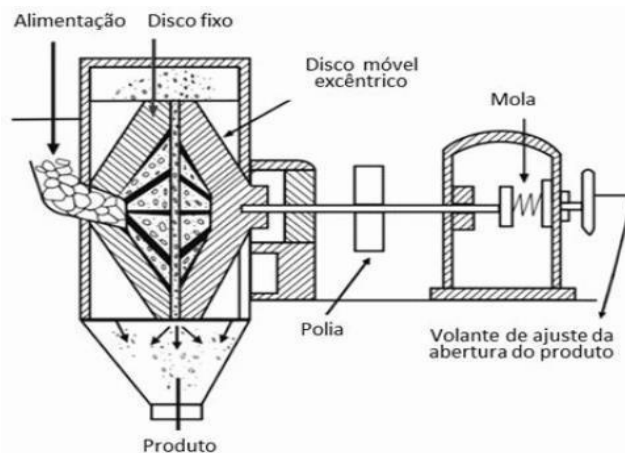


Figura 7: Moinho de discos (Figueira 2004)

### 2.3.5. Moinho vibratório

Este tipo de moinho é constituído por dois tubos de moagem sobrepostos, que estão interligados através de travessas e braçadeiras, como pode ser observado na Figura 8. No interior das

travessas existem excêntricos que provocam a rotação do moinho. Os moinhos vibratórios operam tanto a seco como a húmido, normalmente em regime contínuo e permitem obter amostras com granulometria muito fina.

Através de um motor elétrico, os excêntricos são acionados por meio de um eixo cardã e a rotação destes produz vibração nos tubos moedores que estão apoiados sobre suportes de borracha. A função dos suportes é isolar as vibrações e reduzir a transmissão destas para a estrutura e a base.

Tal como nos moinhos de bolas o agente moedor são bolas de aço que ocupam de 60 a 70% dos tubos de moagem. O material a ser moído atravessa os tubos longitudinalmente como um fluido, levando o agente moedor a fragmentá-lo. Na Figura 9 é possível observar através de outra perspectiva todos os componentes abordados anteriormente (Braga, 2007).



Figura 8: Moinho vibratório

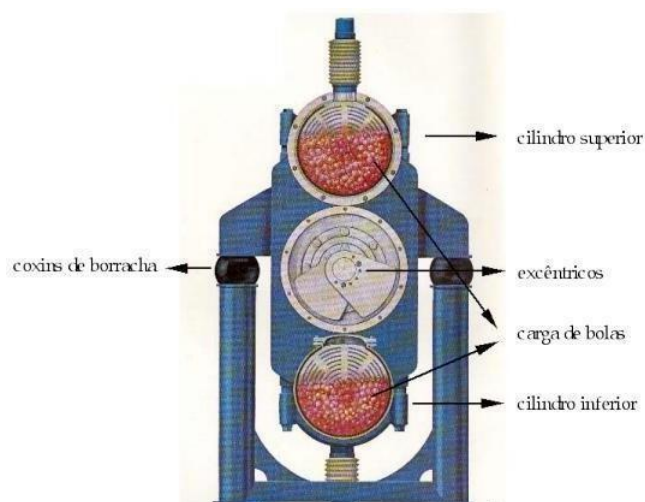


Figura 9: Componentes do moinho vibratório (Braga, 2007).

### 2.3.6. Moinho de rolos de alta pressão

Os moinhos de rolos, representados na Figura 10, são moinhos de atrito e compressão, sendo compostos por dois rolos com chumaceiras independentes, permitindo o funcionamento com velocidades diferentes. Um dos rolos é fixo, possibilitando apenas a rotação no seu eixo, enquanto o outro o rolo é livre para se movimentar. O movimento do rolo é controlado de forma hidráulica e a abertura dos rolos é estipulada através das características e da granulometria do material que será cominuído. (Figueira, 2004)

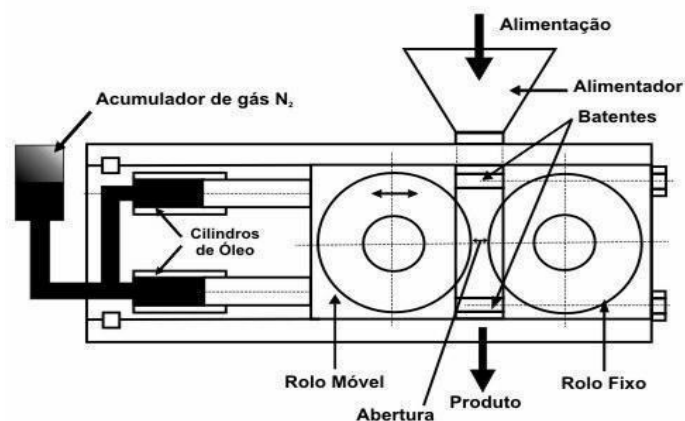


Figura 10: Moinho de Rolos de Alta Pressão, o HPGR (Figueira, 2004)

Uma das grandes vantagens deste tipo de moinho é o facto de realizar consumos energéticos menores relativamente aos moinhos de bolas convencionais, mas por outro lado, os rolos sofrem um desgaste elevado, o que leva à pouca utilização deste tipo de moinhos na indústria

### 2.3.7. Moinho de martelos

O moinho de martelos, ilustrado na Figura 11, é um moinho de impacto constituído por uma câmara de impacto e no seu interior um disco de alta rotação, no qual estão presos martelos ou blocos que são balanceados pela força centrífuga imposta pela rotação do disco central. O material é alimentado pela parte superior ou central do moinho e colide com os martelos em alta rotação, que por sua vez é projetado contra a superfície interna da câmara de impacto, fragmentando-o em partículas de menores dimensões. Na parte inferior do moinho, pode ou não existir uma grelha metálica que tem como função bitolar a granulometria máxima pretendida, retendo as partículas de material mais grosseiras.

Este tipo de moinho é adequado para a moagem intermédia e fina de materiais de baixa e média dureza (2-5 na escala de mohs), como é o caso do carvão, calcário, gesso, cerâmica, ou seja, materiais pouco abrasivos. Os martelos são normalmente produzidos em aço ao

manganês ou ferro fundido com carboneto de crômio, materiais estes com extrema resistência à abrasão. Em relação à câmara de impacto o aço ASTM-A36 é um aço estrutural convencional bastante utilizado, podendo ser reforçado interiormente pelos mesmos aços utilizados nos martelos

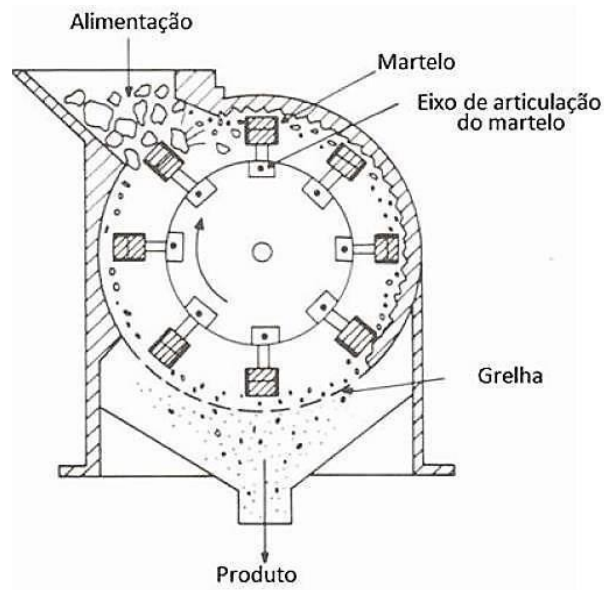


Figura 11: Moinho de Martelos

### 3. Matéria prima para a produção de cimentos

A matéria-prima para a produção de cimentos é fundamental para garantir a qualidade e a resistência do produto final. Os principais componentes utilizados na fabricação de cimento incluem calcário, clínquer e gesso. Cada um desses materiais desempenha um papel crucial no processo de produção.

**1. Calcário:** É a principal matéria-prima na fabricação de cimento. O calcário é composto predominantemente por carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Quando é aquecido a altas temperaturas em um forno, o calcário se decompõe em óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). O óxido de cálcio reage com outras matérias-primas para formar o clínquer.



**Figura 12: Calcário (Fonte: Autor )**

**2. Clínquer:** É um produto intermediário obtido pela calcinação de uma mistura de calcário e argila a temperaturas elevadas (aproximadamente 1450°C) no forno. O clínquer é composto principalmente por silicatos de cálcio e outros compostos, como aluminatos e ferritos. Este material é então moído finamente para formar o cimento.



**Figura 13: Clínquer (Fonte: Autor )**

**3. Gesso:** É adicionado ao cimento em pequenas quantidades durante o processo de moagem final do clínquer. O gesso (sulfato de cálcio diidratado) atua como um regulador de tempo de pega, controlando a velocidade com que o cimento endurece. Sem o gesso, o cimento começaria a endurecer muito rapidamente, dificultando o trabalho e a aplicação do material. Juntos, esses componentes garantem que o cimento produzido tenha as propriedades desejadas para a construção, como resistência e durabilidade.



Figura 14: Gesso(Fonte: Autor)

### **3.1. Elementos que compõem o moinho**

Um moinho é composto por vários elementos essenciais que garantem seu funcionamento eficiente. Os principais componentes incluem:

#### **3.1.1. Acionamento principal**

Ele é constituído pelo motor elétrico, redutor e o acoplamento. Sua função é fornecer movimento para que o moinho entre em operação e permaneça em operação. Tem moinhos que possuem somente um acionamento e outros que possuem dois, isso depende muito do fabricante e da capacidade do moinho;



Figura 15: Motor Principal (Fonte: Autor)



**Figura 16: Redutor Principal (Fonte: Autor)**

### **3.1.2. Posto de óleo do redutor**

Ele fornece lubrificação contínua às partes móveis do redutor, como engrenagens e rolamentos, que são responsáveis pela redução da velocidade e pelo torque transmitido do motor para o mecanismo.



**Figura 17: Posto de óleo do Redutor Principal (Fonte: Autor)**

### 3.1.3. Sistema de refrigeração

O sistema de refrigeração do moinho, composto por um exaustor e um motor.

O exaustor é responsável por remover o ar quente e a poeira gerados durante o processo de moagem, evitando o superaquecimento do moinho e a formação de depósitos indesejados. Isso ajuda a garantir que o moinho opere dentro de parâmetros ideais, prevenindo danos ao equipamento e melhorando a qualidade do cimento produzido.

