



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



VINÍCIUS AUGUSTO DA SILVA

**APLICAÇÃO DO TRATAMENTO DE FALHAS PARA A REDUÇÃO DE INTER-
VENÇÕES CORRETIVAS EM CORREIAS TRANSPORTADORAS: ESTUDO DE
CASO EM UMA EMPRESA DE MINERAÇÃO**

OURO PRETO - MG
2026

VINÍCIUS AUGUSTO DA SILVA

**APLICAÇÃO DO TRATAMENTO DE FALHAS PARA A REDUÇÃO DE INTER-
VENÇÕES CORRETIVAS EM CORREIAS TRANSPORTADORAS: ESTUDO DE
CASO EM UMA EMPRESA DE MINERAÇÃO**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto, como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Professor Orientador: DSc. Sávio Sade Tayer
Professor Coorientador: DSc. Washington Luís
Vieira da Silva.

OURO PRETO - MG

2026

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S586a Silva, Vinicius Augusto da.

Aplicação do tratamento de falhas para a redução de intervenções corretivas em correias transportadoras [manuscrito]: estudo de caso em uma empresa de mineração. / Vinicius Augusto da Silva. - 2026.
69 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Me. Sávio Sade Tayer.

Coorientador: Prof. Dr. Washington Luís Vieira da Silva.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Mecânica .

1. Planejamento e Controle da Manutenção (PCM). 2. Tolerância a falha (Engenharia). 3. Logística empresarial. 4. Correias transportadoras. I. Tayer, Sávio Sade. II. Silva, Washington Luís Vieira da. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 621

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



FOLHA DE APROVAÇÃO

Vinícius Augusto da Silva

Aplicação do tratamento de falhas para a redução de intervenções corretivas em correias transportadoras: Estudo de caso em uma empresa de mineração.

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de graduação

Aprovada em 16 de julho de 2026

Membros da banca

Msc Sávio Sade Tayer - UFOP

Dsc Washington Luís Vieira da Silva - UFOP

Dsc Diogo Antônio da Silva- UFOP

Sávio Sade Tayer, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 16/07/2026



Documento assinado eletronicamente por **Sávio Sade Tayer, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 28/07/2026, às 19:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1148861** e o código CRC **09F5CE3A**.

Dedico a Deus, minha família e a todos
que de alguma forma me apoiaram em
mais uma batalha vencida.

AGRADECIMENTOS

Sou grato a Deus por ter me concedido força, determinação e esperança para superar cada desafio ao longo dessa jornada.

Aos meus pais, Edson Roberto e Vanda Mara, que sempre foram minha base e inspiração constante para seguir em frente, mesmo diante das dificuldades.

À minha irmã, Thaís Vitória, por todo apoio, parceria e pelos ensinamentos sobre união e companheirismo. E ao meu padrasto, Edson Wander, por todo apoio e incentivo nos momentos mais importantes.

Expresso também minha gratidão à UFOP, instituição que contribuiu significativamente para minha formação pessoal e profissional.

Agradeço ao meu orientador, professor Sávio e ao professor Washington, pelo suporte, dedicação e por todo conhecimento compartilhado ao longo dessa trajetória.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte dessa conquista e acreditaram no meu potencial e nos meus sonhos.

“Não importa o quão lento você vá, desde que não pare”

Confúcio.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo aplicar o tratamento de falhas em um transportador de correia utilizado em uma empresa do setor mineral, visando à redução das intervenções corretivas. A fundamentação teórica contempla conceitos de manutenção e suas classificações, ferramentas de análise aplicadas à manutenção, bem como uma revisão sobre o processo de beneficiamento mineral e a importância dos transportadores de correia nas etapas produtivas. A pesquisa caracteriza-se como qualitativa, de natureza exploratória, sendo desenvolvida por meio de revisão bibliográfica e estudo de caso. Os transportadores de correia desempenham papel fundamental no transporte de minério de ferro ao longo do processo de beneficiamento, sendo ativos críticos para a continuidade operacional. Diante das variações nos parâmetros operacionais das usinas, associadas à necessidade de adaptação a diferentes cenários produtivos, torna-se essencial o aprimoramento das estratégias de manutenção, com foco na redução de falhas que dão origem a manutenções corretivas não programadas. A metodologia adotada foi estruturada em cinco etapas principais. Inicialmente, definiu-se a estratégia para desenvolvimento de ações mitigatórias. Na sequência, foram analisados os indicadores operacionais referentes ao período de novembro de 2024 a junho de 2025, possibilitando a identificação de cinco falhas recorrentes, sendo o principal modo de falha caracterizado como o rasgo de correias provocado por rochas com características lamelares. Na terceira etapa, realizou-se o levantamento de informações detalhadas sobre o equipamento e o sistema analisado, incluindo análise de planos de manutenção, registros operacionais e inspeções em campo. Posteriormente, os dados foram tratados por meio da aplicação do diagrama de Ishikawa e do método dos porquês, permitindo a identificação de três causas raízes: fragilidade na estratégia de aferição de britadores, alta energia de impacto do material sobre a correia transportadora e desgaste dos módulos de grelha no sistema de alimentação. Com base nessas causas, elaborou-se um plano de ação fundamentado na metodologia 5W1H, com a definição de contramedidas voltadas à revisão da estratégia de aferição de britadores, à diminuição de impacto e garantia de resistência estrutural da correia transportadora e ao restabelecimento e manutenção da eficiência funcional dos módulos de grelha do sistema de alimentação. As ações propostas tiveram como foco a mitigação dos impactos associados ao modo de falha identificado. A efetividade das medidas implementadas foi avaliada por meio da análise dos indicadores operacionais no período de junho a novembro de 2025, evidenciando a ausência de novos registros de falhas por rasgo de correia. Conclui-se que a aplicação integrada de ferramentas de análise de falhas e de metodologias estruturadas de gestão contribuiu para a implementação de contramedidas voltadas ao controle da regulação do britador dentro dos parâmetros ideais de operação, à redução do impacto do material sobre a correia transportadora e à garantia de sua resistência estrutural, bem como à adequação dos módulos da grelha de alimentação. Essas ações auxiliaram o controle do fluxo de material dentro da granulometria especificada, contribuindo para a redução de paradas não programadas decorrentes de rasgos na correia transportadora.

Palavras-chave: Planejamento e controle da manutenção; Tratamento de falhas; Plano de ação; Correia transportadora.

ABSTRACT

This study aims to apply a failure management approach to a belt conveyor used by a company in the mining sector, with the goal of reducing corrective maintenance interventions. The theoretical framework covers maintenance concepts and classifications, maintenance analysis tools, and a review of the mineral processing workflow and the importance of belt conveyors in production stages. The research is qualitative and exploratory in nature, conducted through a literature review and a case study. Belt conveyors play a fundamental role in transporting iron ore throughout the processing stage, serving as critical assets for operational continuity. Given the variations in plant operating parameters and the need to adapt to different production scenarios, it is essential to improve maintenance strategies, focusing on reducing failures that lead to unscheduled corrective maintenance. The adopted methodology was structured into five main stages. Initially, a strategy for developing mitigation actions was defined. Subsequently, operational indicators from November 2024 to June 2025 were analyzed, identifying five recurring failures; the primary failure mode was characterized as belt tearing caused by rocks with lamellar characteristics. In the third stage, detailed information regarding the equipment and the system under analysis was gathered, including a review of maintenance plans, operational records, and field inspections. Subsequently, the data were analyzed using the Ishikawa diagram and the "5 Whys" method, identifying three root causes: weaknesses in the crusher calibration strategy, high material impact energy on the conveyor belt, and wear on the feed system's grizzly modules. Based on these causes, an action plan was developed using the 5WHY methodology, defining countermeasures aimed at revising the crusher calibration strategy, reducing impact while ensuring the conveyor belt's structural integrity, and restoring and maintaining the functional efficiency of the feed system's grizzly modules. The proposed actions focused on mitigating the impacts associated with the identified failure mode. The effectiveness of the implemented measures was evaluated by analyzing operational indicators from June to November 2025, revealing no further instances of belt-tearing failures. It is concluded that the integrated application of failure analysis tools and structured management methodologies facilitated the implementation of countermeasures designed to control crusher settings within optimal operating parameters, reduce material impact on the conveyor belt while ensuring its structural integrity, and properly adjust the feed grizzly modules. These actions helped control material flow within specified particle size limits, contributing to a reduction in unscheduled downtime caused by conveyor belt tears.

Key-words: Maintenance planning and control; Troubleshooting; Action plan; Conveyor belt.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Conceito de disponibilidade física	25
Figura 2: Combinação dos modelos de falhas	27
Figura 3: Diagrama de Ishikawa.....	30
Figura 4: Fluxograma simplificado do beneficiamento de minério de ferro - Carajás.....	32
Figura 5: Britador cônico.....	33
Figura 6: Fluxograma das etapas aplicadas	35
Figura 7: G.A. dentro do organograma da empresa	38
Figura 8: Evolução da produção de mineral de ferro entre 2000 e 2011.....	39
Figura 9: Fluxograma de tratamento de minério	40
Figura 10: Transportador de correia operação.....	41
Figura 11: Transportador de correia	41
Figura 12: Representação de uma correia transportadora	43
Figura 13: Fluxograma do circuito fase seca de beneficiamento	44
Figura 14: NIC e HMC objeto de estudo.....	45
Figura 15: Falhas identificadas.....	46
Figura 16: Planos de manutenção	46
Figura 17: APF britador primário.....	47
Figura 18: Registros de medições APF britador.....	48
Figura 19: Taxa de alimentação do britador.....	49
Figura 20: Módulo de grelha danificado	50
Figura 21: Notas de manutenção vencidas	50
Figura 22: Diagrama de Ishikawa.....	53
Figura 23: NIC e HMC após aplicação de plano de ação.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Evolução da Manutenção.....	17
Tabela 2: Variáveis e Indicadores	36
Tabela 3: Método dos Porquês	54
Tabela 4: Plano de ação: Causa raiz 1	57
Tabela 5: Plano de ação: Causa raiz 2	59
Tabela 6: Plano de ação: Causa raiz 3	60
Tabela 7: Plano de ação: Ações de Melhoria	61

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Formulação do Problema	11
1.2 Justificativa	13
1.3 Objetivos	13
1.3.1 Objetivo Geral	13
1.3.2 Objetivos Específicos	13
1.4 Estrutura do Trabalho	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Histórico da Manutenção	15
2.1.1 Evolução da Manutenção	16
2.1.2 Manutenção no Brasil.....	18
2.2 Manutenção	19
2.2.1 Métodos de Manutenção	20
2.3 Indicadores de Manutenção	22
2.3.1 MTBF – <i>Mean Time Between Failures</i>	23
2.3.2 MTTR – <i>Mean Time To Repair</i>	24
2.3.3 TMPF – Tempo Médio para Falha	24
2.3.4 Disponibilidade Física da Maquinaria (DF).....	24
2.3.5 Custo de Manutenção por Faturamento	25
2.3.6 Custo de Manutenção por Valor de Reposição	25
2.3.7 Confiabilidade	26
2.3.8 Manutenibilidade.....	26
2.4 Curva da Banheira	27
2.5 Planejamento e Controle da Manutenção	28
2.6 Planos de Manutenção	28
2.7 Sistema de Tratamento de Falhas	29
2.8 5W1H.....	31
2.9 Beneficiamento Mineral.....	31
3 METODOLOGIA.....	34
3.1 Tipo de Pesquisa	34
3.2 Materiais e Métodos.....	35
3.3 Variáveis e Indicadores.....	36

3.4 Instrumento de Coleta de Dados	37
3.5 Tabulação dos Dados	37
3.6 Considerações Finais do Capítulo.....	37
4 RESULTADOS	38
4.1 Características do Setor de Estudos	38
4.2 Caracterização de transportadores de correia	41
4.3 Modos de Falhas em Transportadores de Correia	43
4.4 Análises e Diagnóstico de Falhas	44
4.4.1 Avaliação de Indicadores	45
4.4.2 Análise dos Planos de Manutenção	46
4.4.3 Verificação do Sistema de Britagem	47
4.4.4 Avaliação do Sistema de Transferência	51
4.5 Organização de Dados e Levantamento de Causas.....	52
4.5.1 Organização de Dados.....	52
4.5.2 Levantamento de Causas Raízes	54
4.6 Proposta de Plano de Ação	56
4.6.1 Plano de Ação: Causa Raiz 1	57
4.6.2 Plano de Ação: Causa Raiz 2	59
4.6.3 Plano de Ação: Causa Raiz 3	60
4.6.4 Plano de ação: Ações de Melhoria	61
4.7 Análise de Eficiência das Ações	62
5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	64
5.1 Conclusão.....	64
5.2 Recomendações	65
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	66

1 INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do Problema

Empresas do setor mineral vivem em uma constante expansão, trazendo consigo uma vasta gama de equipamentos, que envolvem robustez aliado a tecnologia. Os equipamentos aplicados no beneficiamento mineral estão intimamente ligados a grandes desafios que envolvem a manutenibilidade desses ativos em meio a ambientes tão agressivos. Para se manter competitivos no mercado, as empresas necessitam do máximo de disponibilidade de seus ativos, tornando a manutenção uma das mais importantes estratégias para o negócio.

As práticas de manutenção podem ser vistas como parte essencial da indústria. De acordo com a ABNT NBR 5462 (*apud* Xenos, 2014, p. 19), a manutenção pode ser definida como “a combinação de ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”, ou seja, é o conjunto de práticas adotadas para garantir o desempenho das funções projetadas para o equipamento, garantindo um nível operacional dentro dos parâmetros aceitáveis para a produção.

Diante desse cenário, evidencia-se a necessidade de promover a melhoria contínua da eficiência das atividades de manutenção. Em empresas que sobrevivem às constantes mudanças do setor, a equipe de manutenção deve sempre reagir de forma ágil, tendo em vista a conscientização cada vez maior sobre os impactos das falhas na segurança e no meio ambiente. Além disso, o trabalho da manutenção é estendido às relações entre as práticas de manutenção e a qualidade do produto, buscando sempre manter uma alta disponibilidade física e confiabilidade de ativos, em meio a uma constante luta por diminuição de custos operacionais (Kardec & Nascif, 2009).

Muitas empresas adotam o planejamento e controle da manutenção (PCM) como uma célula exclusiva que organiza e viabiliza as práticas de manutenção dando suporte para a manutenção e operação, como salienta Bueno (2020). Francisco, Góes e Souza *apud* Bueno (2020), reiteram que o PCM minimiza perdas para reduzir custos, além de aumentar a eficácia produtiva. Os planos de manutenção elaborados pelo PCM contemplam quais devem ser os ciclos de manutenção nos equipamentos, quais os procedimentos devem ser realizados durante a intervenção e quais as metas que devem ser atingidas com a atividade.

Diferentes métodos de manutenção são aplicados mediante aos diversos cenários que o setor de mineração pode apresentar. Várias são as formas de se classificar os métodos de manutenção, porém dois dos métodos mais comuns de se ouvir no cotidiano das empresas são manutenções corretivas e preventivas. As manutenções corretivas são realizadas após a ocorrência da

falha enquanto as técnicas de manutenções preventivas são aplicadas periodicamente, antes da parada do equipamento por falhas de componentes (Xenos, 1998).

As práticas de manutenção são aplicadas em diferentes setores da indústria de mineração, sendo mais representativas nas etapas de beneficiamento mineral devido à alta concentração de ativos na realização das operações unitárias envolvidas.

O processo de beneficiamento, muito comum na indústria mineral, é composto por uma série de operações unitárias que visam agregar valor de uma determinada matéria-prima através do aumento do teor de minerais importantes. O transporte mineral é uma etapa desse processo, sendo responsável pela movimentação do material entre as diferentes operações que compõem o beneficiamento. Essa movimentação pode ser realizada por equipamentos móveis, dutos ou transportadores de correia.

Os transportadores de correia são equipamentos destinados ao transporte contínuo de materiais a granel, operando de forma constante. Esses sistemas estão entre os mais utilizados pelas empresas mineradoras nos processos de transporte, sendo constituídos por uma estrutura robusta, com mecanismos que promovem o movimento por meio de uma correia contínua, com deslocamento reversível ou não, que se apoia sobre tambores, roletes e/ou mesas de deslizamento (ABNT NBR 6177, 2016).

Assim, a implantação de planos de manutenção eficazes e a melhoria de componentes são fundamentais para evitar paradas inesperadas na produção, as quais podem resultar em riscos à segurança, ao meio ambiente e aos resultados financeiros da empresa. A implementação de técnicas de manutenção preventiva, correções de falhas e de melhoria visa controlar o número de intervenções não programadas, proporcionando maior previsibilidade às atividades do setor, além de aumentar a disponibilidade física e a vida útil dos componentes de equipamentos críticos.

Foi realizado um estudo em uma planta de beneficiamento de minério de ferro, onde um transportador de correia, considerado crítico para o processo, foi analisado. Indicadores de manutenção foram avaliados em um intervalo de 12 meses, novembro de 2024 a novembro de 2025, buscando identificar ciclos de falhas e inconsistências no modelo de manutenção. Um plano de ação foi elaborado, buscando diminuir o número de paradas não programadas.

Desta forma, diante do contexto, tem-se a seguinte problemática:

De que forma a aplicação do tratamento de falhas pode contribuir para a redução dos impactos de paradas não programadas em correias transportadoras de uma empresa de mineração?

1.2 Justificativa

De acordo com Xenos (1998), grande parte das falhas nos equipamentos, decai sobre deficiências nas ações preventivas. As falhas geradas por métodos de manutenção preventiva ineficazes podem implicar negativamente na qualidade intrínseca, custo e entregas de produtos e serviços, além de oferecer riscos à segurança e moral das pessoas.

Para eliminar de forma definitiva as falhas em equipamentos, segundo Xenos (1998), é necessário realizar a identificação das causas fundamentais, o que possibilita a adoção de contramedidas para eliminá-las e evitar sua recorrência.

Segundo Almeida (2014), a implantação da manutenção preventiva traz equilíbrio na utilização de recursos humanos; Eliminação de tempos de espera para compras de peças; Confiabilidade de prazos no sistema de produção; Satisfação do cliente; Gestão ambiental eficiente.

De acordo com Chaves (2012), os transportadores de correia são os equipamentos de transporte contínuo mais bem-sucedidos e mais importantes em termos de tonelagem transportada, sendo amplamente utilizados na mineração e na indústria metalúrgica para a movimentação de grandes volumes de material.

A busca por maior estabilidade produtiva, a partir da previsibilidade de intervenções, e por competitividade de mercado, atrelada ao controle dos custos envolvidos em paradas, justifica a aplicação de uma análise de falhas com ações que resultem em uma operação mais eficiente no transporte de minério por transportadores de correia, visando à melhoria contínua do processo de manutenção.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Aplicar tratamento de falhas com foco na redução de paradas não programadas em transportador de correia de uma planta de beneficiamento mineral.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar um estudo teórico sobre manutenção, gestão da manutenção, planejamento e controle da manutenção, análise e tratamento de falhas;

- Analisar indicadores e falhas em sistema de transporte mineral por correia transportadora;
- Elaborar um plano de ação, de forma a diminuir o número de paradas não programadas.

1.4 Estrutura do Trabalho

Este trabalho será dividido em cinco capítulos, os quais seguem as normas da ABNT e os padrões para realização de trabalhos científicos, cuja estrutura é apresentada a seguir:

No primeiro capítulo é apresentada a formulação do problema, a justificativa para a realização do trabalho e seus objetivos, geral e específicos.

Em seguida, o segundo capítulo apresenta a fundamentação teórica dos conceitos e teorias a respeito da manutenção, apresentando diferentes métodos, formas de aplicação e conceitos por trás do planejamento e controle da manutenção.

O capítulo três apresenta o processo metodológico adotado para execução e sustentação da pesquisa, apresentando propostas para a possível solução do problema, levantado no primeiro capítulo.

Já o quarto capítulo relata as discussões e resultados obtidos a partir da coleta dos indicadores segundo a base teórica apresentada e a aplicação da metodologia empregada.

O quinto e último capítulo deste trabalho apresenta a conclusão e considerações finais relacionadas ao assunto tratado, além das recomendações decorrentes do estudo realizado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentado a base teórica que fundamentou o estudo para a realização deste trabalho, assim como conceitos importantes sobre manutenção industrial que serão citados ao longo do desenvolvimento da pesquisa e resultados relacionados ao tema de trabalho.

2.1 Histórico da Manutenção

A revolução industrial, datada na segunda metade do século XVIII, foi marcada pela criação e aperfeiçoamento de máquinas e equipamentos utilizados nos processos de produção, de acordo com Júnior (2019), onde uma das principais evoluções da época foi a implantação da energia a vapor como força motriz na automatização de processos anteriormente manuais. A partir daí novas indústrias foram sendo implantadas, ocasionando um forte crescimento fabril para a época, alavancando o setor industrial metal-mecânica, momento que marcou a transição dos métodos de produção artesanais para processos de produção organizada (Júnior, 2019).

Segundo Viana (2002), a manutenção industrial surgiu efetivamente anos mais cedo, no século XVI, com a aparição dos primeiros teares mecânicos. Neste período o fabricante do maquinário treinava os novos operários para as funções de operar e manter o equipamento, deixando de contratar mão de obra específica para as atividades de manutenção (Viana, 2002).

Durante este período, segundo Filho *apud* Júnior (2019), não existiam turmas encarregadas para a realização de reparos. As atividades eram voltadas a trocas de partes e lubrificação. As falhas consideradas graves e que não competiam ao conhecimento dos operadores eram sanadas mediante a presença do fabricante, que ia até à fábrica para efetuar a troca de peças e aconselhar os colaboradores sobre a prevenção de falhas pontuais (Filho *apud* Júnior, 2019).

Por volta de 1900, segundo Viana (2002), surgiram as primeiras técnicas de planejamento dos serviços de manutenção, Taylor e Fayol, e em seguida o gráfico de Gantt. Porém foi na Segunda Guerra Mundial que a manutenção se colocou como necessária, foi neste momento que obtivemos um grande salto no desenvolvimento de técnicas de organização, planejamento e controle para idealizar as tomadas de decisões dentro do setor industrial. Segundo Monchy *apud* Viana (2002, p.2), “manutenção decorre de um vocábulo militar, que nas unidades de combate significava conservar os homens e seus materiais em um nível constante de operação”. O surgimento efetivo do termo manutenção como sendo a função de manter em bom funcionamento todo e qualquer equipamento, ferramenta ou dispositivo, já veio mais tarde, na década de 1950 nos EUA e também na Europa, onde começou a ganhar espaço nos meios produtivos (Viana, 2002).

2.1.1 Evolução da Manutenção

A evolução da manutenção ocorreu em resposta à necessidade das organizações de aumentar sua lucratividade e tornar seus produtos e serviços mais competitivos e atrativos no mercado (Araújo & Santos *apud* Bueno, 2020).

Segundo Araújo & Santos *apud* Bueno (2020) a premissa fundamental decorrente da crescente importância atribuída à manutenção é que não basta apenas investir na implantação de um sistema produtivo, é essencial assegurar que esse sistema opere o maior tempo possível em condições próximas à sua capacidade máxima de produção, ao mesmo tempo em que se buscam a maximização de sua vida útil e a otimização dos custos operacionais.

Já Viana (2002), conclui que o aperfeiçoamento dos métodos de conservação e extração máxima tem total influência nos aspectos do produto final. Ainda salienta que, a manutenção não pode se limitar a apenas a correção dos problemas, mas a deve perseguir uma melhoria constante com foco no aproveitamento máximo dos equipamentos utilizados na produção com o objetivo de zerar a taxa de defeitos.

Nas últimas décadas a manutenção passou por grandes mudanças, segundo Kardec e Nascif (2009), essas mudanças são consequência de fatores como o aumento do número e diversidade dos itens que devem ser mantidos, projetos mais complexos, novas técnicas de manutenção, novos enfoques sobre sua organização e suas responsabilidades, importâncias da manutenção como função estratégica para melhoria do resultado e aumento da competitividade, entre outros. Eles dividem ainda, a partir da década de 1930, a manutenção em quatro gerações distintas.

A primeira geração descrita por Kardec & Nascif (2009), é compreendida pelo período que antecede a Segunda Guerra Mundial, onde a indústria era pouco mecanizada, com equipamentos simples e, muitas vezes, superdimensionados. Nesse período a produtividade não era prioritária e os serviços de manutenção eram limitados à limpeza, lubrificação e reparos após a quebra, caracterizando uma manutenção corretiva não planejada (Kardec & Nascif, 2009).

De acordo com Kardec e Nascif (2009), a segunda geração foi delimitada entre os anos 50 e 70 do século passado, sucedendo a Segunda Guerra Mundial, onde nesse período houve um grande aumento pela procura de produtos de naturezas distintas, em contramão a uma sensível diminuição da mão de obra disponível. Nesse momento, como salientam Kardec e Nascif (2009), ocorreu um aumento na mecanização de processos além da complexidade de suas instalações, tendo como marco nesse período a busca por uma maior produtividade, aumentando a disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos envolvidos nos processos. A busca pelo

bom funcionamento dos equipamentos levou a ideia de que as falhas deveriam ser evitadas, resultando no conceito de manutenção preventiva (Kardec & Nascif, 2009).

A terceira geração teve início na década de 70, momento onde foi acelerado o processo de mudanças industriais, segundo Kardec e Nascif (2009), o aumento na automação e mecanização dos processos produtivos implicaram em uma necessidade de maior confiabilidade e disponibilidade de equipamentos, tendo em vista a introdução do tema just-in-time aos processos produtivos, a nível mundial. A segurança e o meio ambiente ganharam maior visibilidade, mediante ao crescimento industrial, limitando o processo aos padrões estabelecidos (Kardec & Nascif, 2009).

Contudo, foram reforçados o conceito de manutenção preditiva e o desenvolvimento de *softwares* que permitiram melhor planejamento, controle e acompanhamento dos serviços de manutenção, onde o conceito de confiabilidade ganhou uma maior visibilidade, porém a falta de interação entre as áreas de engenharia, manutenção e operação engessavam os resultados, impedindo o alcance de níveis mais elevados da manutenção (Kardec & Nascif, 2009).

Na quarta geração temos a consolidação das atividades de Engenharia da Manutenção, tendo a disponibilidade, confiabilidade e manutenibilidade como as três maiores justificativas de sua existência, como salienta Kardec e Nascif (2009), a busca por melhores performances dos equipamentos e da empresa consagrou as práticas de análise de falhas como uma das principais metodologias para se obter sucesso nos processos. As práticas da manutenção preditivas são cada vez mais difundidas, com o objetivo de reduzir cada vez mais o número de intervenções na planta, tendo uma diminuição do número de manutenções preventivas, assim como o número intervenções corretivas que se torna um indicador da ineficácia da manutenção (Kardec & Nascif, 2009).