O motor aciona o exaustor, fornecendo a energia necessária para a sua operação contínua. Juntos, esses componentes asseguram a adequada dissipação do calor e o controle da temperatura, o que é fundamental para a eficiência do processo e a integridade do sistema de moagem



Figura 18: .Exaustor Principal (Fonte: Autor)





**Figura 19: Motor do Exaustor Principal (Fonte: Autor)**

#### **3.1.4. Sistema de ventilação**

O ventilador, composto por um motor, desempenha a função essencial de soprar o cimento em pó até o corredor de pó. Este ventilador cria um fluxo de ar que transporta o cimento moído do moinho para a área de coleta ou processamento subsequente.



**Figura 20: Ventilador do moinho (Fonte: Autor)**

### 3.1.5. Esferas

Localizadas na parte interna são responsáveis pela trituração e moagem da matéria- prima, transformando-a em um pó fino.

### 3.1.6. Alimentação

Essa parte é responsável por realizar a alimentação do moinho com a matéria prima

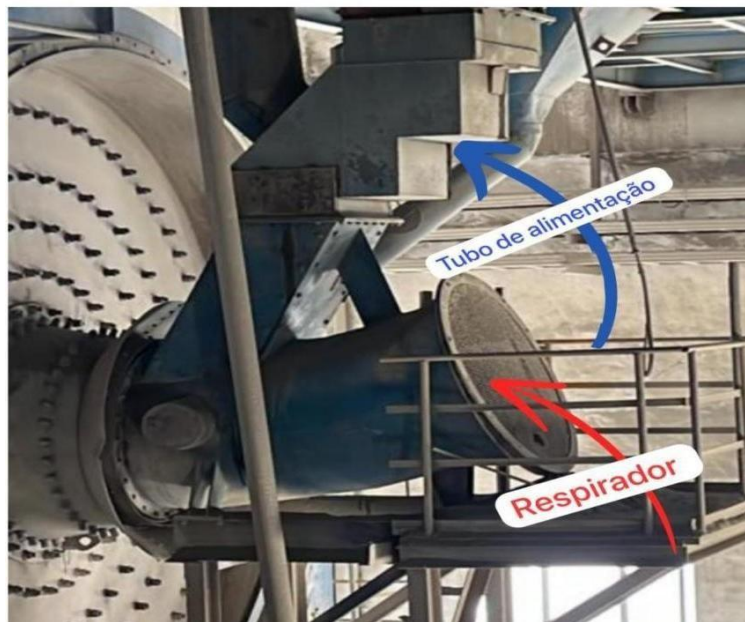


Figura 21: Tubo de alimentação do moinho e Respirador (Fonte:Autor)

### 3.1.7. Cauda (Saída da matéria prima)

E onde ocorre a descarga do moinho consiste no local em que, após a matéria-prima ser moído dentro do equipamento o cimento é descarregada para a próxima fase;

### 3.1.8. Respirador

O respirador tem a função de trazer o ar externo para dentro do moinho. Esse processo é para ajudar a estabilizar a temperatura dentro do moinho.

### 3.1.9. Rolamentos

Localizado nas extremidades do moinho sua principal função é permitir que o moinho gire e reduzem o atrito entre as partes móveis e fixas, garantindo que o moinho opere de maneira eficiente e estável. Um dos componente essencial para a operação do moinho de bolas.



Figura 22: Rolamento do moinho (Fonte:Autor)

### 3.1.10. Sistema de lubrificação

É responsável por realizar a lubrificação dos componentes dos moinhos e a filtragem do óleo do moinho;

### 3.1.11. Carcaça do moinho

São os corpos cilíndricos, como mostrado na figura 23, que são fabricados por chapas metálicas, dependendo do moinho, a carcaça pode ter de duas três divisões, possui união de parafusos com flanges.



Figura 23: Carcaça do moinho (Fonte: Autor)

#### 4. Manutenção

Segundo a NBR 5462 (1994), manutenção é a “combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”. (NBR 5462, 1994, p. 6). Ou seja, é o conjunto de estratégias, sejam elas de: execução, melhoria, supervisão e planeamento, que tem por finalidade manter os equipamentos com seu devido funcionamento operacional para a planta.

Scarpim (2005) explica que a manutenção é a actividade responsável pelo mantimento de máquinas, instalações e equipamentos em condições de uso, sendo que, a manutenção se preocupa com a análise de equipamentos e instalações quando ainda em funcionamento e utilização.

No âmbito industrial ou qualquer ofício de fabricação, necessita-se de modos que irão permitir o bom andamento da produção, sendo processos simples ou sofisticados, contudo, problemas relacionados a desgastes, quebras, fraturas e mais outros incidentes podem ser observados durante o processo.

A manutenção representa estratégias para a determinação e avaliação da situação atual, bem como para a preservação e o restabelecimento da condição nominal das instalações, máquinas e componentes.

A política da manutenção dá-se por um grupo de regras, procedimentos e definições que são confabulados para operacionalizar a manutenção de forma a atender os principais interesses da empresa (CORRÊA, 2015).

Waeyenbergh (2005) fala que há 3 principais grupos de manutenção, e de acordo com a tabela 1 ele relaciona as políticas com suas respectivas acções.

POLITICAS DE MANUTENÇÃO		
Grupo	Base da política de manutenção	Accão de manutenção
<b>Manutenção correctiva</b>	Manutenção baseada na falha	Reparar
<b>Manutenção preventiva</b>	Manutenção baseada no uso	Inspeccionar
	Manutenção baseada no tempo	Reparar
	Manutenção baseada no projecto	Substituir
<b>Manutenção predictiva</b>	Manutenção baseada na detecção	Inspeccionar
	Manutenção baseada na condição	Inspeccionar

Tabela 1: (Políticas de manutenção) Fonte: Waeyenbergh

#### **4.1. Importância de Manutenção**

Aos seus problemas tradicionais vieram juntar-se agora as economias de energia, a conservação do meio ambiente, a renovação dos equipamentos e das instalações, a fiabilidade, a manutibilidade, a eficácia, a optimização dos processos industriais, a sua própria qualidade e a valorização dos seus técnicos.

Sente-se uma importância crescente da manutenção como um dos vectores fundamentais da economia das empresas. [Mário Brito e Eurisko, 2003]

#### **4.2. Tipos de Manutenção**

Existem vários tipos de manutenção tais como:

- ✓ Manutenção Correctiva;
- ✓ Manutenção Preventiva;
- ✓ Manutenção Preditiva;
- ✓ Manutenção Detectiva.

##### **4.2.1. Manutenção Correctiva**

A manutenção corretiva refere-se às ações realizadas para corrigir falhas ou problemas de desempenho que estão abaixo do esperado. Quando um equipamento apresenta um defeito ou um desempenho insatisfatório, a manutenção corretiva é a abordagem utilizada para restaurar a funcionalidade esperada.

É importante destacar que a manutenção corretiva não se confunde necessariamente com a manutenção de emergência. Embora ambas envolvam a correção de falhas, a manutenção corretiva pode ser planejada ou não planejada, dependendo das circunstâncias e da gravidade do problema. Existem duas condições específicas que levam à realização de manutenção corretiva:

- ✚ O equipamento apresenta desempenho deficiente apontado pelo acompanhamento das variáveis operacionais;
- ✚ Ocorrência de falha.

Então a principal função da Manutenção Correctiva é corrigir ou restaurar as condições de funcionamento do equipamento ou sistema.

Podemos dividir a Manutenção Corretiva em duas classes: 🚧 Manutenção Correctiva Não Planeada;

- 🚧 Manutenção Correctiva Planeada.

#### **4.2.2. Manutenção Correctiva Não Planeada**

É a correcção da falha de maneira aleatória, caracterizando-se pela atuação da manutenção em um facto já ocorrido, seja este uma falha ou um desempenho menor que o esperado. Não há tempo para a preparação do serviço. Infelizmente ainda é mais praticado do que se deveria. Normalmente a manutenção correctiva não planeada implica em altos custos, visto que a quebra inesperada pode acarretar perdas de produção, perda na qualidade do produto e elevados custos indiretos de manutenção. Além disso, quebras aleatórias podem ter consequências bastante grave para o equipamento, isto é, a extensão dos danos pode ser bem maior

No caso de uma empresa ter a maior parte de sua manutenção correctiva na classe de não planeada, o seu departamento de manutenção acaba sendo comandado pelos equipamentos e o desempenho da empresa, certamente, não estará adequado às necessidades de competitividade atuais.

#### **4.2.3. Manutenção Correctiva Planeada**

A manutenção correctiva é a correcção do desempenho menor que o esperado ou da falha, por decisão gerencial, isto é, pela actuação em função de acompanhamento preditivo ou pela decisão de operar o equipamento até a sua quebra. Visto que um trabalho planeado é sempre mais barato, mais rápido e mais seguro do que um trabalho não planeado. E será sempre de melhor qualidade. A característica principal da manutenção correctiva planeada é função da qualidade da informação fornecida pelo acompanhamento do equipamento. Mesmo que a decisão gerencial seja de deixar o equipamento funcionar até a quebra, essa é uma decisão conhecida e algum planeamento pode ser feito quando a falha ocorrer. Podemos citar, por exemplo, substituir o equipamento por outro idêntico, ter um Kit de reparo rápido. A adopção de uma política desse tipo de manutenção pode se originar de vários fatores:

- 🚧 Melhor planeamento dos serviços;
- 🚧 Possibilidade de compatibilizar a necessidade da intervenção com os interesses da produção;
- 🚧 Aspectos relacionados com a segurança-falha não provocam nenhuma situação de risco para o pessoal ou para a instalação;
- 🚧 Garantia de equipamentos sobressalentes, equipamentos e ferramental;

- ✚ Ter recursos humanos com a tecnologia necessária para a execução dos serviços, que podem também ser terceirizados.

#### **4.2.4. Manutenção Preventiva**

A manutenção preventiva pode ser definida como a atuação de forma a reduzir ou evitar falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo (KARDEC; NASCIF, 2009).

Esta manutenção apresenta uma melhor eficácia quando os intervalos de tempo estão determinados. Consequentemente pode, também, ser considerada uma menos valia a sua prática, podendo ocorrer uma tendência natural de se realizar intervenções em períodos de tempos menores, contribuindo para uma eventual troca desnecessária de peças.

Para a aplicação deste tipo de manutenção, é muito comum alinhar a ferramentas da manutenção centrada em confiabilidade. A partir destas ferramentas, pode ser decidido para cada possível falha seu nível de risco e decidir se vale a pena trocar preventivamente ou esperar até a falha e ainda, caso admita-se trocar de forma preventiva, qual deverá ser esse tempo de forma otimizada.

#### **4.2.5. Manutenção Preditiva**

O conceito de manutenção preditiva está inserido na modalidade de manutenção á aproximadamente, oito décadas; porém, como outras modalidades de manutenção, se efectivou como importante ferramenta de produtividade a partir de 1970, sendo que sua evolução se destaca nas duas décadas mais recentes, como discutido por diversos autores da área de manutenção (LIMA; ARANTES, 2008).

É o tipo de manutenção que realiza o acompanhamento de variáveis e parâmetros de desempenho de máquinas e equipamentos, visando definir no instante correcto e predizer as condições dos equipamentos (OTANI; MACHADO, 2008; KARDEC; NASCIF, 2009).

Kardec e Nascif (2009) ainda colocam que o objectivo da manutenção preditiva é prevenir falhas nos equipamentos ou sistemas através de acompanhamento de parâmetros diversos, permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível.

Segundo Santos (2009), a manutenção preditiva pode fazer o acompanhamento de diversos parâmetros através de alguma das seguintes técnicas:

- ✚ Ensaio elétrico: corrente, tensão e isolamento.
- ✚ Análise de vibrações: nível global, espectro de vibrações e pulsos de choque.
- ✚ Análise de óleos: viscosidade, teor de água e contagem de partículas.

✚ Análise de temperatura: termometria convencional e indicadores de temperatura. ✚

Energia acústica: ultrassom e emissão acústica.

#### **4.2.6. Manutenção Detectiva**

A manutenção detectiva pode ser definida como a atuação efetuada em sistemas de proteção, comando e controle, buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção (KARDEC; NASCIF, 2009).

Para equipamentos críticos os quais alimentam toda uma planta, alinhados à manutenção preditiva, são formas de manutenção indispensáveis. Tais equipamentos devem possuir disponibilidade altíssima e ainda grande confiabilidade, pois quando precisar parar deve ser planeado.



## **CAPÍTULO 3. CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO**

### **3.1. Apresentação da empresa**

A cimenteira Moçambique Dugongo Cimentos, S.A entrou no mercado moçambicano de produção de cimento com a fábrica localizada no distrito de Matutuine, a 70 km da Cidade de Maputo, com capacidade de produção de dois milhões de toneladas de cimento por ano.”

### **3.2. Estado actual do objecto de investigação**

O presente trabalho ira abordar as falhas do moinho de produção de cimentos na empresa Dugongo Cimentos.



**Figura 24: Moinho de produção da Dugongo Cimentos (Fonte: Autor)**

A empresa Dugongo apresenta dois moinhos de produção, os quais estão apresentando várias falhas devido a diversos fatores que serão detalhados ao longo do projeto.

A empresa produz anualmente dois milhões de toneladas de cimento por ano mas devido a diversas avarias que o moinho apresenta a sua produção anual tem reduzido bastante logo é importante identificar e corrigir falhas antes que se tornem graves isso ajuda a minimizar os custos associados a consertos emergências e perda de produção, além de evitar gastos adicionais com manutenção corretiva.

O moinho de produção de cimento é um equipamento essencial na empresa Dugongo cimento pois ele e utilizado para moer o clínquer (o produto intermediário resultante da calcinação do calcário e de outros materiais) junto com outros materiais, como gesso, e próprio calcário para obter o cimento em pó. A análise de falhas deve ser feita de forma sistemática, incorporando métodos de monitoramento de condição, como análise de vibrações, e inspeções visuais.

Essas abordagens permitem a detecção precoce de anomalias, possibilitando intervenções antes que problemas graves ocorram.

Este trabalho visa analisar as falhas recorrentes em moinhos de bola utilizados na produção de cimento, identificando suas causas raízes e impactos no processo produtivo. Após essa análise, o objetivo é propor soluções eficazes que visem não apenas a correção das falhas identificadas, mas também a otimização do desempenho dos moinhos. Isso pode incluir a implementação de um programa de manutenção preventiva, atualizações nos sistemas de lubrificação e treinamento para a equipe operacional.

As propostas visam aumentar a eficiência, reduzir paragens não programadas e garantir a qualidade do cimento produzido. Através dessas intervenções, espera-se que a operação dos moinhos se torne mais robusta e confiável, contribuindo para a competitividade da indústria de cimento.

### SISTEMA PRODUTIVO DA EMPRESA

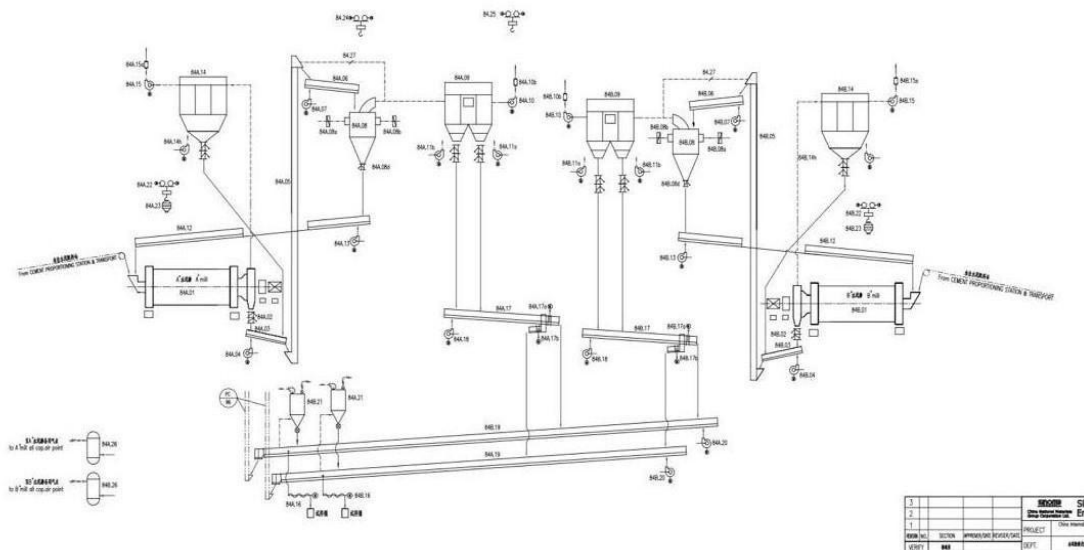


Figura 25: Planta do sistema produtivo

#### 3.2.1. Factores que influenciam na falha ou paragem do moinho

Diz-se que um componente de um equipamento falhou quando ele não é mais capaz de executar sua função com segurança. O conceito de falha só é aplicável se o defeito ocorrer dentro do período de vida útil do componente. Esta vida útil deve ser definida como critérios de projeto e associada a um modo de falha específico.

O Moinho de cimento, sendo equipamentos complexos e cruciais para o processo de produção, esta sujeitos a diversos tipos de falhas. Essas falhas podem afetar a eficiência, a qualidade do produto e a segurança da operação. São mencionadas alguns dos tipos mais comuns de falhas que ocorrem no moinho:

- ✓ A temperatura do moinho
- ✓ A manutenção do moinho
- ✓ Entupimento do moinho
- ✓ Desgaste das Peças
- ✓ Operador

### 3.2.2. Temperatura do moinho

A temperatura no moinho é crucial para garantir seu funcionamento seguro e eficiente. O moinho apresenta duas temperaturas distintas: uma na boca do moinho (entrada da matéria-prima) e outra na cauda do moinho (saída da matéria-prima). A temperatura na boca do moinho onde a matéria-prima entra, deve manter-se em torno de 50°C a 60°C. , enquanto na cauda do moinho, onde a matéria-prima é expelida, a temperatura pode atingir até 75°C. Essa diferença de temperatura ocorre porque a cauda do moinho precisa de uma maior pressão para retirar o cimento, resultando em um aumento térmico devido à maior resistência ao fluxo.

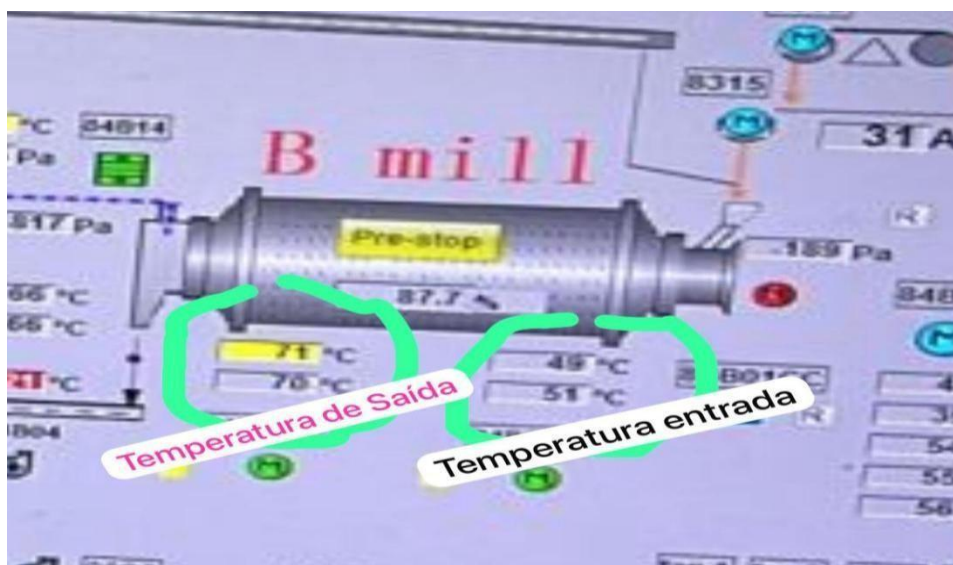


Figura 26: Sistema de controle de temperatura (Foto: Autor)

Quando a temperatura ultrapassa esses valores críticos, o sistema de controle do moinho é

projetado para desligar automaticamente o equipamento porque a tendência da temperatura no moinho é de subir. Esse mecanismo de segurança é fundamental para prevenir danos ao moinho e garantir a integridade do processo. Após o desligamento, o moinho só pode ser religado após a realização das devidas verificações e correções. Isso assegura que o problema que causou o aumento de temperatura seja identificado e corrigido, evitando riscos de funcionamento inadequado ou falhas futuras. Entre as possíveis ações corretivas, podem incluir a verificação dos sistemas de resfriamento, inspeção de componentes que possam estar contribuindo para o super aquecimento e o sistema de lubrificação.

A empresa possui um controle central para monitorar todo processo produtivo do moinho incluindo a temperatura do moinho. Quando a temperatura esta para atingir níveis críticos, o controle central emite um alerta para que os operários verifiquem o nível de óleo na caixa de posto de óleo e o sistema de ventilação do moinho. Essa verificação é crucial para evitar o desligamento prematuro do moinho, garantindo assim a continuidade da operação e prevenindo possíveis danos ao equipamento. É fundamental que o controle central esteja sempre em prontidão para responder rapidamente a qualquer aumento de temperatura e evitar interrupções na produção.

A área do controle central é um espaço restrito, acessível apenas para pessoal autorizado. Para garantir a segurança e a integridade das operações, é estritamente proibido realizar fotos e vídeos no local.