Para garantir as metas, empresas privilegiam a interação entre as áreas de engenharia, manutenção e operação e também trouxeram mudanças no aprimoramento da contratação ou da terceirização, buscando parcerias com contratos de longo prazo e aplicando indicadores que medem os resultados que descrevem o negócio (Kardec & Nascif, 2009).

A Tabela 1 como demonstra abaixo, apresenta um resumo da divisão das quatro gerações da manutenção (Kardec & Nascif, 2009).

Tabela 1: Evolução da Manutenção

EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO								
	Primeira Geração	Segunda Geração	Terceira Geração	Quarta Geração				
Ano								
	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010

Aumento das expectativas em relação à Manutenção	. Conserto após falha	. Disponibilidade crescente . Maior vida útil do equipamento	. Maior confiabilidade . Maior disponibilidade . Melhor relação custo-benefício . Preservação do meio ambiente	. Maior confiabilidade . Maior disponibilidade . Preservação do meio ambiente . Segurança . Influir nos resultados do negócio . Gerenciar os ativos
Visão quanto à falha do	. Todos os equipamentos se desgastam com a idade e, por isso, falham	. Todos os equipamentos se comportam de acordo com a curva da banheira	. Existência de 6 padrões de falhas	. Reduzir drasticamente falhas prematuras
Mudança nas técnicas de Manutenção	. Habilidades voltadas para o reparo	. Planejamento manual da manutenção . Computadores grandes e lentos . Manutenção Preventiva (por tempo)	. Monitoramento da condição . Manutenção preditiva . Análise de risco . Computadores pequenos e rápidos . Softwares potentes . Grupos de trabalho multidisciplinares . Projetos voltados para a confiabilidade . Contratação por mão de obra e serviços	. Aumento da Manutenção Preditiva e Monitoramento da Condição . Minimização nas Manutenções Preventiva e Corretiva não Planejada . Análise de Falhas . Técnicas de confiabilidade . Manutenibilidade . Engenharia de Manutenção . Projetos voltados para confiabilidade, manutenibilidade e Custo do Ciclo de Vida . Contratação por resultados

Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif (2009).

2.1.2 Manutenção no Brasil

De acordo com Bueno (2020), no início de seu desenvolvimento industrial, o Brasil apresentava baixa qualidade e produtividade industrial, além da baixa taxa de utilização e custos

elevados de operação e produção, tudo isso refletia em um nível quase inexistente de organização na manutenção.

Contudo, através do amadurecimento industrial e a necessidade de sobrevivência, adquiridos com o tempo, o país viu se tornar necessário uma reestruturação do setor, com enfoque nas questões organizacionais da manutenção industrial, fazendo com que, hoje, tenhamos ainda um maior esforço voltado nesse sentido, frisando a importância da manutenção dentro do processo produtivo (Bueno, 2020).

Viana (2002) salienta que, no Brasil, o processo de abertura dos portos na década de 1990, obrigou a indústria nacional a buscar por qualidade total em seus produtos e também serviços, somando-se ainda a busca por melhores custos operacionais que pudessem garantir a competitividade com o mercado internacional que chegava de forma mais volumosa no território brasileiro.

Segundo Seleme (2015), apesar dos esforços aplicados a manutenção de equipamentos, ela é tida, ainda, como um grande desafio em razão de diversos fatores, como: custo, tamanho, complexidade, qualidade e concorrência. Uma grande quantidade de recursos financeiros e humanos são gastos anualmente, segundo a Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos – Abramam *apud* Seleme (2015), é gasto no Brasil, pelas empresas em manutenção, aproximadamente 4,69% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional, correspondente a R\$ 206,5 bilhões em 2013.

2.2 Manutenção

Segundo Tavares (1999), a manutenção é tida como uma técnica de conservação de equipamentos e componentes em serviço pelo maior prazo com um máximo de rendimento possível. Para ele a manutenção efetiva deve ser considerada como parte integral e indispensável da organização, cuja função é fornecer recursos para o exercício de uma operação e produção sem ocorrência de interrupções oriundas de quebra ou falha de equipamentos. Dessa maneira, Xenos (1998), reitera que a manutenção é fazer o necessário para garantir que um equipamento desempenhe as funções de projeto, em um nível exigido pela operação.

Para garantir a padronização do significado do termo manutenção, em âmbito nacional, a ABNT NBR 5462 (*apud* Xenos, 2014, p. 19), define a manutenção como “a combinação de ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”. ou seja, é o conjunto

de práticas adotadas para garantir o desempenho das funções projetadas para o equipamento, garantindo um nível operacional dentro dos parâmetros aceitáveis para a produção.

2.2.1 Métodos de Manutenção

As formas de execução das intervenções nos equipamentos, sistemas ou instalações caracterizam os métodos de manutenção. Podem existir diferentes classificações mediante a cada tipo de manutenção. Neste trabalho, serão abordados três tipos, considerados como os principais métodos por vários autores, são eles: manutenção corretiva, manutenção preventiva e manutenção preditiva.

2.2.2.1 Manutenção corretiva

De acordo com a ABNT NBR 5462 (1994, *apud* Viana, 2002, p. 9), a manutenção corretiva é a “manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a colocar um item em condições de executar uma função requerida”. Por sua vez, Viana (2002) define a manutenção como sendo uma intervenção necessária e emergencial para evitar graves consequências na produção, segurança e meio ambiente, tendo como características principal a aleatoriedade, sem definições anteriores.

Tavares (1999) se refere a manutenção corretiva não planejada como sendo reativa, considerando esse o primeiro estágio da prática de manutenção, onde a ação se contém apenas em reagir aos acontecimentos que são ditados pelos próprios equipamentos, em que exista inovação ou melhorias no processo.

Kardec e Nascif (2009) trabalham a manutenção corretiva como uma correção de falhas aleatórias com caracterização pautada em fatos já ocorridos, que implicam em uma falha ou baixa de desempenho, ressaltando essa prática como de alto custo, pois acarreta diretamente em perdas de produção, qualidade e aumento de custos indiretos que envolvem a prática de manutenção.

A manutenção corretiva planejada é compreendida por Tavares (1999), como uma correção realizada em função de um acompanhamento preditivo, detectivo ou gerencial. O método planejado é considerado mais barato que a forma não planejada, pois tende a ser mais seguro e rápido.

Segundo Kardec e Nascif (2009), a manutenção corretiva planejada é a correção da perda de desempenho do equipamento ou a sua falha por decisão gerencial. Kardec e Nascif

(2009), reiteram as considerações de Tavares (1999) sobre o método de manutenção corretiva planejada, destacando o custo mais atraente para o negócio, a velocidade e a segurança adicionando a qualidade, como sendo superior a intervenção não programada.

Xenos (1998) ressalta que mesmo em situações onde a manutenção corretiva seja eleita como mais vantajosa ao processo produtivo, não se pode conformar com tal prática, então se faz necessário a busca pelas causas fundamentais da falha para bloqueá-las, evitando sua reincidência.

2.2.1.2 Manutenção preventiva

Viana (2002, p.10) define a manutenção preventiva como todo serviço de manutenção realizado em máquinas que não estejam em falha, estando com isto em condições operacionais ou em estado de zero defeito. As práticas adotadas dentro da manutenção preventiva visam reduzir a probabilidade de que as falhas ocorram com serviços realizados dentro de intervalos predeterminados ou de acordo com critérios prescritos (Viana, 2002).

Diferente da manutenção corretiva, a manutenção preventiva objetiva evitar a ocorrência de falhas, através de planos elaborados em função do tempo, como salientam Kardec e Nascimento (2009), apontando alguns fatores que devem ser levados em conta na adoção de uma política de manutenção preventiva, como: a falta de possibilidade de adoção da manutenção preditiva; Aspectos relacionados à segurança exigem intervenções controladas; Oportunidade em equipamentos críticos de difícil liberação operacional; Riscos ao meio ambiente; Sistemas complexos e/ou de operação contínua.

Para Xenos (1998), a manutenção preventiva, deve ser a atividade principal de manutenção em qualquer empresa, sendo o coração das práticas de manutenção. Quando comparada a manutenção corretiva, a intervenção preventiva se mostra mais cara do ponto de vista da manutenção, por envolver troca e reforma de componentes antes do fim de seus limites de vida, mas quando com a implantação de uma rotina de manutenção periódica, as falhas tendem a diminuir, a disponibilidade dos equipamentos aumenta e as interrupções no processo decaem, influenciando diretamente no custo total, que tende a ser menor do que o custo onde ocorre o método de manutenção corretiva (Xenos, 1998).

2.2.1.3 Manutenção preditiva

As manutenções preditivas são atividades da manutenção preventiva que objetivam o acompanhamento do equipamento ou componentes, através de monitoramento, seja por medições ou controle estatístico, como salienta Viana (2002), esse acompanhamento tem o intuito de prever o momento próximo a ocorrência da falha, evitando paradas para inspeções preventivas e otimiza a utilização de peças e componentes mecânicos.

Viana (2002) destaca ainda quatro técnicas preditivas, bastante usadas nas indústrias, que são: análise de vibrações mecânicas que visa coletar dados sobre a vibração do equipamento em relação ao tempo, servindo como orientação sobre o estado funcional de componentes; ensaio por ultrassom caracterizado por ser um método não destrutivo que visa detectar defeitos ou descontinuidades internas dos equipamentos; análise de óleos lubrificantes que tem como objetivos a determinação do momento de troca do lubrificante e identificação de desgaste de componentes; termografia que é caracterizada como ensaio não destrutivo que permite o monitoramento de pontos ou superfícies aquecidas por meio da radiação infravermelha.

Para adotar o método de manutenção preditiva Kardec e Nascif (2009), destacam algumas condições básicas a serem observadas: o equipamento, sistema ou instalação deve ser passível à prática de monitoramento/medição e deve justificar os custos que envolvem a prática; as falhas devem ser passíveis a monitoramento além de ser possível seu acompanhamento em decorrer do tempo; deve ser implantado um programa de acompanhamento, análise e diagnóstico, sistematizado.

Segundo Tavares (1999), a prática de intervenção, originada de acompanhamento preditivo, é denominada como manutenção corretiva planejada. Ele destaca ainda que esse tipo de manutenção é conhecido como manutenção baseada na condição, fazendo com que equipamentos operem por mais tempo e a intervenção ocorra com base em dados e não em suposições.

2.3 Indicadores de Manutenção

Na gestão de máquinas e equipamentos é importante realizar o acompanhamento de indicadores da manutenção ou índices de manutenção que são utilizados como uma forma de visualizar o desempenho de um equipamento, sistema ou instalação, explorando as características de disponibilidade e custos gerais. De acordo com Silveira *apud* Bueno (2020, p.65):

O termo utilizado para os indicadores de performance (desempenho) da manutenção em uma fábrica é denominado KPI (Key Performance Indicators, ou simplesmente, Indicadores de Performance na tradução). As KPIs podem mensurar diferentes performances abrangendo desde o tempo de parada das máquinas até o processo produtivo. Atualmente os *softwares* instalados em muitas fábricas podem oferecer algumas dezenas de

KPIs, mas é preciso ter atenção a aquelas que realmente agregam valor.

Dessa forma, Bueno (2020), salienta que os indicadores de manutenção são ferramentas de gestão responsáveis pelo fornecimento de dados e informações significativas para: Consolidação de resultados operacionais; Controle de estoques; Divisão das práticas de manutenção em relação a modalidade aplicada pela empresa; Treinamentos e capacitações; Estipulação de tempos de parada de manutenção; Planejamento e controle das atividades do setor de manutenção.

Viana (2002) lista seis indicadores de manutenção como sendo os “Índices de Classe Mundial” devido a adesão dos indicadores por grande parte dos países ocidentais, esses indicadores são:

- I - MTBF – *Mean Time Between Failures*, no Brasil conhecido como TMEF – Tempo Médio Entre Falhas.
- II - MTTR – *Mean Time To Repair*, ou TMR – Tempo Médio de Reparo.
- III - TMPF – Tempo Médio para Falha.
- IV - Disponibilidade Física da Maquinaria.
- V - Custo de Manutenção por Faturamento.
- VI - Custo de Manutenção por Valor de Reposição.

Além dos indicadores, apontados por Viana (2002), outros dois indicadores são importantes para compreensão do trabalho desenvolvido, que são: Confiabilidade e Manutenibilidade.

2.3.1 MTBF – *Mean Time Between Failures*

O MTBF conhecido no Brasil como Tempo Médio Entre Falhas (TMEF) é definido por Viana (2002), como a divisão da soma das horas disponíveis do equipamento para a operação, pelo número de intervenções corretivas neste equipamento no período, conforme observado na Equação 1:

$$MTBF = \frac{\text{Horas Disponíveis para Operação}}{\text{Número de Intervenções Corretivas}} \quad (1)$$

Onde:

MTBF = Tempo Médio Entre Falhas;

Tempo Total de Operação = período em que o equipamento permaneceu operando;

Número de Falhas = quantidade de falhas ocorridas no período analisado.