### **3.3. Lubrificação**

Não é possível falar sobre a temperatura do moinho sem mencionar o sistema de lubrificação da empresa, pois ambos estão ligados. A temperatura do moinho é diretamente influenciada pela eficiência do sistema de lubrificação.

O sistema de lubrificação é responsável por reduzir o atrito, e o desgaste das partes móveis do moinho. Se a lubrificação não for adequada, o atrito aumenta, o que pode levar a um aumento significativo da temperatura do equipamento. Esse aquecimento excessivo pode comprometer o desempenho do moinho e até mesmo causar falhas graves, resultando em paradas não programadas e custos de manutenção elevados.



Figura 27: Lubrificação (Fonte:Modulo de lubrificação 2022)

“Lubrificantes é qualquer material que, interposto entre duas superfícies atritantes que entram em contacto, reduza o atrito.”

A lubrificação dos componentes do moinho é um processo crítico para a operação eficiente do equipamento, a falta de lubrificação causa uma série de problemas no moinho. Estes problemas podem ser enumerados, conforme a ocorrência, na seguinte sequência:

- ✓ Aumento do atrito
- ✓ Aumento do desgaste
- ✓ Aquecimento
- ✓ Ruídos
- ✓ Ruptura das peças
- ✓ Gripagem do motor

O sistema começa com a aplicação manual de um volume controlado de 210L de lubrificante na caixa do posto de óleo, cuja função é distribuir o lubrificante até aos componentes do moinho.



Figura 28: Caixa de posto de óleo com capacidade de 210L de lubrificação (Fonte: Autor)

No entanto, quando o nível de óleo é baixo ou quando a quantidade de matéria-prima dentro do moinho é excessiva, a pressão gerada pode demandar ajustes adicionais no sistema de lubrificação. Nestes casos, é necessário que um operador adicione manualmente mais lubrificante nos tubos de lubrificação para garantir que o fluxo adequado de óleo continue.

Este procedimento é realizado com a ajuda de um borrifador, que facilita a introdução do lubrificante no moinho, assegurando que todos os componentes recebam a quantidade adequada de lubrificação e funcionando de maneira eficiente visto que a lubrificação insuficiente nos componentes pode também causar o aquecimento do moinho e conseqüentemente o moinho tende a desligar.



**Figura 29: Tubo de entrada de lubrificação feito de forma manual (Fonte: Autor)**

O nível de óleo é monitorado por um manômetro, que fornece informações em tempo real sobre a pressão e o nível de lubrificação. É essencial que o operador acompanhe essas medições e adicione óleo conforme necessário para assegurar que o sistema de lubrificação esteja sempre adequado às condições de operação do moinho. Dessa forma, é possível manter a eficiência do equipamento e evitar falhas que possam resultar em paradas não programadas ou danos sérios ao moinho. É importante salientar que a lubrificação na saída do moinho, conhecida como cauda, é mais crítica em comparação com a entrada, ou boca do moinho, devido à alta pressão exercida pelo equipamento para forçar a saída do cimento. Nesta região, o moinho aplica uma pressão significativa para extrair o cimento, o que aumenta o atrito e o desgaste. A caixa do posto de óleo está ligado ao sistema de lubrificação. O tipo de óleo utilizado pela empresa é o Renolin CLP 320. Este óleo é um lubrificante hidráulico de alta performance, projetado para oferecer excelente proteção contra desgaste, oxidação e corrosão. Com uma viscosidade adequada para suportar as altas pressões e temperaturas encontradas em sistemas hidráulicos e de lubrificação, o Renolin CLP 320 é ideal para garantir a eficiência e a longevidade dos equipamentos.



**Figura 30: Manômetros que controla a pressão e o níveis de óleo (Fonte: Autor)**

### **3.4. Manutenção**

A política de manutenção aplicada na empresa é predominantemente corretiva, baseada na abordagem de deixar o equipamento operar até que ocorra uma falha. A empresa acredita que, ao adotar essa estratégia, pode otimizar recursos e reduzir custos associados a manutenções preventivas frequentes. No entanto, esta abordagem pode implicar em paradas inesperadas e possíveis impactos na continuidade da produção.

Antes de iniciar a operação do moinho, os operários realizam uma vistoria minuciosa no equipamento. Esta verificação inclui a checagem da lubrificação nos rolamentos do moinho, a checagem das esferas do moinho e a conferência do nível de lubrificação na caixa de posto de óleo, garantindo que todos os componentes estejam em condições ideais para o funcionamento. Após assegurar que todos os aspectos técnicos estão conforme os padrões, a máquina é ligada para iniciar o processo produtivo.

Embora a política corretiva permita uma abordagem mais econômica a curto prazo, a vigilância rigorosa e os procedimentos de inspeção antes da operação são essenciais para minimizar riscos e manter a eficiência do equipamento. A combinação dessas práticas busca equilibrar a eficácia operacional com a necessidade de intervenção rápida em caso de falhas, promovendo a continuidade da produção e a integridade dos processos.

### **3.5. Entupimento**

O entupimento do moinho ocorre quando há excesso de matéria-prima, o que impede o funcionamento eficiente do equipamento. Quando a quantidade de matéria-prima excede a capacidade recomendada, ela se acumula e obstrui o moinho, prejudicando o processo de moagem. Para evitar problemas, é crucial monitorar a quantidade de matéria-prima e ajustar a dosagem de forma precisa. A quantidade recomendada de matéria-prima a ser processada no moinho é de 121 toneladas/h, divididas em 96 toneladas de calcário, 21 toneladas de clínquer e 4 toneladas de gesso essa dosagem é gerenciada por três máquinas chamada estação de dosagem, que controla com precisão a quantidade de matéria-prima (calcário, clínquer e gesso) a ser introduzida no processo. Esta máquina assegura que as proporções corretas sejam rigorosamente seguidas.





**Figura 31: Máquina de estação de dosagem de matéria prima (Fonte:Autor)**

Em caso de entupimento, é necessário interromper a alimentação do moinho chamada correia transportadora, que é responsável por transportar a matéria-prima até a entrada do moinho. Isso para permitir que o moinho processe o material já presente e remova o excesso acumulado não só também para evitar que o equipamento começa a se sobrecarregar e eventualmente despejar a matéria-prima devido à incapacidade de processamento, essa interrupção é feita pelo controle central, que é responsável por monitorar e gerenciar todas as operações do sistema, o controle central atua como o cérebro do processo produtivo, integrando e regulando diversos componentes do moinho para assegurar um funcionamento harmonioso e seguro. Quando um entupimento é detectado, o sistema de controle central deve desativar imediatamente a correia transportadora essa ação preventiva é essencial para evitar danos maiores ao equipamento, perdas e garantir a continuidade do processo produtivo. Após a normalização, a correia transportadora deve ser reativado para retomar o processo de moagem de forma eficiente.

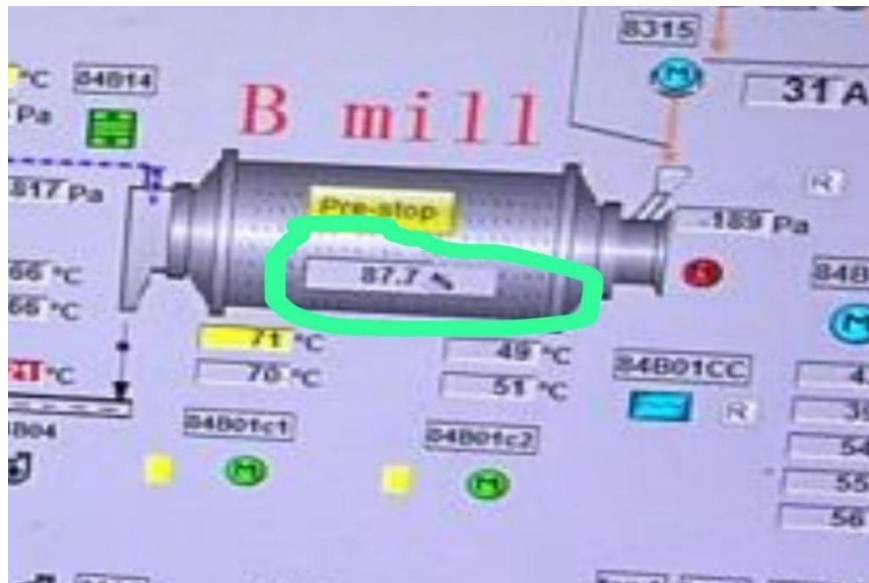


Figura 32: Quantidade da matéria prima no moinho (Fonte:Autor)

É importante salientar que o moinho possui um tempo limitado de dois minutos para processar e retirar toda a matéria-prima.

### 3.6. Desgaste das peças

No processo de produção de cimento, o moinho desempenha um papel central ao triturar a matéria-prima utilizando esferas de aço para garantir que o produto final seja de alta qualidade. As esferas são essenciais para a redução eficaz do tamanho das partículas do material.

No entanto, o desgaste dessas esferas é uma falha significativa que pode afetar a eficiência do moinho e, conseqüentemente, a produtividade da empresa.

O desgaste das esferas ocorre devido ao movimento giratório do moinho, que provoca constantes colisões entre as esferas. Com o tempo, esse atrito causa a degradação das esferas, exigindo sua substituição para manter a eficácia do processo de moagem. Em média, as esferas são trocadas duas vezes por mês e a sua substituição leva em média 3 a 5 dias devido a quantidade das esferas, o que pode levar a atrasos na consecução das metas da empresa.



**Figura 33: Esferas desgastadas (Fonte:Autor)**

O desgaste das esferas é frequentemente sinalizado por um aumento no ruído do moinho, indicando que as peças estão gastas e que o moinho está operando com peças desgastadas logo é necessária intervenção.

Além do desgaste das esferas, outra falha significativa no moinho é o desaperto dos parafusos. Em alguns casos, os parafusos que fixam componentes críticos do moinho podem se soltar, exigindo uma parada temporária da produção para o seu reaperto. Este processo de manutenção, embora essencial para a segurança e a operação eficiente do moinho, pode causar interrupções na produção e impactar a produtividade.



**Figura 34: Parafusos que seguram os componentes do moinho (Fonte:Autor)**

### **3.7. Operador**

No processo de produção, a atuação dos operários é crucial para garantir a qualidade do produto final. No entanto, falhas cometidas pelos operários podem ter impactos significativos na produção. Entre as principais falhas associadas ao desempenho dos operários, destacam-se:

**1. Operação Incorreta dos Equipamentos:** Quando os operários não seguem corretamente os procedimentos operacionais, ocorre erros no ajuste e na operação dos equipamentos. Isso leva a uma moagem inadequada da matéria-prima, resultando em interrupções na produção.

**2. Manuseamento Impróprio dos Materiais:** O manuseio inadequado dos materiais, como a dosagem incorreta de calcário, gesso e clínquer, afeta negativamente a mistura e o processo de moagem. Isso pode resultar em problemas de consistência e qualidade do cimento, além de possíveis obstruções e danos ao equipamento.

**3. Inspeções e Manutenções Insuficientes:** A falta de inspeção e manutenção regulares, muitas vezes devido à negligência dos operários, leva ao desgaste prematuro de componentes críticos, como esferas do moinho e parafusos.

### **3.8. Consequências da paragens do moinho**

Quando um moinho sofre uma avaria, as consequências para a produção podem ser amplas e impactar diversos aspectos do processo produtivo, algumas dessas consequências pode ser:

#### **3.8.1. Redução da Produção**

A falha pode levar à parada total ou parcial do moinho, resultando em uma diminuição na quantidade de produto produzido.

#### **3.8.2. Aumento dos Custos**

O tempo de inatividade e os custos de reparo podem aumentar significativamente. Além disso, a produção perdida pode impactar as finanças.

### **3.8.3. Diminuição da Qualidade**

Se o moinho não estiver funcionando corretamente, a qualidade do produto pode ser comprometida, afetando a satisfação do cliente e podendo resultar em rejeição de produtos.

### **3.8.4. Impacto na Cadeia de Suprimentos**

A parada do moinho pode atrasar a entrega de produtos finais e afetar a relação com fornecedores e clientes.

### **3.8.5. Segurança**

Dependendo da natureza da falha, pode haver riscos de segurança para os operadores e para o ambiente de trabalho.

Essas consequências destacam a importância de uma gestão eficiente dos moinhos e a necessidade de uma abordagem proativa para minimizar o impacto de avarias na produção.

## **3.9. Capacidade de produção do moinho**

### **3.9.1. Sem avarias ou paragens**

Quando o moinho está em pleno funcionamento e sem avarias, sua capacidade de produção é de 5000 toneladas de cimento por dia. Isso significa que o equipamento é capaz de processar e moer 5000 toneladas de clínquer e aditivos diariamente, produzindo o mesmo volume de cimento.

### **3.9.2. Com Avaria ou paragens**

Quando o moinho sofre uma avaria, a capacidade de produção é significativamente afetada. A extensão da redução na capacidade depende da natureza e da gravidade da avaria.

### **Exemplo de Cenários com Avaria:**

**Avaria Menor** (ex.: pequenos entupimentos):

### **3.9.3. Capacidade Reduzida**

O moinho pode operar a cerca de 70-80% de sua capacidade normal. Portanto, a produção diária pode cair para aproximadamente 3500 a 4000 toneladas de cimento.

### **3.9.4. Impacto na Qualidade**

A qualidade do cimento pode não ser afetada gravemente, mas pode haver variações na granulometria.

### **3.9.5. Avaria Significativa**

(ex.: falha grave no motor, problemas estruturais sérios):

### **3.9.6. Capacidade Reduzida**

A produção pode ser reduzida para 30-50% da capacidade normal, resultando em uma produção diária de aproximadamente 1500 a 2500 toneladas de cimento.

### **3.9.7. Impacto na Qualidade**

Pode haver comprometimento da qualidade do cimento, com possíveis problemas na consistência e propriedades do produto final.

## **CAPÍTULO 4: METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA**

Segundo Gil (2007), a pesquisa explicativa se preocupa em identificar os factores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenómenos, portanto, este tipo de pesquisa explica o porquê das coisas através dos resultados oferecidos. O estudo de caso visa conhecer em profundidade o como e o porquê de uma determinada situação que se supõe ser única em muitos aspectos. Sendo assim, o trabalho apresenta características de pesquisa explicativa.

Quanto à forma de abordagem da pesquisa será usada a pesquisa qualitativa pois serão analisadas as interpretações das informações de falhas do moinho.

De acordo com Creswell Soares (2019) a pesquisa qualitativa: se dá quando o pesquisador estuda os fenómenos em seus ambientes naturais, tentando interpretá-los a partir do modo como são vistos. Sendo assim, esse tipo de pesquisa envolve a coleta e utilização de uma série de materiais empíricos.

Para a recolha de dados, fez-se uma deslocação a empresa Dugongo Cimentos, a fim de verificar-se o estado do moinho. O moinho de produção de cimentos tem apresentado diversas falhas que comprometem a eficiência da operação.

### **4.1. Análise de falhas do Moinho**

Para o presente trabalho fez-se um estudo sobre as condições encontradas na empresa e no moinho de bola de produção de cimento. Dessa forma, elaborou-se um diagrama de Ishikawa, conhecido também como diagrama de causa e efeito, Espinha de Peixe, que permite estruturar hierarquicamente as causas, actuando como um guia para a identificação da causa fundamental e auxiliar na determinação de medidas preventivas que deverão ser adoptadas por meio do plano de acção.

# Diagrama de Ishikawa - Moinho



Figura 35: Diagrama de ISHIKAWA, (Fonte: Autor)



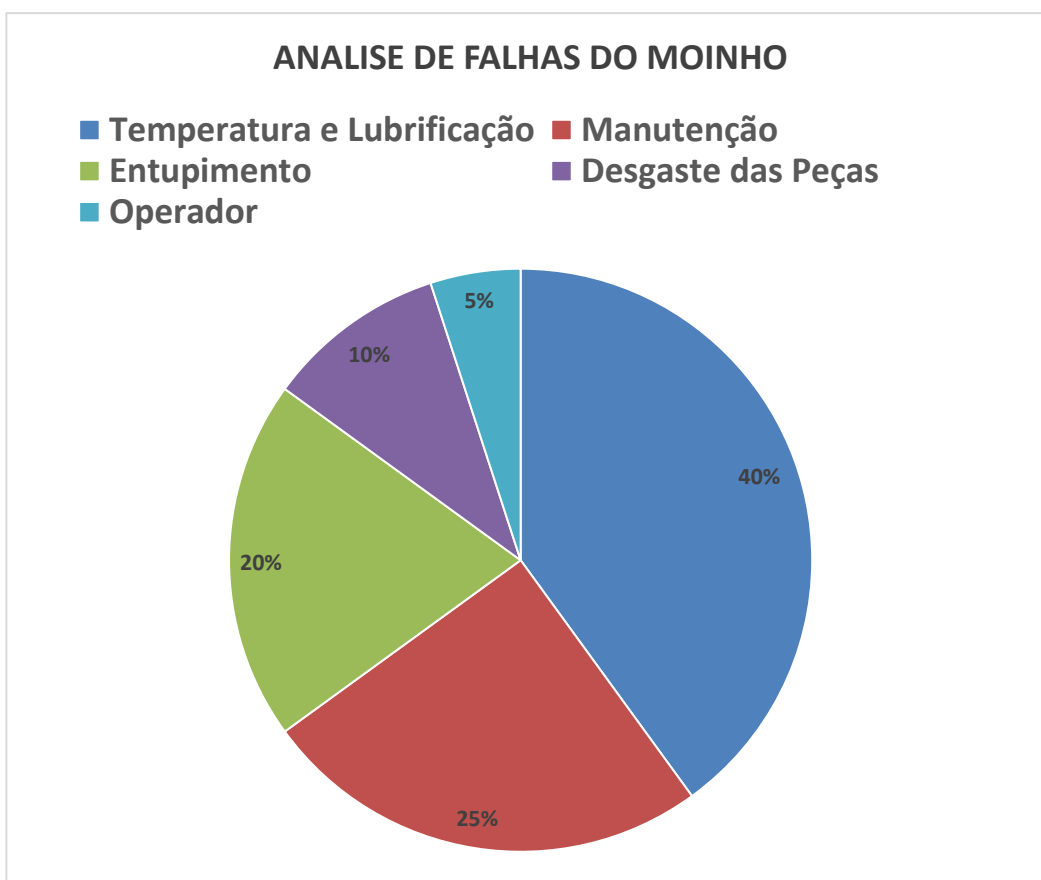
## **CAPÍTULO 5: APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

### **5.1. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Após analisar as falhas frequentes no moinho da empresa Dugongo, foram identificadas duas causas principais: a vida útil do moinho e a presença de pedaços de teflon no equipamento. O desgaste precoce, resultante da vida útil avançada do moinho, levou à falha na gaiola do rolamento e sua subsequente quebra. Além disso, a presença de material estranho, como pedaços de teflon, causava quebras ao atingir a placa do moinho. Essas causas resultaram em paradas frequentes, com duração de duas a quatro horas.

Para prevenir a reincidência dessas falhas e evitar futuras falhas inesperadas, foi elaborado um plano de acção. O plano inclui a troca do moinho, devido à sua vida útil avançada, e a melhoria nas análises de vibração e lubrificação. As análises de vibração serão realizadas mensalmente e a lubrificação do equipamento será feita a cada quinze dias. O gerente de projetos é responsável pela troca do moinho, enquanto o supervisor de manutenção cuidará das análises de vibração e da lubrificação.

A análise de falhas do moinho de produção de cimentos também revelou uma distribuição clara das causas de problemas, com base nas percentagens obtidas do histograma. Esta análise fornece uma visão crítica sobre as áreas que mais impactam a operação do moinho e ajuda a direcionar os esforços para a resolução de problemas de forma mais eficaz.



## 5.2. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise dos resultados revela que a principal causa das falhas e paragens do moinho está diretamente associada a temperatura e à lubrificação inadequada. A falta de lubrificação eficaz não apenas eleva a temperatura interna do equipamento, mas também contribui para o desgaste acelerado das suas partes móveis, resultando em falhas graves. Isso enfatiza a importância crucial da manutenção preventiva. Embora a manutenção corretiva seja essencial para resolver problemas após sua ocorrência, a manutenção preventiva se destaca como a prática fundamental para garantir o desempenho ótimo do moinho e prolongar sua vida útil. Portanto, um plano sistemático de manutenção preventiva deve ser implementado para prevenir aquecimentos excessivos e assegurar que o moinho opere dentro dos parâmetros ideais.

As estratégias de melhoria devem, portanto, focar nestas áreas, com ações específicas para melhorar o controle térmico e otimizar os processos de manutenção. Embora outras causas, como entupimentos e desgaste de peças, também sejam relevantes, uma abordagem direcionada às principais causas identificadas permitirá uma redução mais significativa nas falhas e um aumento na eficiência operacional do moinho.

### **5.3. Soluções Proposta**

#### **5.3.1. Modelo Proposto de Manutenção**

O plano de acção exequível para o moinho em questão é de carácter preventivo, ou seja, manutenção preventiva, conforme descrito no Capítulo 2 (Revisão de Bibliografia) consiste em um conjunto de acções planeadas e sistemáticas realizadas para evitar falhas e garantir o bom funcionamento dos equipamentos antes que ocorram problemas. Ela é baseada em inspeções regulares, ajustes e substituições de componentes com base em intervalos de tempo ou ciclos de operação determinados, com vista a obedecer as seguintes finalidades:

- ✓ Redução das falhas mecânicas e melhorar a confiabilidade do moinho;
- ✓ Identificar sinais de falhas antes que se agravem;
- ✓ Assegurar o uso de peças de qualidade;
- ✓ Melhorar a operação correcta do equipamento;
- ✓ Aprender com as falhas ocorridas.