Se o valor de MTBF aumentar com o tempo, é um sinal positivo para a manutenção, pois indica que o número de intervenções corretivas vem diminuindo, e consequentemente o total de

horas disponíveis para a operação, aumentando (Viana, 2002).

2.3.2 MTTR – *Mean Time To Repair*

O MTTR traduzido para o português como Tempo Médio para Reparo (TMPR), segundo Viana (2002), é definido como a divisão entre a soma das horas de indisponibilidade para a operação devido à manutenção, pelo número de intervenções corretivas no período, conforme Equação 2:

$$MTTR = \frac{\text{Tempo Total de Reparo}}{\text{Número de Intervenções Corretivas}} \quad (2)$$

Onde:

MTTR = Tempo Médio para Reparo;

Tempo Total de Reparo = soma do tempo gasto nas intervenções corretivas;

Número de Intervenções Corretivas = quantidade de falhas reparadas no período.

Se o MTTR diminuir com o tempo, é um sinal positivo para a manutenção, pois significa que os reparos corretivos são cada vez menos impactantes na produção (Viana, 2002).

2.3.3 TMPF – Tempo Médio para Falha

Viana (2002) explica o TMPF como um indicador para componentes que não sofrem reparos, ou seja, após falharem são descartados e substituídos por outros componentes novos, sendo definido como o total de horas disponíveis do equipamento para a operação dividido pelo número de falhas detectadas em componentes não reparáveis, conforme Equação 3:

$$TMPF = \frac{\text{Tempo Total de Funcionamento}}{\text{Número de Falhas}} \quad (3)$$

Onde:

TMPF = Tempo Médio para Falha;

Tempo Total de Funcionamento = período total em que o item operou;

Número de Falhas = quantidade de falhas registradas no período.

2.3.4 Disponibilidade Física da Maquinaria (DF)

A disponibilidade física é definida pela ABNT NBR 5462 (1994, *apud* VIANA, 2002, p.143), como “a capacidade de um item de estar em condições de executar uma certa função em

um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado”. Viana (2002), ressalta que o cálculo da disponibilidade varia de um setor produtivo para outro, e também entre empresas. A disponibilidade física (DF) indica o percentual de dedicação para operação de um equipamento, ou de uma planta, em relação às horas totais do período, como é possível observar abaixo na Figura 1 (Viana, 2002).

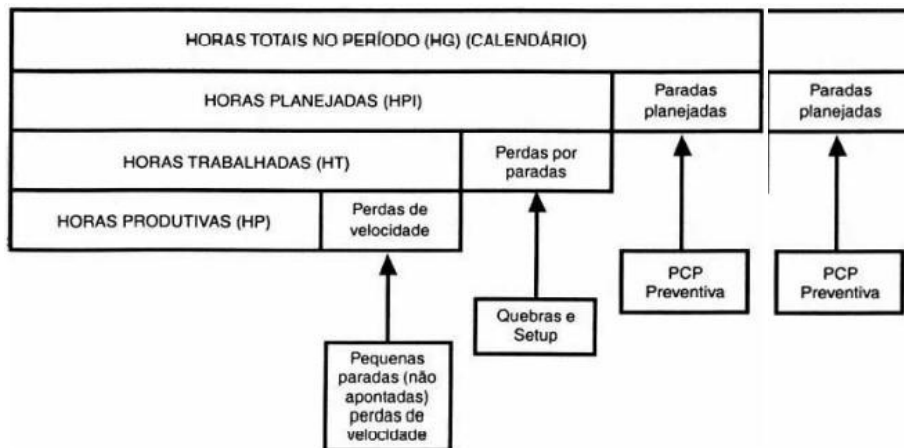


Figura 1: Conceito de disponibilidade física
Fonte: Viana (2002).

Observa-se na Figura 1 que a disponibilidade física pode ser entendida como, a divisão entre as horas trabalhadas (HT) pelas horas totais no período (HG) multiplicadas por 100. Viana (2002) também define a disponibilidade física como sendo a relação entre o total de horas acumuladas de operação e total de horas transcorridas, ou seja, a divisão do tempo de operação da planta pela soma entre o tempo de operação e o tempo de paralisações com o resultado multiplicado por 100. Este índice é fundamental para uma empresa, considerado como o principal produto da manutenção, onde o objetivo é disponibilizar o equipamento para a operação pelo maior período possível, além disso, o controle da disponibilidade física auxilia na identificação dos equipamentos que mais impactam, negativamente, na produção (Viana, 2002).

2.3.5 Custo de Manutenção por Faturamento

Segundo Viana (2002), o custo de manutenção é dado pela relação entre os gastos totais com manutenção, e o Faturamento da empresa. Dentro dos gastos de manutenção se considera o pessoal, materiais, contratação de serviços externos, depreciação e perda de Faturamento.

2.3.6 Custo de Manutenção por Valor de Reposição

O custo de manutenção por valor de reposição pode ser entendido como a relação entre o custo total de manutenção de um determinado equipamento com o seu valor de compra (VIANA, 2002).

2.3.7 Confiabilidade

Segundo a ABNT NBR 5462 (1994, *apud* Kardec & Nascif, 2009, p.106), confiabilidade é “a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um intervalo de tempo”. Já Kardec e Nascif (2009, p.106) a definem como “a probabilidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições definidas de uso durante um intervalo de tempo estabelecido”. Desse modo, a Equação 4 apresenta a confiabilidade de um equipamento ou produto, definida por Kardec e Nascif (2009) como:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (4)$$

Onde:

$R(t)$ = confiabilidade a qualquer tempo t .

e = base dos logaritmos neperianos ($e = 2,718$).

λ = taxa de falhas (Número total de falhas por período de operação). T = tempo previsto de operação.

2.3.8 Manutenibilidade

François Monchy *apud* Kardec e Nascif (2009, p.116) definem a manutenibilidade como “a probabilidade de restabelecer a um sistema suas condições de funcionamento específicas, em limites de tempo desejados, quando a manutenção é conseguida nas condições e com meios prescritos”.

A Manutenibilidade é definida por Kardec e Nascif (2009, p.116) como sendo “a característica de um equipamento ou instalação permitir um maior ou menor grau de facilidade na execução dos serviços de manutenção”. De modo análogo à confiabilidade, Kardec e Nascif (2009), descrevem a Manutenibilidade pela Equação 5, como:

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (5)$$

Onde:

$M(t)$ = a função manutenibilidade, que representa a probabilidade de que o reparo comece no tempo $t=0$ e esteja concluído, satisfatoriamente, no tempo t (probabilidade da duração do reparo).

e = base dos logaritmos neperianos ($e = 2,718$).

μ = taxa de reparos ou número de reparos efetuados em relação ao total de horas de reparo do equipamento.

t = tempo previsto de reparo.

2.4 Curva da Banheira

A curva da banheira, mostrada na Figura 2, é um modelo de falha que representa a combinação de diferentes modelos de falha. Ela representa o comportamento da frequência de ocorrência de falhas em relação ao tempo (Xenos, 1998).

Kardec e Nascif (2009), dividem a curva da banheira entre três períodos distintos, como se demonstra na Figura 2:

- Mortalidade Infantil – onde a elevada ocorrência de falhas recai sobre defeitos de fabricação, deficiências de projeto e também sobre problemas na instalação do equipamento;
- Vida Útil – essa fase é caracterizada por manter uma taxa de falhas sensivelmente menor e constante ao longo do tempo. As falhas ocorrem de forma aleatória, advinda de fatores menos controláveis, como fadiga ou corrosão ocasionadas da interação entre o equipamento e o meio;
- Envelhecimento ou Degradação – fase onde há uma ocorrência crescente de falhas, ocasionadas pelo desgaste natural do equipamento.

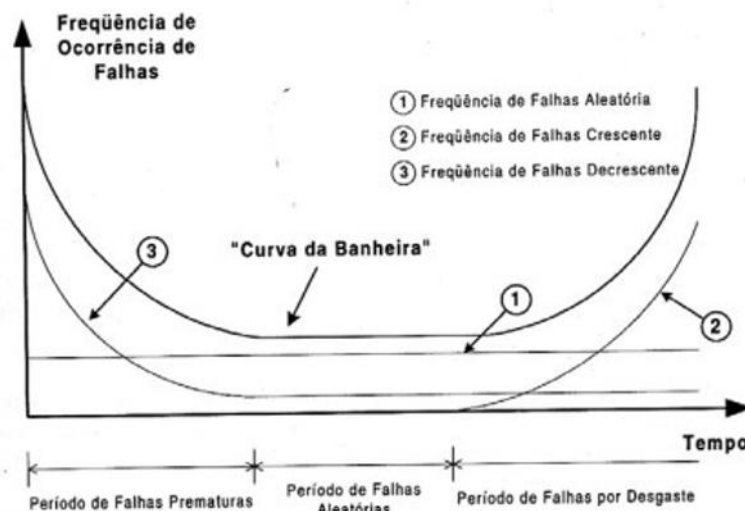


Figura 2: Combinação dos modelos de falhas
Fonte: Xenos (1998).

2.5 Planejamento e Controle da Manutenção

Segundo Tavares (1999), o planejamento de manutenção é o órgão que define onde e quando as atividades de manutenção serão realizadas, procurando aprimorar a qualidade dos serviços de manutenção, reduzindo o tempo de parada dos equipamentos e aprimorando a distribuição de mão de obra, com o intuito de evitar sobrecarga da equipe mais experiente.

O planejamento e controle da manutenção (PCM) são fundamentais para o desempenho da organização. O PCM é responsável por organizar e viabilizar melhorias na empresa, agindo como suporte para a manutenção e operação, reportando informações à diretoria, evidenciando-o assim, como um departamento estratégico (Bueno, 2020).

Francisco, Góes e Souza *apud* Bueno (2020) dizem que, independentemente da metodologia ou tipo de manutenção aplicada, sempre existirá a necessidade de planejar e controlar as atividades. Enfatizando este raciocínio, Viana (2020), classifica o impacto do planejamento e controle da manutenção como primordial para a saúde de uma empresa, onde sua função é voltada para a organização e melhoria da manutenção. Salientando ainda que, a manutenção não pode se limitar a apenas corrigir problemas cotidianos, mas deve perseguir sempre a melhoria constante, sempre em busca de eliminar as falhas e defeitos.

2.6 Planos de Manutenção

Viana (2002, p.87) define os planos de manutenção como “conjunto de informações necessárias, para a orientação perfeita da atividade de manutenção preventiva. Os mesmos representam, na prática, o detalhamento da estratégia de manutenção assumida por uma empresa”. A disposição das atividades em relação ao tempo e no espaço, assim como a qualidade das instruções dispostas nos planos, estabelecem o tratamento dado pelo setor de manutenção às ações preventivas (Viana, 2002).

Francisco, Góes e Souza *apud* Bueno (2020), acrescentam que, os planos de manutenção devem estabelecer os ciclos de manutenção para cada bem ou componente, assim como a forma na qual a intervenção deve ser realizada e quais as metas que devem ser atingidas com a execução.

A correta divisão dos planos de manutenção pode melhorar a eficiência nas ações de detecção de falhas e defeitos, antecipar intervenções antes que a falha ocorra e, por consequência, alocar adequadamente os recursos necessários, de forma a aumentar a produtividade do setor de manutenção (Viana, 2002).

Viana (2002) dividi os planos de manutenção em cinco categorias, que são:

- Plano de inspeções visuais – contemplam as inspeções visuais rotineiras que se utilizam dos cinco sentidos do mantenedor, propicia a observação de falhas que possuem características que gerem alguma perturbação no sistema, como: ruído, variação de temperatura ou vibração;
- Roteiros de lubrificação – define os equipamentos sujeitos a prática, o tipo de lubrificante a ser aplicado e o método de aplicação, assim como a periodicidade com que os componentes deveram ser lubrificados;
- Monitoramento de características dos equipamentos;
- Manutenção de troca de itens de desgaste – mapeia quais são e onde estão localizados os itens de desgaste, e indica a periodicidade de troca de cada peça ou componente;
- Plano de intervenção preventiva – consiste em um conjunto de atividades, regularmente executadas com o objetivo de manter o equipamento em seu melhor estado operacional.

2.7 Sistema de Tratamento de Falhas

De acordo com Xenos (1998), um sistema de tratamento de falhas é uma estrutura formal que gerencia as informações a respeito da falha ocorrida, assim como as ações subsequentes. As informações precisam ser analisadas e os resultados desta análise se tornam outra fonte de informação essencial para elaboração e revisão periódica dos planos de manutenção.

Segundo Longaray (2013), uma excelente ferramenta para mapear cenários de falhas é o *brainstorming*, uma expressão da língua inglesa que significa “tempestade de ideias”, onde a técnica consiste na formação de um grupo diverso, no qual todos contribuem com ideias acerca de um problema. Essas contribuições não necessitam de justificativas prévias e devem ser anotadas em local visível, sendo posteriormente analisadas e selecionadas conforme sua pertinência à situação abordada (Longaray, 2013).

Qualquer fato que origina um problema é caracterizado como uma causa, segundo Longaray (2013). O autor ressalta, ainda, que problemas complexos podem ter mais de uma causa simultânea. Os efeitos tornam os problemas perceptíveis, conforme afirma o autor, sendo que todo problema possui pelo menos um efeito, que se origina de uma ou mais causas.

Como forma de organizar informações de maneira gráfica, é possível utilizar o diagrama de causa e efeito, também conhecido como diagrama de Ishikawa, representado pela Figura 3 abaixo. Segundo Longaray (2013), o diagrama consiste em uma estrutura semelhante ao esqueleto de um peixe, na qual a origem do problema é apresentada na cauda, as causas são distribuídas ao

longo das espinhas e o efeito percebido é descrito na cabeça.

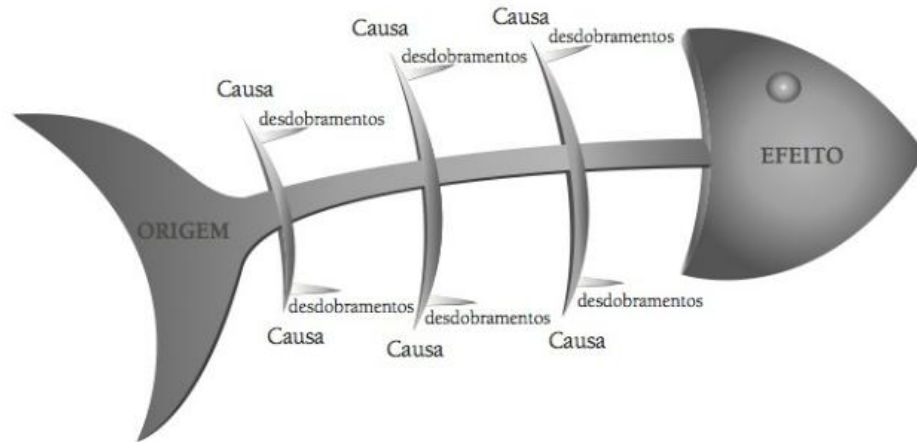


Figura 3:Diagrama de Ishikawa
Fonte: Longary (2013).

Segundo Xenos (1998), sempre que existirem relações de causa e efeito, haverá processos. Os processos podem ser definidos como um conjunto de causas que originam um ou mais efeitos; sendo assim, os principais efeitos do processo em uma empresa são os produtos ou serviços. O autor agrupa as causas em conjuntos, comumente denominados 6M. Esse conjunto é composto pelas famílias de máquinas, mão de obra, métodos, meio ambiente, matéria-prima e medidas.

Para assegurar a identificação das causas associadas às falhas, Xenos (1998) destaca a importância de se questionar repetidamente 'porquê' até que as causas fundamentais sejam efetivamente determinadas. A ferramenta, conhecida como método dos 'porquês', tem como objetivo aprofundar a análise das falhas, permitindo a identificação de suas causas raízes e evitando a atuação apenas sobre sintomas do problema.

Xenos (1998) enumera algumas etapas importantes que devem ser analisadas através do 5W1H, que são: detecção e relato da falha; ação corretiva para remoção de sintoma; registro e análise das falhas para identificar suas causas fundamentais; planejamento e execução das contramedidas; acompanhamento da execução das contramedidas; análise periódica dos registros de falhas para identificar falhas crônicas e prioritárias e definir projetos com metas; execução dos projetos através do ciclo PDCA de solução de problemas.

2.8 5W1H

De acordo com Rossato *apud* Júnior (2019, p.43), a ferramenta 5W1H “é um documento para organizar e identificar as ações e as responsabilidades de quem irá executar a implantação de um projeto”. A ferramenta 5W1H é composta pelos seguintes levantamentos:

- WHAT - O que será feito (etapas)
- HOW - Como deverá ser realizado cada tarefa/etapa (método);
- WHY - Por que deve ser executada a tarefa (justificativa);
- WHERE - Onde cada etapa será executada (local);
- WHEN - Quando cada uma das tarefas deverá ser executada (tempo);
- WHO - Quem realizará as tarefas (responsabilidade).

2.9 Beneficiamento Mineral

O beneficiamento de minérios, representado na figura 4, compreende um conjunto de operações aplicadas aos bens minerais, visando modificar a granulometria, a concentração relativa das espécies minerais presentes ou a forma, sem modificar sua identidade química ou física (Luz *et al.*, 2010).

O material proveniente da lavra, em muitos casos, não apresenta características adequadas para utilização direta na indústria. Nesse contexto, o tratamento de minérios torna-se uma etapa essencial nas operações mineradoras, com o objetivo de adequar o material às exigências do mercado consumidor, por meio de técnicas como fragmentação e concentração dos minerais de interesse econômico (Stein *et al.*, 2022).



Figura 5: Britador cônico
Fonte: In The Mine (2014).

Os sistemas de transporte de materiais na mineração incluem diferentes equipamentos e métodos, como transportadores de correia, parafuso, transporte pneumático e hidráulico, entre outros (Chaves, 2012).

3 METODOLOGIA

Este capítulo tem como objetivo apresentar a base metodológica aplicada na realização deste estudo. Com a finalidade de apresentar detalhadamente os métodos e procedimentos adotados durante a realização do trabalho, este capítulo foi dividido em seis tópicos, que são: tipos de pesquisa, materiais e métodos, variáveis e indicadores, instrumento de coleta de dados, tabulação dos dados e considerações finais do capítulo.

3.1 Tipo de Pesquisa

A pesquisa pode ser definida, segundo Gil (2002), como procedimento racional e sistemático que tem como principal intuito criar condição para responder a questões que são propostas. Ele ainda ressalta que, pesquisas são solicitadas quando não se dispõe de informações que sejam necessárias para solução de problemas, ou quando existe a dificuldade em relacionar as respostas, já obtidas, como o problema formulado.

Os tipos de pesquisas podem ser classificados de diferentes formas. Segundo Vergara (1998), as pesquisas podem ser identificadas pelo fim ao qual ela se direciona, sendo divididas em seis grupos: exploratória, descritiva, explicativa, metodológica, aplicada e intervencionista.

De acordo com Lakatos (2003), as pesquisas classificadas como exploratórias são ditas como empíricas, cujo objetivo é a formulação de questões ou problemas, tendo por objetivo proporcionar familiaridade com o problema levantado, com a ideia de torná-lo mais explícito, sendo objetivado pelo aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. Ele ainda salienta que as pesquisas exploratórias, em sua maioria, envolvem dados de: levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado e análise de exemplos que estimulem a compreensão.

Segundo Vergara (1998), a investigação exploratória é realizada em áreas que ainda se tem um acúmulo de conhecimento bem restrito e sistematizado. Enfatizando, ainda, que esse tipo de pesquisa não admite hipóteses, porém, podem aparecer durante ou ao final do estudo.

Os dados coletados para uma pesquisa podem ser tratados de forma qualitativa ou quantitativa ou ambas as formas (Vergara, 1998). Em estudos de natureza quantitativa, após o levantamento de dados e seu tratamento estatístico, têm-se, geralmente, tabelas elaboradas de forma manual ou através de computadores (Gil, 2002).

Desta forma, a metodologia do trabalho adota-se de uma pesquisa exploratória, onde os dados foram levantados a partir de pesquisas bibliográficas e documentais, além de dados coletados por estudo de caso a respeito do equipamento analisado. A forma de abordagem é classificada como quantitativa, direcionando a dedução do problema a respostas lógicas e sem margem para levantamento de hipóteses infundáveis.

3.2 Materiais e Métodos

O fluxograma da Figura 6 apresenta as etapas adotadas para o desenvolvimento deste trabalho.



Figura 6: Fluxograma das etapas aplicadas

Fonte: Pesquisa direta 2026.

A Figura 6, apresenta a origem do estudo na identificação do problema que foi observado a partir de indicadores de manutenção que, por sua vez, mostraram a possibilidade de melhorar as estratégias de manutenção adotadas pela empresa que proporcionou o estudo de caso. Para melhorar o entendimento sobre o assunto, com intuito de proporcionar uma solução mais assertiva, foi realizado uma revisão bibliográfica sobre as principais variáveis dentro do campo da manutenção industrial.

O levantamento de informações, a respeito do problema, foi realizado através de documentos, entrevistas com colaboradores e observações do processo em campo, desde atividades de inspeções até intervenções com substituição de peças e componentes. Observou-se então que a forma como o método de manutenções corretivas e preventivas aplicado não é adequada para o equipamento com alta taxa de criticidade para o processo.

Seguindo a metodologia, uma reunião de análise de falhas foi realizada com os responsáveis pela gestão e manutenção do equipamento, levantando os principais problemas relacionados e as possíveis soluções, mediante a análises previamente realizadas. Desta forma, com todas as etapas concluídas, foi possível propor um novo plano de ações preventivas e posteriormente, um acompanhamento e avaliação dos resultados dos indicadores foram realizados.

3.3 Variáveis e Indicadores

Como forma de compreender e analisar melhor os procedimentos envolvidos na manutenção industrial, se faz necessário a consideração de algumas variáveis, assim como seus respectivos indicadores.

Vergara (1998) classifica variável como um valor que pode ser expresso por quantidade, qualidade, característica, magnitude, tendo sua variabilidade aplicada á cada caso individual. Ainda ressalta que, as variáveis podem ser independentes, quando elas afetam, influenciam ou determinam outras variáveis ou dependente, cujo a denominação caracteriza a dependência associada a variáveis independentes.

É possível a existência de diversos indicadores para uma mesma variável, o que dificulta sua seleção. Muitas das vezes os indicadores mais adequados para análise de um problema possui um grau de medição muito complexo, podendo ser alterado por indicadores menos confiáveis (Gil, 2002).

A Tabela 2 apresenta as variáveis e os indicadores que deram suporte para a realização deste trabalho.

Tabela 2: Variáveis e Indicadores

Variáveis	Indicadores
Planejamento e Controle da Manutenção	Indicadores de manutenção (MTBF, MTTR, DF)
	Ordens de serviço
	Controle de manutenções programação e aderência
	Planos de manutenção
	Ferramentas metodológicas (método dos porquês, diagrama causa e efeito, <i>brainstorming</i> , 6M, 5W1H)

Fonte: Pesquisa direta (2026).

3.4 Instrumento de Coleta de Dados

Os dados necessários para a realização do trabalho foram extraídos de um estudo de caso aplicado a uma empresa mineradora, onde foram utilizadas duas fontes diferentes para o levantamento de informações, que são: observação do processo e sistema ERP (*Enterprise Resources Planning*).

A observação da estratégia de manutenção adota ao equipamento foi realizada como forma de estabelecer dados para alimentar um novo modelo proposto ao final da aplicação metodológica, mencionada no tópico 3.2. Gil (2002), classifica a observação como procedimento fundamental para a construção de hipóteses. Ainda ressalta que o estabelecimento assistemático de relações entre fatos cotidianos pode fornecer indícios para solução de diversos problemas propostos pela ciência.

O sistema ERP da empresa, consiste em um *software* responsável pelo controle de gestão e desempenho de planejamento dos recursos de uma organização. O sistema utilizado como fonte para levantamento dos indicadores de manutenção utilizados foi o SAP (*System Analysis Programmentwicklung*). Deste *software* foi possível extrair o histórico e programação de intervenções do equipamento, dentro de um período estabelecido como adequado para o trabalho.

3.5 Tabulação dos Dados

O levantamento de dados e documentos utilizados durante a pesquisa foram registrados no *software* Microsoft Excel, onde foi possível criar tabelas e gráficos apresentados durante o trabalho, e no Microsoft Word, o qual foi utilizado para relato de textos sobre os dados apresentados.

3.6 Considerações Finais do Capítulo

Neste capítulo foram apresentados, de forma sucinta, os principais conceitos por trás da metodologia aplicada, além de, ferramentas que auxiliaram na construção e desenvolvimento da pesquisa. Foram apresentados, também, as etapas que compuseram e propiciaram a realização do trabalho, desde a formulação do problema até a avaliação da solução proposta. No próximo capítulo serão apresentados os resultados obtidos através do estudo de caso, com a aplicação dos conceitos e ferramentas já mencionados, além de apresentar a proposta levantada após análises dos dados coletados.

4 RESULTADOS

4.1 Características do Setor de Estudos

A proposta deste trabalho surgiu no âmbito da gerência de manutenção industrial de área responsável por assegurar a manutenção e a confiabilidade dos ativos presentes nas usinas de beneficiamento de uma empresa de minerações. A Figura 7 apresenta a posição da gerência de área dentro do organograma da empresa.



Figura 7: G.A. dentro do organograma da empresa
Fonte: Pesquisa direta 2026

De modo geral, a gerência de área engloba as coordenações de manutenção mecânica e de engenharia de área, atuando de forma integrada na gestão dos ativos industriais. A engenharia de área é responsável pelo planejamento e coordenação de equipes técnicas, pela supervisão e controle das paradas de manutenção, pela análise de falhas com enfoque em confiabilidade e pela proposição e implementação de melhorias voltadas à otimização do desempenho operacional e à disponibilidade dos equipamentos.

O setor analisado neste estudo corresponde a uma empresa do segmento de extração de minério de ferro, caracterizada como uma atividade industrial voltada à exploração de recursos minerais presentes no solo e no subsolo. Essa atividade tem como finalidade a obtenção de minério com elevado teor de ferro, o qual constitui uma matéria-prima fundamental para a indústria

siderúrgica mundial, responsável pela sua transformação em aço.

O elevado teor de ferro presente no produto final destinado à indústria siderúrgica é, na maioria das vezes, alcançado após o processo de beneficiamento mineral. Esse processo é composto por operações de concentração, baseadas na separação dos minerais, as quais se fundamentam nas diferenças de propriedades entre o mineral de interesse e aqueles que constituem o rejeito (Luz *et al.*, 2010).