#### **5.4. Plano de Manutenção Preventiva**

Indústrias de processo utilizam muitas máquinas e equipamentos. Essas máquinas e equipamentos são fundamentais para o desenrolar dos acontecimentos que culminam com uma produção bem-sucedida. Falhas dessas instalações podem ter as mais variáveis consequências. Em alguns casos, o prejuízo resultante não passa do custo de manutenção do equipamento, em outros pode chegar a comprometer a lucratividade da empresa devido a perdas de produção, acidentes e agressões ambientais. A empresa utiliza uma manutenção corretiva como já mencionado porém uma manutenção puramente corretiva não é mais suficiente no atual mercado competitivo, sendo necessário um grande e continuado esforço para aumento da confiabilidade e redução dos custos de manutenção de todos os equipamentos além disso uma manutenção corretiva exige maior agilidade da equipe de manutenção, pois é algo imprevisível, dessa forma gera vários transtornos para o setor, visto que o tempo de reparo deve ser muito rápido. Para Nascif e Dorigo (2013, p. 141) “o serviço não planejado é sempre mais caro, mais demorado e mais inseguro”. Portanto, adotar a manutenção preventiva é uma estratégia essencial para minimizar riscos e otimizar a operação industrial.

Para garantir a operação eficiente e contínua do moinho de bolas, minimizando falhas e paragens indesejadas, propõe-se a adoção de uma abordagem sistemática de manutenção preventiva. Este plano contempla atividades técnicas periódicas, com estimativas de tempo

necessárias para sua realização, de modo a permitir um planejamento adequado e evitar interrupções não programadas no processo produtivo.

### **Cálculo do tempo necessário para a manutenção:**

Com base na ficha técnica do moinho e nas condições operacionais atualmente observadas no equipamento, foram realizados os seguintes cálculos para estimar o tempo necessário à execução das atividades de manutenção preventiva.

- Velocidade de rotação: 14.7 rpm (rotações por minuto)
  - Capacidade de produção: 140 t/h
  - Temperatura operacional máxima: 120°C
  - Horas de operação diária: 24 horas
- Número de falhas anuais: 8 falhas/ano

Com base nisso, o cálculo da frequência de manutenção preventiva pode ser feito considerando a quantidade de tempo de operação do moinho.

### **Cálculo das horas de operação anuais**

A operação diária é de 24 horas, portanto, o total de horas de operação por ano é:

Horas anuais = 24h/dia x 365 dias/ano = 8.760 h/ano

O moinho em média falha 8 vezes por ano e as falhas estão distribuídas ao longo do ano, calculou-se a média de tempo entre falhas (MTBF - Mean Time Between Failures):

$$MTBF = \frac{\text{Horas anuais}}{\text{Número de falhas anuais}} = \frac{8.760h}{8} = 1.095h / \text{falhas}$$

Isso significa que, em média, o moinho falha a cada 1.095 horas de operação.

### **Definição da periodicidade**

Normalmente, a manutenção preventiva é realizada antes da falha.

Periodicidade de manutenção preventiva = 0,8 × MTBF = 0,8 x 1.095 h = 876 h

Ou seja, a manutenção preventiva seria realizada a cada 876 horas de operação.

Periodicidade (em meses) =  $\frac{876h}{(30 \text{ dias} \times 24 \text{ horas})} = 1,22 \text{ meses}$

Portanto, a manutenção preventiva ocorreria a cada aproximadamente 1,22 meses de operação em outras palavras 1 mês e aproximadamente 7 dias.

Com base nos dados obtidos durante a inspeção do moinho e na análise da sua ficha técnica, foi elaborada uma tabela de manutenção preventiva. Esta tabela apresenta as principais atividades a serem realizadas, a frequência com que devem ser executadas e o tempo estimado necessário para cada uma.

O objetivo é garantir que a manutenção seja feita de forma organizada e eficiente, evitando falhas inesperadas, prolongando a vida útil do equipamento e assegurando o funcionamento contínuo e seguro do moinho.

Atividade	Frequência	Descrição
Verificação diária	Diária	Verificar temperatura, nível de óleo e pressão de óleo
Inspeção e reposição de esferas	1,22 meses	Verificar o desgaste das esferas, substituir as que estiverem desgastadas ou danificadas
Inspeção e ajuste do sistema de lubrificação	Semanalmente	Verificar o sistema de lubrificação e garantir que esteja operando corretamente
Inspeção e lubrificação de rolamentos	1,22 meses	Inspecionar rolamentos quanto a ruídos ou sinais de desgaste e realizar lubrificação adequada
Verificação e aperto de parafusos e porcas	1,22 meses	Verificar todos os parafusos e porcas do moinho para garantir que estão bem apertados e sem sinais de corrosão.
Inspeção da carcaça do moinho	1,22 meses	Inspecionar a carcaça do moinho em busca de fissuras, desgastes ou danos.

Verificação do sistema de resfriamento	1,22 meses	Verificar o sistema de resfriamento para garantir a eficiência do moinho
Inspeção de vedações e juntas	1,22 meses	Inspeccionar vedações e juntas para garantir estanqueidade e evitar vazamentos de óleo
Inspeção de sensores e sistema de controle	1,22 meses	Verificar o sistema de controle e sensores (temperatura, pressão, etc.) para garantir leitura e operação adequadas

As atividades de inspeção e manutenção preventiva são essenciais para evitar falhas inesperadas e aumentar a vida útil do moinho.

#### 5.4.1. Documentação e Registro

**Registros de Manutenção:** Manter um registro detalhado de todas as atividades de manutenção, incluindo data, tipo de serviço realizado, peças substituídas e observações importantes.

#### 5.4.2. Treinamento da Equipe

**Treinamento Contínuo:** Fornecer treinamento regular para a equipe de manutenção sobre as melhores práticas, novas tecnologias e procedimentos específicos do moinho.

**Simulações de Falhas:** Realizar simulações e exercícios para preparar a equipe para lidar com falhas imprevistas e emergências.

#### 5.4.3. Avaliação e Revisão

**Monitoramento de Desempenho:** Avaliar o desempenho do plano de manutenção preventiva através de indicadores como tempo de inatividade, custos de manutenção e feedback da equipe.

**Revisão Periódica:** Revisar e atualizar o plano conforme necessário, com base em novos dados, mudanças nas condições operacionais ou feedback da equipe de manutenção.

Informações detalhadas estão disponíveis no Anexo A.

### **5.5. Formulários de Registro e Análise de Falha**

A empresa dispõe de um formulário para o funcionamento do moinho, onde são registrados diversos dados, como a temperatura e a quantidade de matéria-prima dentro do moinho. Este formulário é preenchido a cada 1 hora e está detalhado no Anexo B. No entanto, atualmente não há um registro específico para falhas e paradas do moinho.

Para complementar o controle e o monitoramento do funcionamento do moinho, é essencial implementar um formulário específico para o registro de falhas e paradas. Este novo formulário será utilizado para documentar todas as ocorrências de falhas, permitindo uma análise mais eficaz dos problemas.

Sempre que uma falha ocorre, deve ser cuidadosamente registrada no formulário. Isso permitirá uma análise detalhada para que o departamento de manutenção possa tomar ações corretivas adequadas. O objetivo é minimizar a probabilidade de recorrência da mesma falha e desenvolver um plano preventivo para evitar problemas futuros.

O formulário desenvolvido para a empresa foi adaptado para atender às necessidades específicas da análise de falhas no moinho de produção. O layout do formulário foi cuidadosamente planejado para facilitar o preenchimento e proporcionar ao responsável pela análise uma pré-avaliação detalhada da falha ocorrida.

Esse design tem como objetivo permitir, sempre que possível, a identificação da causa fundamental da falha já na etapa de coleta de dados.

#### **5.5.1. Benefícios do formulário da Análise De Falha**

**Facilidade de Preenchimento:** O formulário está estruturado para ser intuitivo e fácil de preencher, reduzindo o tempo necessário para a coleta de dados.

**Pré-Avaliação da Falha:** Permite uma análise preliminar da falha, ajudando a identificar rapidamente as possíveis causas.

**Identificação da Causa Fundamental:** Oferece uma abordagem sistemática para detectar a causa raiz da falha, melhorando a eficácia das ações corretivas e preventivas.

O formulário padrão está detalhado no Anexo C, e seu uso adequado é essencial para garantir uma análise eficaz das falhas ocorridas no moinho de produção.

### **5.5.2. Procedimento para Preenchimento da Análise De Falha**

Com o objetivo de facilitar o preenchimento do formulário de Análise de Falha, foi desenvolvido um procedimento organizacional que define os objetivos dessa metodologia. Para melhor compreensão e eficiência na aplicação, um fluxograma detalhado do processo de análise de falha foi criado no anexo E.

### **5.6. Fluxograma de Registro de Falhas**

Quando uma falha ocorre durante o processo de trabalho, é essencial seguir um procedimento estruturado para garantir que a situação seja tratada de forma eficaz e que a causa raiz seja identificada e corrigida. O fluxograma abaixo descreve as etapas a serem seguidas para o registro e resolução de falhas:

**1. Identificação da Falha:** O operário que estiver em atividade no momento em que a falha ocorre é responsável por emitir um aviso imediato ao departamento de manutenção. Este aviso deve ser claro e detalhado, fornecendo todas as informações relevantes sobre o incidente.

**2. Notificação ao Departamento de Manutenção:** Ao receber o aviso, o departamento de manutenção deve ser acionado para iniciar o processo de análise da falha. É importante que o departamento registre a falha de forma adequada e complete todas as informações no sistema de controle.

**3. Designação da Equipe de Análise:** O departamento de manutenção deve então definir e alocar uma equipe responsável pela análise detalhada da falha. Esta equipe pode incluir técnicos especializados e outros profissionais necessários para uma investigação completa.

**4. Análise da Falha:** A equipe designada deve conduzir uma investigação minuciosa para determinar a causa provável da falha. Isso envolve a revisão de registros, inspeções no local e qualquer outro procedimento necessário para identificar a origem do problema.

**5. Definição do Plano de Ação:** Com base nos resultados da análise, a equipe deve elaborar um plano de ação detalhado para corrigir a falha e prevenir ocorrências futuras.



Este plano deve incluir medidas corretivas e preventivas, bem como um cronograma para a implementação.