O Brasil detém grande parte do mercado de minério de ferro mundial, como apresentado na figura 8, sendo o mais importante metal explorado, tanto pro sua reserva quanto por sua importância económica na balança comercial nacional (DNPM *apud* Júnior, 2013).

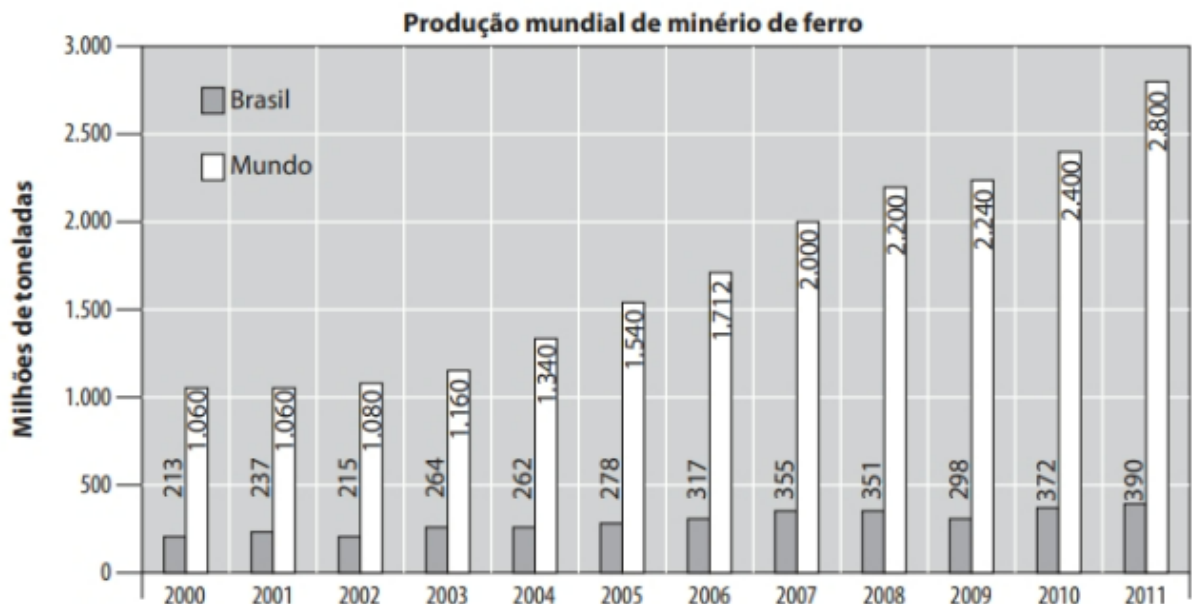


Figura 8: Evolução da produção de mineral de ferro entre 2000 e 2011

Fonte: DNPM, 2011.

Segundo Júnior (2013), as características dos minérios de ferro brasileiros conferem ao produto nacional uma posição competitiva no mercado global. Essa vantagem está associada tanto a fatores geológicos, como o elevado teor de ferro e a baixa presença de elementos indesejáveis, quanto aos aspectos relacionados à lavra, que ocorre predominantemente em minas a céu aberto.

O processo de produção do minério de ferro tem início com a etapa de extração, realizada, na maioria das vezes, em minas a céu aberto. Em situações em que as rochas apresentam elevada dureza, torna-se necessária a utilização de explosivos para sua fragmentação. Após a extração, o material é transportado até as usinas de beneficiamento por meio de caminhões fora-de-estrada e/ou sistemas de transportadores de correia. Após a etapa de lavra, o minério é submetido aos

processos de cominuição, que incluem britagem e moagem, além das etapas de peneiramento e classificação. Na sequência, são realizadas as operações de concentração, desaguamento e secagem, com o objetivo de adequar o material às especificações exigidas, como é apresentado na figura 9.

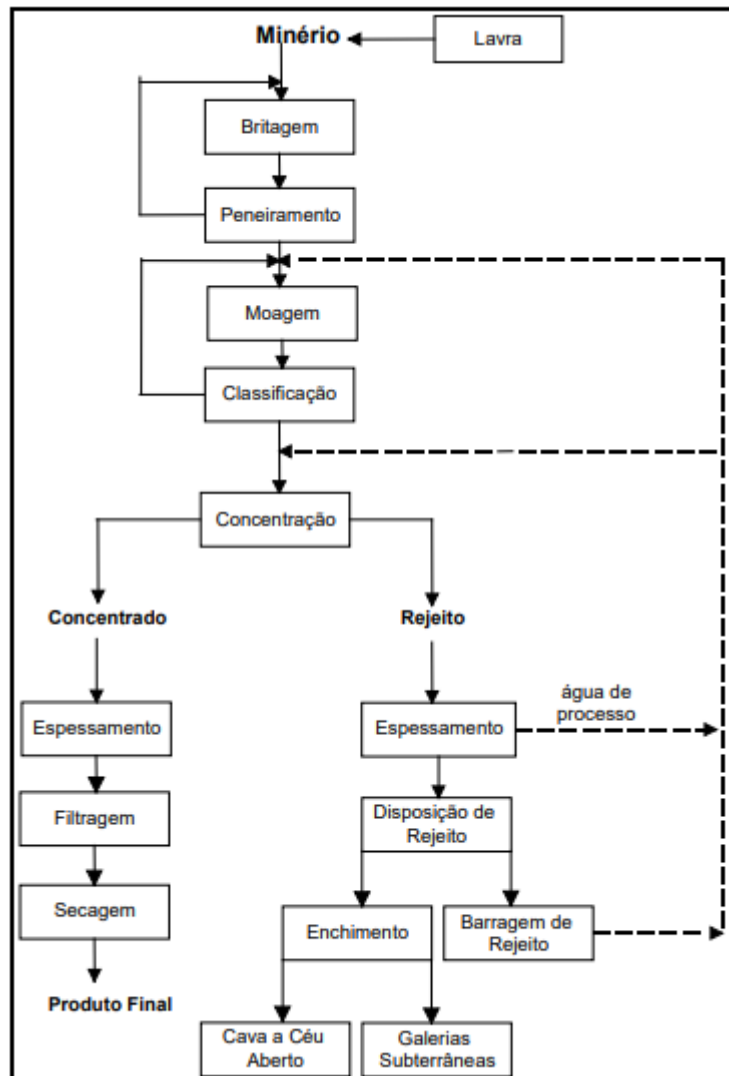


Figura 9: Fluxograma de tratamento de minério
Fonte: Luz *et al.* (2010).

Durante as etapas de extração, beneficiamento e estocagem, o processo produtivo é interligado por diferentes sistemas de transporte, como caminhões, dutos e transportadores de correia, conforme ilustrado na Figura 10. Os transportadores de correia, foco deste estudo, desempenham papel fundamental ao viabilizar o transporte contínuo entre as diversas operações envolvidas na produção de minério de ferro. Esses sistemas se destacam por sua grande exten-

são e elevada capacidade de movimentação de material, sendo amplamente utilizados na interligação de equipamentos, na formação de pilhas de estocagem e na retomada do material ao processo.



Figura 10: Transportador de correia opera-
Fonte: Pesquisa Direta (2026).

4.2 Caracterização de transportadores de correia

Dentre as diversas operações unitárias, os transportadores de correia (Figura 11), destacam-se como um dos principais sistemas empregados na movimentação de minerais, sendo responsáveis pela interligação das diferentes etapas do processo. Os transportadores de correia são sistemas utilizados para o transporte contínuo de materiais a granel, sendo amplamente empregados na indústria mineral devido à sua eficiência e elevada capacidade operacional (Chaves, 2012).

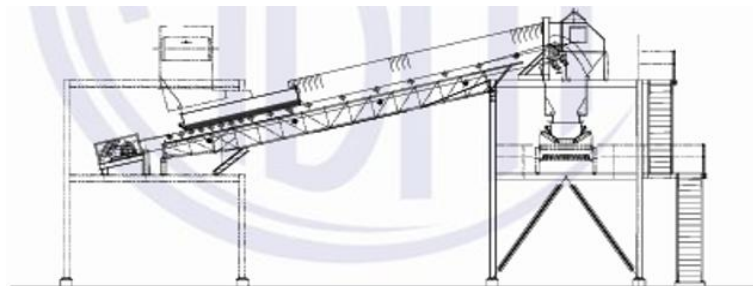


Figura 11: Transportador de correia
Fonte: ABNT NBR 6177 (2016).

Os transportadores de correia, apresentado na figura 11, podem ser caracterizados como arranjo de componentes mecânicos, elétricos e estruturas metálicas, consistindo em um dispositivo horizontal ou inclinado (ascendente ou descendente) ou em curvas (côncavas ou convexas), ou ainda, uma combinação de quaisquer destes perfis, destinado à movimentação ou transporte de materiais a granel, através de uma correia contínua com movimento reversível ou não, que se desloca sobre tambores, roletes e/ou mesas de deslizamento, segundo uma trajetória pre-determinada pelas condições de projeto, possuindo partes ou regiões características de carregamento e descarga (ABNT NBR 6177, 2016, p. 1).

O transporte de minério pode ser realizado por um ou mais transportadores de correia, dispostos em sequência e interligados por chutes de transferência. De acordo com a ABNT NBR 6177 (2016), esses dispositivos são responsáveis por receber e direcionar o material descarregado de um transportador para outro, ou ainda para pilhas, silos, entre outros destinos.

Goodyear *apud* Chaves (2012), destaca-se que o sucesso dos transportadores de correia na indústria mineral está associado a diversas vantagens técnicas e operacionais, dentre as quais se podem destacar:

- Elevada capacidade de transporte
- Capacidade de adaptação ao terreno
- Baixo custo operacional
- Degradação mínima do material transportado
- Baixo consumo energético
- Baixa emissão de ruídos
- Facilidade em transpor obstáculos naturais
- Flexibilidade em pontos de carga e descarga

Um dos principais componentes que compõem a estrutura dos transportadores é a correia, conforme apresentada na Figura 12. Segundo a ABNT NBR 6177 (2016), ela é destinada a formar a superfície de sustentação sobre a qual será depositado o material a ser transportado, sendo o seu movimento responsável pela efetiva realização do transporte. A carcaça da correia transportadora tem a função de suportar as cargas aplicadas, enquanto as coberturas, que a envolvem, são responsáveis por resistir aos efeitos de abrasão, impactos, cortes, variações de temperatura e ataques químicos provenientes do material transportado e das condições operacionais.

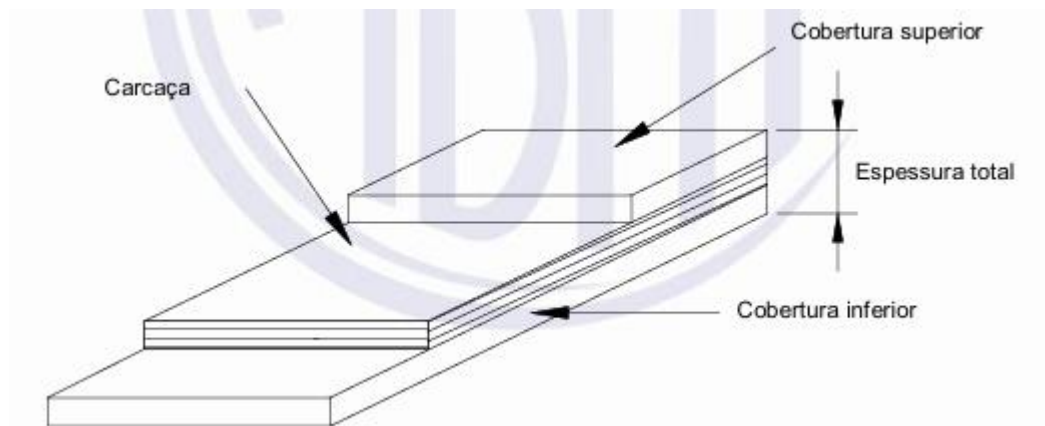


Figura 12: Representação de uma correia transportadora
 Fonte: ABNT NBR 6177 (2026).

4.3 Modos de Falhas em Transportadores de Correia

Os principais modos de falha que resultam na interrupção das operações e impactam diretamente a disponibilidade física (DF) dos transportadores de correia, segundo Farhat *et al.* (2023), estão, em sua maioria, associados a desalinhamento da correia, escorregamento, rasgos, desvios de trajetória, falhas em roletes e falhas em redutores e motores.

Os rasgos em correias transportadoras podem ser classificados em longitudinais e transversais, sendo os longitudinais frequentemente associados à presença de corpos estranhos e materiais perfurantes no sistema de transporte, como salienta Sungda Conveyor Belt Co., Ltd. (s.d.), os rasgos longitudinais estão frequentemente associados à perfuração da correia por materiais duros ou corpos estranhos presentes no fluxo de minério.

De acordo com a Sungda Conveyor Belt Co., Ltd. (s.d.), os principais fatores responsáveis pelos rasgos em correias transportadoras incluem a presença de corpos estranhos no material transportado, falhas ou desprendimento de componentes do transportador, bloqueios em chutes de transferência, impactos excessivos decorrentes de projetos inadequados, falhas em roletes e o desgaste de componentes mecânicos, onde tais condições podem provocar perfurações localizadas e evoluir para rasgos longitudinais ou transversais da correia.

A prevenção de rasgos em correias transportadoras causados por corpos estranhos deve ser baseada principalmente no controle da origem do material, na inspeção dos equipamentos e na eliminação de elementos perfurantes presentes no fluxo transportado (SUNGLA CONVEYOR BELT CO., LTD. S.d.).

4.4 Análises e Diagnóstico de Falhas

O transportador de correia, objeto deste estudo, está inserido no sistema de peneiramento, sendo responsável pelo transporte do material retido no primeiro deck das peneiras, conforme ilustrado na Figura 13.

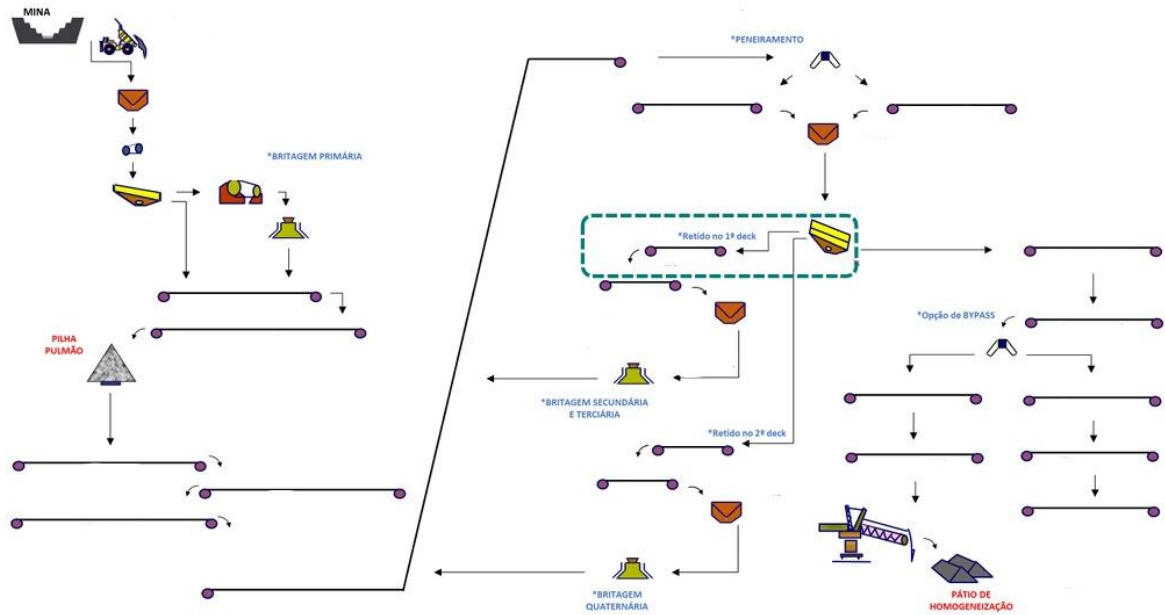


Figura 13: Fluxograma do circuito fase seca de beneficiamento

Fonte: Pesquisa Direta (2026).

O transportador de correia foi analisado no período compreendido entre novembro de 2024 e junho de 2025. Ao final desse intervalo, foram avaliadas as causas dos eventos que resultaram em intervenções corretivas, com a subsequente elaboração e implementação de um plano de ação preventivo. Dentre as principais ocorrências identificadas, destacam-se os rasgos em correias, que totalizaram seis intervenções corretivas no período analisado, evidenciando a relevância e a necessidade do desenvolvimento deste estudo.

Adicionalmente, a avaliação dos indicadores de desempenho e confiabilidade, como Tempo Médio Entre Falhas (MTBF), Tempo Médio para Reparo (MTTR) e Disponibilidade Física (DF), permitiu identificar impactos significativos na continuidade operacional do sistema. Os eventos associados aos rasgos de correia apresentaram elevados tempos de reparo, influenciando diretamente no aumento do MTTR e na redução da disponibilidade do ativo. Nesse contexto, a análise sistemática das falhas e a implementação de ações preventivas e preditivas tornam-se fundamentais para a mitigação de recorrências, aumento da confiabilidade operacional e otimização dos custos de manutenção.

4.4.1 Avaliação de Indicadores

A Figura 14 apresenta a evolução do número de intervenções corretivas (NICs) e das horas de manutenção corretiva (HMC) no período compreendido entre novembro de 2024 e junho de 2025, para o equipamento objeto de estudo.

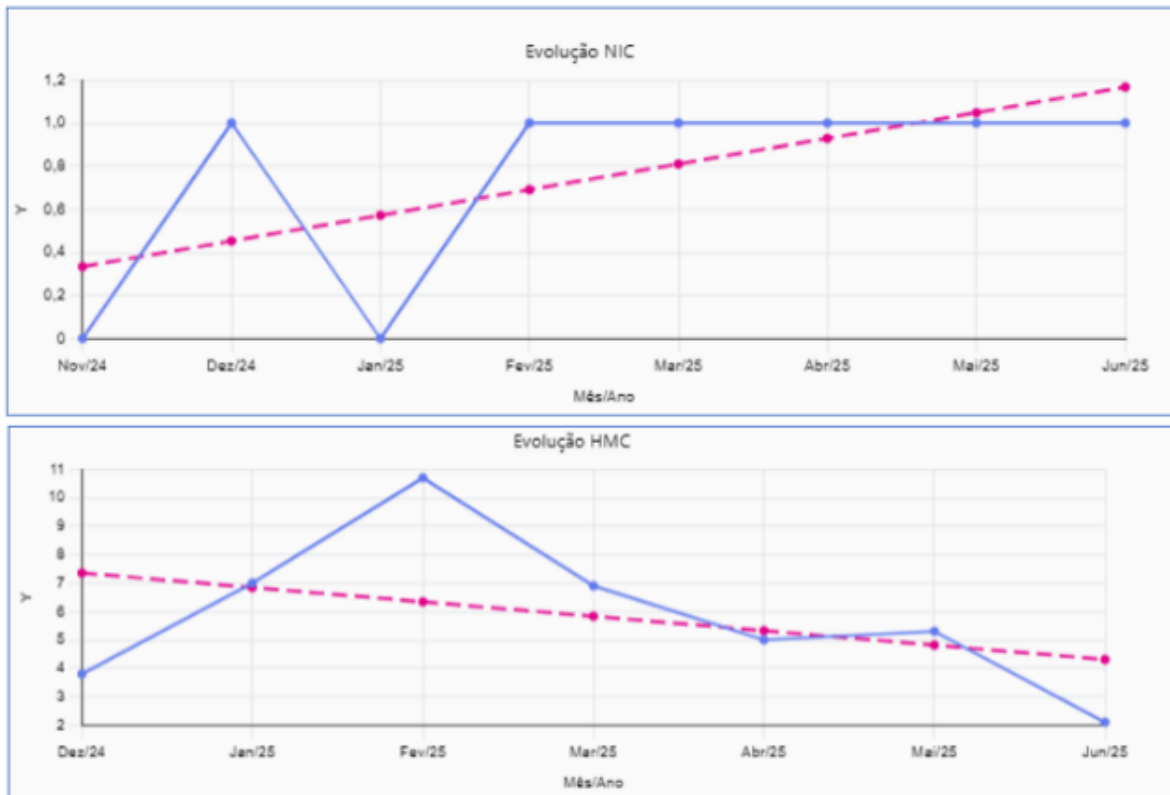


Figura 14: NIC e HMC objeto de estudo
Fonte: Pesquisa Direta (2026).

No primeiro gráfico da Figura 14, a linha azul contínua representa a quantidade de eventos de rasgo ao longo do período analisado, enquanto a linha vermelha tracejada indica a tendência, com perfil crescente ao longo do ano. No segundo gráfico, a linha azul contínua apresenta as horas de manutenção corretiva distribuídas mensalmente, ao passo que a linha vermelha tracejada evidencia uma tendência sutil de redução das horas de manutenção ao longo do tempo.

Dentre as falhas identificadas, cinco das seis ocorrências de rasgo de correia tiveram como causa a presença de rochas com perfil lamelar, conforme ilustrado na Figura 15. Dessa forma, a ocorrência de materiais lamelares no circuito foi classificada como o principal agente de falha a ser analisado neste estudo.



Figura 15: Falhas identificadas
Fonte: Pesquisa Direta (2026).

4.4.2 Análise dos Planos de Manutenção

Por meio de análise em sistema ERP (*Enterprise Resource Planning*), foram levantados todos os planos de manutenção associados ao ativo, conforme apresentado na Figura 16 (informações confidenciais foram omitidas), com o objetivo de identificar possíveis lacunas ou falhas no modelo de manutenção adotado.

Exibir item de manutenção. Itens de manutenção selecionados

Item manutenção Planos de manutenção Cálculo de custos

CenTrabRes	Centro trabalho	Pln.manut.	Item manut.	GrpLisTar.	Última ordem	Equipamento	NGr	TAM	Descrição item de manutenção
SU988		376987	440193	95156	202403354389		1	SVC	RM - MANUT MECANICA TRANSPORT DE CORREIA
GVEL23		507853	612790	202047	202402995119		1	SVC	RE_MANUT ELETTRICA TRANSP DE CORREIA
DPD2VG		929965	1121629	343975	202403355175		1	CHK	AV_ANALI VIB_VGR_O
SU979		1190414	1981065	326787	202403263849		1	INP	IM_O_VVGR
SU979		1190415	1406927	193589	202403314898		1	INP	IM_P_VVGR_TR
SU988		1290693	1530076	219103	202403360136		1	SVC	RM - MANUTENCAO MECANICA SEMANAL
SU988		1290694	1530077	219104	202403389798		1	SVL	LU - LUBRIFICACAO SEMANAL
SU988		1290699	1530202	220893	202304182119		1	SVC	RM - MANUTENCAO MECANICA ANUAL
SU988		1290700	1530203	220894	202204202784		1	SVC	RM - MANUTENCAO MECANICA BIANUAL
SU979		1293789	1533789	220196	202403389998		1	INP	RO_O_VGR
INDSFG		1420880	1721712	265082	202403020412		1	INP	IN INSPECÃO SENSITIVA GRADES PISOS 63D

Figura 16: Planos de manutenção
Fonte: Pesquisa Direta (2026).

Foi realizada a análise dos planos de manutenção preditiva, nos quais foram identificadas as solicitações de coleta de dados para monitoramento de vibração e temperatura dos componentes, bem como verificada a periodicidade de execução dessas atividades.

Os planos sensíveis de inspeção mecânica encontram-se estruturados em rotas com o equipamento em operação e em condição de parada, contemplando a avaliação de sistemas de fixação, elementos móveis e dispositivos de controle de material fugitivo. Por sua vez, os planos de inspeção sensível operacional apresentaram foco na identificação de ausências ou avarias

em componentes de movimentação, como rolos e tambores, além do acúmulo de material fugitivo ao longo do transportador.

Os planos de lubrificação possuem periodicidade semanal, sendo verificada a regularidade na execução das atividades de inspeção e reposição de lubrificantes em mancais, bem como o controle dos níveis de óleo em redutores. De forma complementar, constatou-se a existência de planos de manutenção semanais voltados para ajustes em sistemas de contenção de material fugitivo, e planos anuais contemplando inspeções estruturais, incluindo a verificação do sistema de esticamento, alinhamento de contrapeso e avaliação dos dispositivos de proteção.

4.4.3 Verificação do Sistema de Britagem

Com o objetivo de mitigar a presença de rochas com características lamelares nas etapas subsequentes do processo de britagem, torna-se necessária a execução de aferições periódicas dos britadores, conforme intervalos previamente definidos. A APF (abertura na posição fechada) do britador primário apresenta faixa operacional entre 40 e 60 mm, sendo verificado, após a última ocorrência de rasgo, um valor de 50,1 mm, o qual se encontra em conformidade com os limites operacionais especificados. A Figura 17 apresenta a interface do sistema supervisor do equipamento, evidenciando os parâmetros de operação.

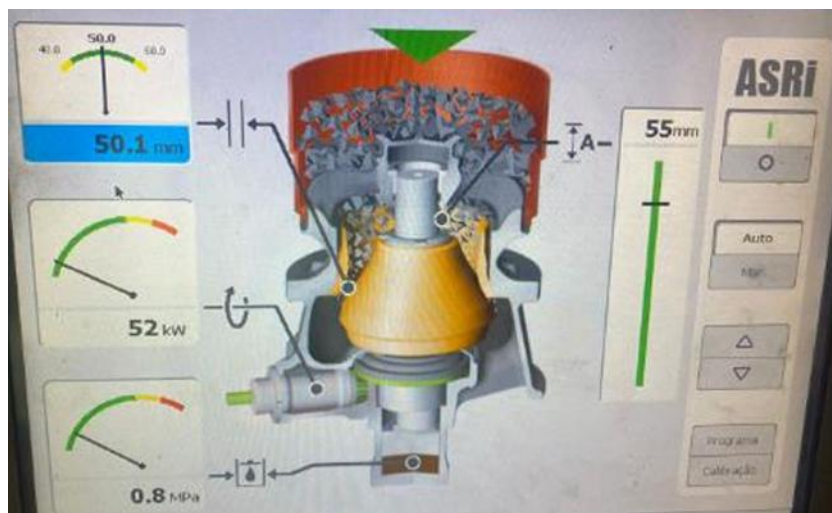


Figura 17: APF britador primário
Fonte: Pesquisa Direta (2026).