**6. Registro das Ações:** Todas as ações tomadas, desde a análise da falha até a implementação das medidas corretivas, devem ser devidamente registradas no mapa de controle. Esse registro deve incluir a descrição da falha, as medidas adotadas, o responsável por cada ação e a data de conclusão.

Este fluxo de trabalho garante que as falhas sejam tratadas de forma sistemática e eficiente, promovendo a melhoria contínua dos processos e a manutenção da qualidade e segurança no ambiente de trabalho.

### **5.6.1. Controle das Falhas e Gerenciamento do Banco de Falhas**

O controle das Análises de Falhas em andamento será feito através do preenchimento do Mapa de Controle de Ações das Análises de Falhas, com objetivo de acompanhar o desenvolvimento e implantação das ações de bloqueio propostas para cada falha e servir de relatório a ser apresentado à Diretoria industrial mostrando a evolução e o andamento das Análises de Falha realizadas pelo setor.

O Gerenciamento do banco de falhas contará com o Mapa de Controle de Ações das Análises de Falhas como fonte de pesquisa, ou seja, a Análise depois de encerrada permanecerá registrada no mapa de controle, porém com o status de concluída, assim quando for necessária alguma informação que conste em uma análise concluída, será efetuado um filtro ou pesquisa dentro do mapa de controle para localizar o número e o resumo das análises procuradas. Caso seja necessário saber mais detalhes sobre essa análise, ela estará armazenada em um diretório do Windows com nome Análise de Falha. O Mapa de Controle de Ações das Análises de Falhas os Formulários de Registro e Análise de Falha estão sendo inicialmente propostos como planilha do Microsoft Excel, devido à sua acessibilidade e flexibilidade. O Excel oferece uma plataforma intuitiva e amplamente conhecida que permite a criação e a personalização de tabelas e gráficos de forma relativamente simples, o que é ideal para o gerenciamento e a análise de dados relacionados a falhas.

## **CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

### **6.1. Conclusão**

A análise de falhas no moinho de produção de cimento revelou-se crucial para a otimização do processo produtivo e a minimização de paragens não programadas. Ao identificar os tipos de falhas mais frequentes, foi possível compreender as causas raiz que afetam a eficiência do equipamento. A implementação de práticas de manutenção recomendadas, alinhadas com as descobertas da análise, poderá não apenas reduzir significativamente as paralisações, mas também melhorar a confiabilidade operacional do moinho.

Assim, ao atender aos objetivos propostos, este trabalho contribui para um aumento na produtividade e na qualidade da produção de cimento, refletindo a importância de um gerenciamento eficiente das operações industriais. A continuidade na monitorização e na revisão das estratégias de manutenção será essencial para garantir que os resultados positivos sejam sustentados ao longo do tempo, promovendo um ambiente de produção mais robusto e resiliente.

### **6.2. Recomendações**

A partir do trabalho realizado recomenda-se após a implementação das ações corretivas, o processo deve ser monitorado para garantir que a falha foi efetivamente resolvida. O departamento de manutenção deve revisar o caso periodicamente para assegurar que a solução permaneça eficaz e que não haja reincidências.

### **6.3. Limitações da pesquisa**

Durante o desenvolvimento do trabalho, enfrentou-se algumas dificuldades significativas na obtenção de dados. Essas dificuldades nos levou a adaptar uma metodologia de pesquisa, explorando novas abordagens e utilizando diferentes técnicas de coleta de dados, como entrevistas e questionários.

### **6.4. Sugestões para futuros trabalhos**

No desenvolvimento deste projeto, identificou-se a necessidade de implementar melhorias no processo de gestão da manutenção da empresa. Essas melhorias são essenciais para maximizar os resultados obtidos a partir das análises de falhas.

Primeiramente, é importante revisar e otimizar os procedimentos de manutenção existentes. Isso garantirá que as informações coletadas nas análises sejam utilizadas de forma eficaz para identificar padrões e causas raiz das falhas.

Além disso, a capacitação da equipe de manutenção é fundamental. Investir em treinamentos e em tecnologias de monitoramento preditivo permitirá uma resposta mais ágil e eficiente às falhas.

Por fim, estabelecer indicadores de desempenho claros e um sistema de feedback contínuo permitirá que a empresa se adapte rapidamente às necessidades do mercado e a falhas recorrentes, resultando em uma gestão de manutenção mais proativa e eficaz

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSEN, B., FAGERHAUG, T. Root Cause Analysis: Simplified Tools and Techniques. ASQ Quality Press, 2nd edition, 2006.

ABNT NBR 5462 "Confiabilidade e Manutenibilidade" 19942.

AUSTIN, L.G. et al. Process Engineering of Size Reduction: Ball Milling. New York: Society of Mining Engineers, 1984.

P. F. Braga, J. A. Sampaio e S. C. França, "Tratamento de Minérios: Práticas laboratoriais," Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro, 2007

BRENO PASSAMAI E GUSTAVO CASTILHO, Nova metodologia de Análise de falha em empresa de Refrigerante 2007

FIGUEIRA, H. V. O.; ALMEIDA, S. L. M.; LUZ, A. B. Comunicação. In: LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M. Tratamento de minérios. 4ª Edição. Rio de Janeiro: CETEM-CNPq-MCT, 2004. Capítulo 4, páginas 113-194.

HERAVIZADEH, Mitra; MENDLING, Jan; ROSEMANN, Michael. Análise de Causa Raiz em Processos de Negócio 2008.

Métodos para Análise de Falhas Disponível em: <https://www.abecom.com.br/analise-de-falhas-ferramentas-e-tecnicas/>

METSO. Catálogo Nordberg Britadores de Mandíbulas Série C. Finlândia, 2011. 24p.

METSO. Manual de Britagem Metso. 6ª Edição. 2005. 501p.

NRBR 5462, Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade.1 edição 1994

OTANI, MACHADO, A Proposta De Desenvolvimento De Gestão Da Manutenção Industrial Na Busca Da Excelência Ou Classe Mundial 2008

KARDEC e NASCIF. Função Estratégica de Manutenção 2009

ROWLAND, C. A.; KJOS, D. M. Mineral Processing Plant Design, Ed A. Mular and R. Bhappu. New York, 1978.

WAEYENBERGH, G. CIBOCOF – A Framework for Industrial Maintenance Concept Development. Doctoral Thesis, Department of Applied Sciences, Catholic University of Louvain, Belgium. 2005

# **ANEXOS**

## ANEXO A: PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA

### PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Técnico Responsável: _____	REF. Máquina: _____
DATA: _____	Próxima Revisão: _____

Componente	Acção Preventiva	FREQ.	REALIZADO		Observações
			SIM	NAO	
Motor Eléctrico	Inspeccionar conexão eléctrica	Mensal			
	Verificar sinais de superaquecimento				
	Medir a corrente eléctrica				
Rolamentos	Lubrificação	Semanal			
	Inspeccionar o desgaste				
	Realizar análise de vibração e ruídos anormais				
Engrenagens	Inspeção visual quanto ao desgaste e desalinhamento	Mensal			
	Verificar o nível de lubrificação				
Correias de Transmissão	Inspeccionar quanto ao desgaste	Trimestral			
	Ajustar a tensão das correias				
Sistema de Refrigeração	Verificar o funcionamento do sistema	Trimestral			
	Limpeza dos filtros				
	Inspeccionar dutos e radiadores e verificar sinais de entupimento				
Camara de Moagem	Inspeccionar o revestimento da camara de moagem quanto ao desgaste	Trimestral			
	Verificar o estado das esferas de aço e substituir as que estiverem gastas				
	Inspeccionar o desgaste das placas internas				
Sistema de ventilação	Verificar o fluxo de ar no sistema de ventilação e limpar dutos	Trimestral			
	Inspeccionar filtros e ventiladores				
Acoplamentos	Inspeccionar alinhamentos e acoplamentos entre o motor e redutor	Trimestral			
	Verificar folgas e desgastes nos acoplamentos				
Sistema de lubrificação	Verificar o nível de óleo e a condição do óleo lubrificante	Mensal			
	Trocar óleo se necessário e inspeccionar possíveis vazamentos no sistema				

Assinatura do Chefe de Manutenção: \_\_\_\_\_ DATA: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

# ANEXO B: FORMULARIO DE FUNCIONAMENTO DO MOINHO DA EMPRESA

2024年Año 08 月Mês 25 日Dia

**公司 ("2") 水泥磨系统设备巡检记录**  
**Registro de inspeção do equipamento do sistema do moinho de cimento - MDC**

编号: MDCSN-04

Item	物料	入口温度	出口温度	磨煤机		主电机		减速机		主风机		收尘器												
				入口压力	出口压力	入口温度	出口温度	入口温度	出口温度	入口温度	出口温度	入口压力	出口压力											
4:00	130	110	123.0	41.2	45	50	60	7.9	37.6	30.5	41.6	5.8	34.0	34.3	4.4	6.2	3.8	3.5	3.8	4.2	5.0	23.5	42.3	
5:00	130	110	123.0	41.2	45	50	60	7.9	37.6	30.5	41.6	5.8	34.0	34.3	4.4	6.2	3.8	3.5	3.8	4.2	5.0	23.5	42.3	
6:00	130	110	123.0	41.2	45	50	60	7.9	37.6	30.5	41.6	5.8	34.0	34.3	4.4	6.2	3.8	3.5	3.8	4.2	5.0	23.5	42.3	
7:00	130	110	123.0	41.2	45	50	60	7.9	37.6	30.5	41.6	5.8	34.0	34.3	4.4	6.2	3.8	3.5	3.8	4.2	5.0	23.5	42.3	
8:00	130	110	123.0	41.2	45	50	60	7.9	37.6	30.5	41.6	5.8	34.0	34.3	4.4	6.2	3.8	3.5	3.8	4.2	5.0	23.5	42.3	
9:00																								
10:00																								
11:00																								
12:00																								
13:00																								
14:00																								
15:00																								
16:00																								
17:00																								
18:00																								
19:00																								
20:00																								
21:00																								
22:00																								

检查人 Verificador:


车间负责人 Pessoa encarregada do workshop:

## ANEXO C: ANALISE DAS FALHAS PAGINA 1

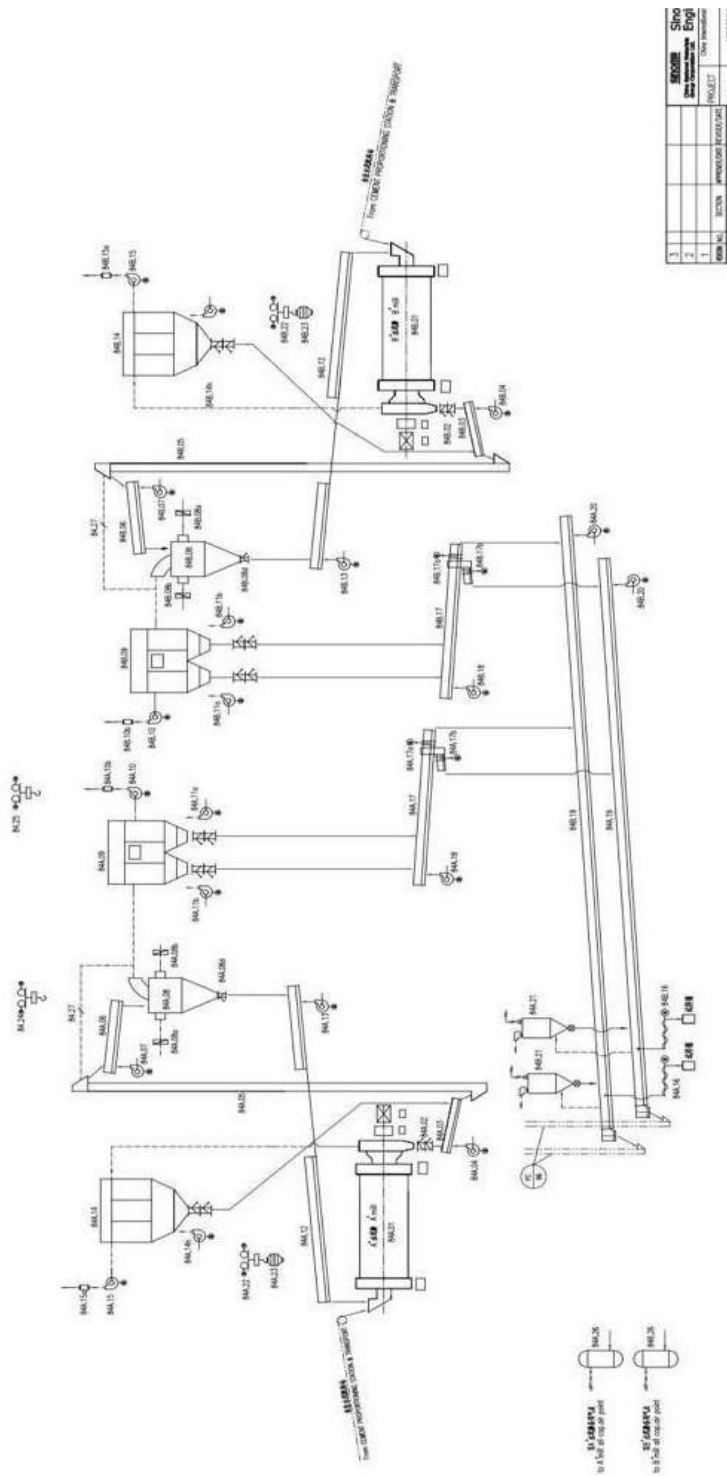
	ANÁLISE SIMPLIFICADA DE FALHA	Logomarca da Empresa
1. Quando a falha ocorreu?	2. Qual o motivo da falha?	
<input type="checkbox"/> Após manutenção <input type="checkbox"/> Após troca de ferramental <input type="checkbox"/> Após partida da máquina <input type="checkbox"/> Após teste <input type="checkbox"/> Durante operação	<input type="checkbox"/> Desgaste normal <input type="checkbox"/> Desgaste anormal <input type="checkbox"/> Sobrecarga no equipamento <input type="checkbox"/> Falha na operação <input type="checkbox"/> Falha na manutenção	<input type="checkbox"/> Falta de manutenção <input type="checkbox"/> Falta de lubrificação <input type="checkbox"/> Corrosão no equipamento <input type="checkbox"/> Falha de projeto <input type="checkbox"/> Falha de montagem
3. Como a falha ocorreu?		
4. Como Foi resolvido o problema?		
5. Porque a Falha ocorreu?		
6. Quais medidas evitariam que ela ocorresse novamente?		



ANEXO C: ANALISE DAS FALHAS PAGINA 2

	<b>REGISTRO E ANÁLISE DE FALHAS</b>	Logo da empresa
		Página 1/2
<b>NUMERO:</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>Nº. da O.S</b>
<b>Registro Fotográfico / Croquis / Desenhos</b>		
<b>Histórico do Equipamento</b>		
<b>Conclusão da Análise da Falha</b>		
<b>Objetivos / Resultados Alcançados / Replicação para outros equipamentos</b>		
<b>Padronização</b>		

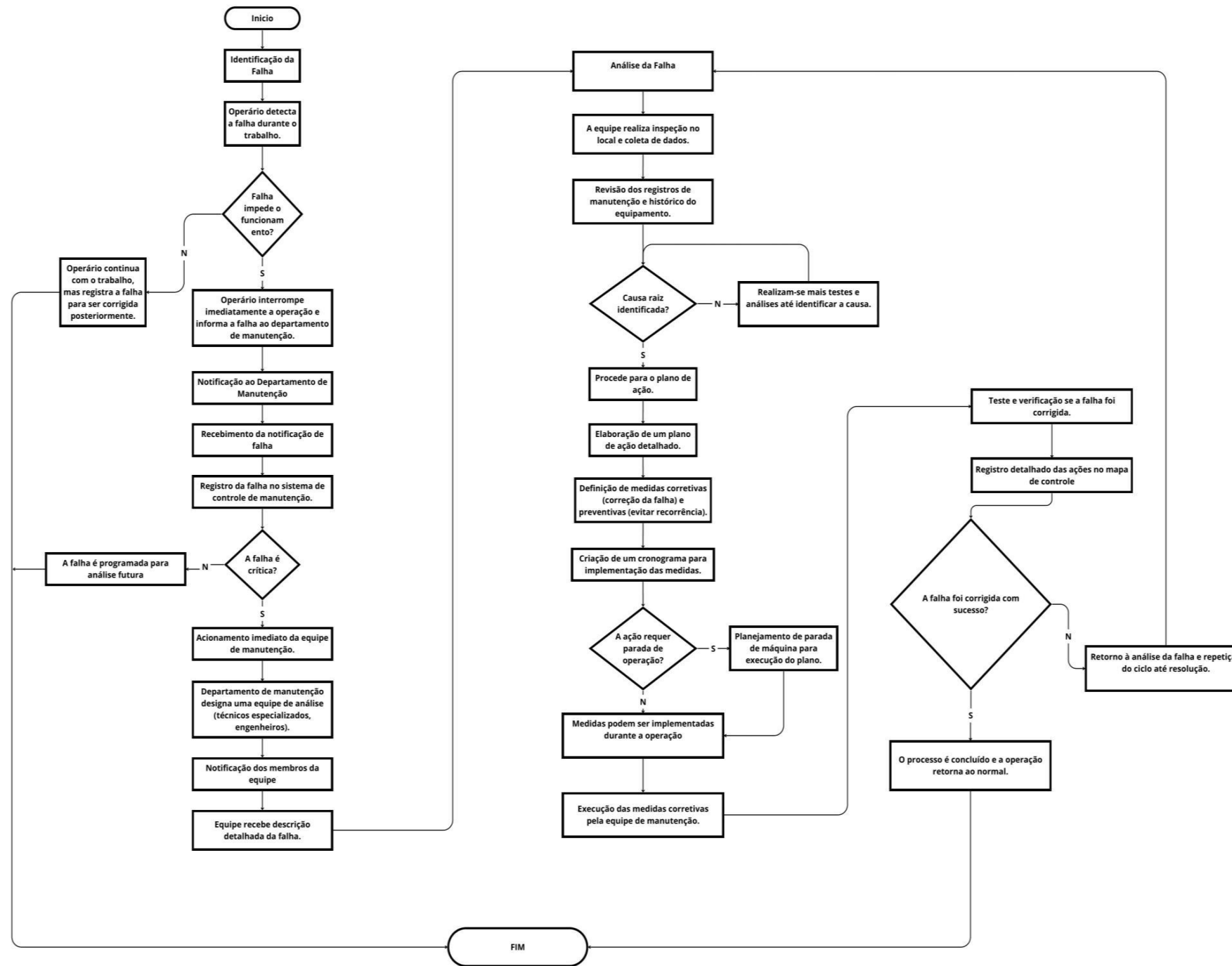
# ANEXO D: SISTEMA PRODUTIVO DO MOINHO




REV.	DATA	PROFESSOR	DISCIPLINA	FEELT	ASSINATURA
3					
2					
1					

ANEXO E: SISTEMA PRODUTIVO DO MOINHO

FLUXOGRAMA DE REGISTRO DE FALHAS



		中控室作业指导书 Instruções de Operação para Sala de Controle Central		版本 Edição Edition : A 参考 Referencia Reference : Q/ACC-ZK-C-01 日期 Data Date : 2020.12.01	
Transportador de correia de moagem integrado para estação de dosagem de cimento	DTII 槽型 B650x125235mm	Distância de transporte horizontal: 125235mm/135235mm Distância de transporte vertical: 10735mm/13435mm Material de transporte: lote de cimento Densidade aparente: ~1.45 t/m <sup>3</sup> Tamanho do material: 0~30 mm Capacidade de transporte: 150 t/h Velocidade da correia: 1.6m/s inclinação: 0° ~13° ~0° / 3.6081° transportador: EP-100 5 Chão Forma de tensão: tensão vertical Diâmetro da roda principal: ø630mm Diâmetro da roda traseira: ø500mm	modelo: Y200L-4 poder: 30kW	poder: 185kW	modelo: YR355M-6 poder: 185kW velocidade de rotação: 480r/min
Moinho de cimento	φ4.6×14.5m	Capacidade de produção: 140t/h (P042.5) Fineza do produto acabado: 320 m <sup>2</sup> /kg Tamanho de moagem: ≤25mm (80%) Velocidade de rotação do cilindro: 14.9r/min Carga do corpo de moagem: 330t Consumo de água de resfriamento de mancal de sapato: 2×3.5m <sup>3</sup> /h	Modelo de motor principal: YRKK1000-8 poder: 4800KW Velocidade de rotação: 745r/min Voltagem: 10000V	modelo: YR355M-4 poder: 185kW	modelo: YR355M-4 poder: 185kW
Coletor de poeira da bolsa de ventilação na fábrica	LPM9D-1590	Volume de ar: 80000m <sup>3</sup> /h Concentração de poeira de entrada: ≤200g/Nm <sup>3</sup> Concentração de poeira de saída: ≤30mg/Nm <sup>3</sup> Área de filtro: 1590 m <sup>2</sup> Especificações da bolsa de filtro: φ130×3400mm Número total de bolsas de filtro: 1152 Velocidade do vento do filtro: 0.84m/min Perda de pressão: 1200-1700Pa Temperatura do gás: <120°C Corpo sob pressão: 6000Pa			

## ANEXO F: FICHA TECNICA DO MOINHO