Foram analisados os intervalos operacionais anteriores à ocorrência das falhas, sendo identificados registros de medições fora dos parâmetros especificados para o equipamento, conforme ilustrado na Figura 18. A figura apresenta uma tabela de registro de aferições, preenchida manualmente pelos operadores após a execução de inspeções e medições, quando aplicável. Ao longo de um período de monitoramento de dois meses, foram observados valores variando entre 65 mm e 210 mm, evidenciando desvios recorrentes e inconsistências no controle do processo operacional.

Data	Equipe	Abertura	Foi necessária	Abertura	Abertura Inicial BR	Verificação	Foi necessária	Abertura Final BR
22/07/2024 14:12	EQUIPE A	6"	NÃO		50mm		NÃO	
05/07/2024 16:56	EQUIPE A	6" - Aguardando	NÃO		50mm		NÃO	
03/07/2024 10:28	EQUIPE A	6.50"	NÃO		50mm		NÃO	
01/07/2024 17:29	EQUIPE B	7"	SIM	6"	50mm		SIM	50mm
28/06/2024 07:00	EQUIPE A	6"	NÃO		50mm		NÃO	
25/06/2024 11:04	EQUIPE B	7"	NÃO		50mm		NÃO	
24/06/2024 09:22	EQUIPE B	7"	NÃO		50mm		NÃO	
09/07/2024 15:06	EQUIPE A	7"	SIM	6"	75mm		SIM	65mm
09/07/2024 10:36	EQUIPE A	7"	SIM	6"	50mm		NÃO	

Figura 18: Registros de medições APF britador

Fonte: Pesquisa Direta (2026).

Os valores e as datas das aferições registradas foram correlacionados com as interrupções na taxa de alimentação do sistema destinadas às intervenções. Foram analisados os eventos de corte de alimentação do britador, sendo constatado que as datas e os períodos de parada não são compatíveis com os registros reportados pela equipe responsável pelas atividades de aferição.

Conforme apresentado na Figura 19, observa-se o comportamento da taxa de alimentação em 09/07/2024. A linha verde representa a variação da taxa de alimentação ao longo do tempo, com base nas medições realizadas por uma balança instalada no circuito. Na data analisada, foram registradas duas paradas para aferição, destacadas por contorno vermelho na Figura 18 e identificadas como Intervalos 1 e 2 na Figura 19. Contudo, durante o segundo intervalo, não foi observada interrupção da taxa de alimentação, indicando uma inconsistência no registro e sugerindo a ocorrência de falha no processo de calibração do equipamento.

Durante a manutenção mecânica, conforme previsto no plano mensal, foi constatado o desgaste de componentes internos do britador, o que resultou no aumento da abertura de passagem do material. Esse fator passou a permitir a presença de partículas com granulometria superior à especificada em projeto. Em visita de campo realizada para avaliar as possíveis causas do evento de rasgo, foi constatada a alimentação descentralizada do britador.

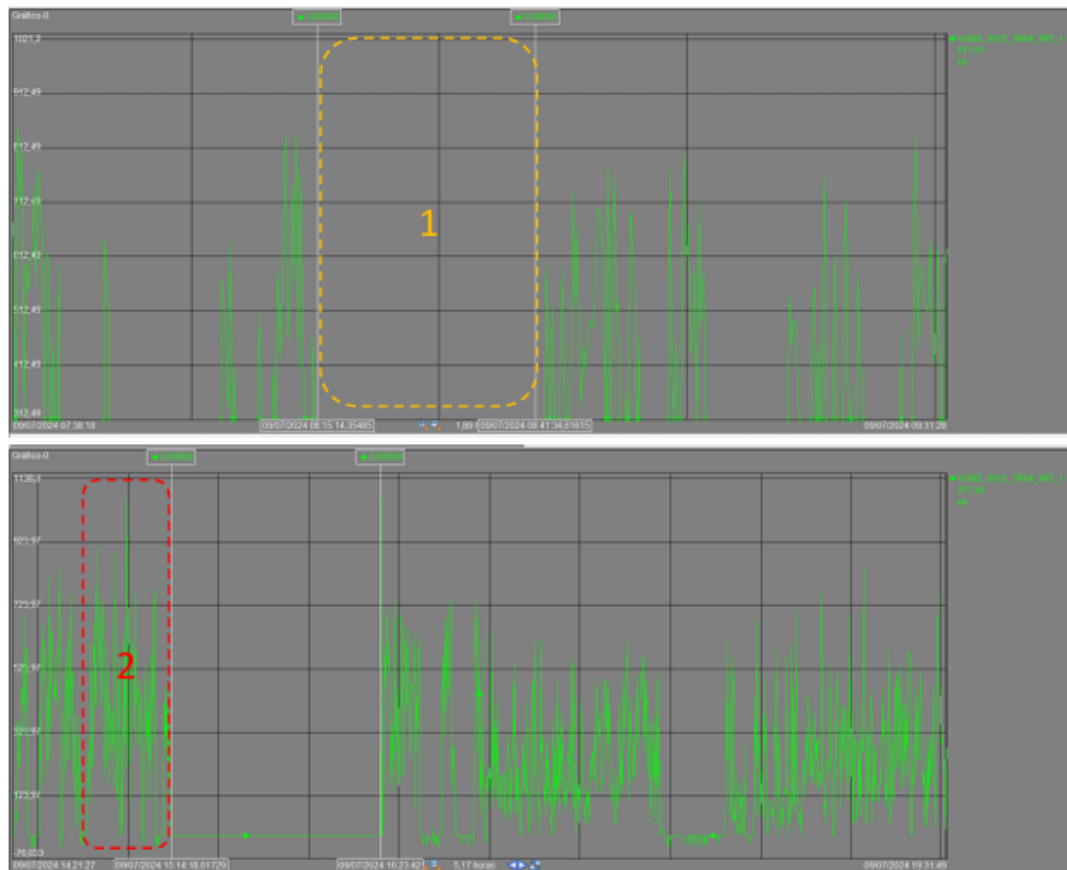


Figura 19: Taxa de alimentação do britador
 Fonte: Pesquisa Direta (2026).

Durante inspeção em campo, foi constatada a presença de elevada quantidade de material com granulometria superior à especificada para a operação. A análise dos equipamentos responsáveis pela retenção de partículas de maior dimensão evidenciou falhas nos módulos da grelha do circuito de britagem primária, conforme ilustrado na Figura 20, permitindo a passagem de minério fora das especificações granulométricas. Verificou-se que o dano ao módulo da grelha está associado ao desgaste provocado pela elevada abrasividade do minério.



Figura 20: Módulo de grelha danificado

Fonte: Pesquisa direta 2026.

Foram analisadas as notificações de manutenção referentes à grelha, registradas no sistema SAP, com o objetivo de identificar possíveis falhas no processo de gestão da manutenção que pudessem justificar a anomalia observada no equipamento. Durante a análise, constatou-se a existência de notificações em atraso no sistema, relacionadas a intervenções de manutenção, conforme apresentado na Figura 21. A imagem apresenta em destaque 2 notas de manutenção, abertas para intervenção na grelha e não executadas, apresentando inconsistência na estratégia de manutenção.

	InícioBase	Data-base fim	Tp.	Texto breve	Status usuário
0638	18.07.2024	18.07.2024	YCM	P0 - SODLAR CHAPAS DESVIADORAS	EXEC URGT VPTS
4322	11.07.2024	15.07.2024	YCM	P4 - TROCAR MODULO 1º SEÇÃO E PARAF. FIX	AGDO AGAR APRV
5090	08.07.2024	08.07.2024	YCM	P0 - REVESTIR PARTE DO ESPELHO DA GRELHA	AGDO AGPR URGT
5093		08.07.2024	YCM	P0 - REVESTIR PARTE DO TUBULÃO DA GRELHA	AGDO AGPR URGT
9399	12.06.2024	13.06.2024	YCM	P0 - SOLDAR PROTEÇÃO MOLAS TRASEIRA LD	ENCR SEGU URGT V
9390		13.06.2024	YCM	P0 - TROCAR PARAF FIX SOBRE BASE ACIONAM	ENCR URGT VPTS
6505	03.06.2024	07.06.2024	YCM	P4 - TROCAR MODULO 4º SEÇÃO E PARAF. FIX	ENCR APRV OMVE V
9184	28.05.2024	28.05.2024	YCM	P0 - REPOR PARAFUSO FALTANTE NO CHASSI	ENCR URGT VPTS
7351		28.05.2024	YCM	P4 - TROCAR OS COXINS DO CHASSI	ENCR APRV VPTS
1545	27.05.2024	28.05.2024	YCM	P5 - TROCAR CHAPAS GUIAS LATERAIS TREMON	ENCR OMVE URGT V
5597	23.05.2024	24.05.2024	YSS	MONTAR EIXO INTERMEDIÁRIO DA GRELHA	ENCR VPTS
6704	16.05.2024	16.05.2024	YCO	P5 - TROCAR E REPOR CHAPAS GUIAS LATERAI	ENCR VPTS
1522	09.05.2024	09.05.2024	YCM	LD_PRED_VIB_REALIZAR BALANCEAMENTO GRELH	AGDO AGPR AGRP
7021	08.05.2024	13.05.2024	YCM	P4 - TROCAR MANCAL EXTERNO E LABIRINTOS	AGDO AGMT APRV
5528		08.05.2024	YRR	REFORMAR GRELHA ESS 2400x5000	AGDO VPTS
9745	07.05.2024	07.05.2024	YOP	REALIZAR LIMPEZA NOS COXINS DO CHASSI	ENCR VPTS
6115		11.04.2024	YCM	P4- TROCAR MODULO 5º SEÇÃO E OS PARAFUS	ENCR APRV OMVE V
1041	04.04.2024	04.04.2024	YSS	PREPARAR E SOLDAR CHAPA DESVIADORA DO QU	ENCR VPTS
5895	27.03.2024	28.03.2024	YCM	P0 - CONFERIR TORQUE DOS PARAF FIX MÓDUL	AGDO AGPR VPTS
5892		01.04.2024	YCM	P1 - TROCAR OS 12 AMORTECEDORES	AGDO AGAR APRV
0788	06.03.2024	06.03.2024	YCM	P2 - TROCAR MODULO 1º SEÇÃO E PARAF. FIX	EXEC AGMT OMVE V
0571	05.03.2024	06.03.2024	YCM	P2 - TROCAR MODULO 2º SEÇÃO E PARAF. FIX	EXEC OMVE VPTS

Figura 21: Notas de manutenção vencidas

Fonte: Pesquisa direta 2026.

4.4.4 Avaliação do Sistema de Transferência

O sistema de alimentação por chute de transferência associado à correia transportadora analisada promove a transferência de material com um desnível vertical aproximado de 6 metros, influenciando diretamente as condições de escoamento e impacto do material. Em tais condições, materiais com elevada granulometria e/ou geometrias irregulares podem gerar níveis de energia de impacto significativos durante a queda, potencialmente superiores à capacidade de resistência da correia transportadora. De acordo com as especificações fornecidas pelo fabricante, a correia instalada apresenta resistência ao impacto limitada a 2 kJ.

A rocha de característica lamelar, responsável por um dos eventos de rasgo no equipamento, foi submetida à análise dimensional. O material apresentou dimensões aproximadas de 0,320 m de largura e 0,830 m de comprimento. Considerando uma altura de queda de 6 metros no sistema de alimentação, estima-se que a energia de impacto gerada sobre a cobertura da correia tenha ultrapassado o limite de resistência especificado pelo fabricante, chegando a 2,058 kJ, conforme demonstrado a seguir:

A área da seção transversal foi determinada conforme a Equação (6):

$$A = \frac{b \cdot h}{2} \quad (6)$$

Substituindo-se os valores na Equação (6), tem-se:

$$A = \frac{0,320 \cdot 0,830}{2} = 0,1328 \text{ m}^2$$

O volume do elemento foi calculado por meio da Equação (7):

$$V = A \cdot e \quad (7)$$

Assim, substituindo os valores:

$$V = 0,1328 \cdot 0,075 = 0,00996 \text{ m}^3$$

A massa foi determinada a partir da densidade do material, conforme a Equação (8):

$$m = \rho \cdot V \quad (8)$$

Substituindo-se os valores:

$$m = 3500 \cdot 0,00996 \approx 34,86 \text{ kg}$$

Arredondando-se o valor, obtém-se:

$$m \approx 35 \text{ kg}$$

Por fim, a energia potencial gravitacional foi obtida conforme a Equação (9):

$$E_p = m \cdot g \cdot h \quad (9)$$

Substituindo-se os valores:

$$E_p = 35 \cdot 9,8 \cdot 6 = 2058 \text{ J}$$

Legenda das variáveis

A = área da seção transversal (m^2)

b = base (m)

h = altura da seção (m)

V = volume (m^3)

e = espessura (m)

ρ = densidade do material (kg/m^3)

m = massa (kg)

g = aceleração da gravidade ($9,8 \text{ m}/\text{s}^2$)

E_p = energia potencial (J)

4.5 Organização de Dados e Levantamento de Causas

A organização dos dados coletados para a análise de falhas e a identificação das possíveis causas raízes foi conduzida em duas etapas distintas. Inicialmente, elaborou-se o diagrama de Ishikawa, fundamentado em informações obtidas em sessão de *brainstorming* e estruturadas conforme o modelo dos 6M. Na etapa subsequente, aplicou-se o método dos porquês, visando garantir a adequada identificação das causas determinantes do modo de falha analisado.

4.5.1 Organização de Dados

Após a análise dos sistemas e componentes envolvidos nas falhas que geram paradas para manutenções corretivas no transportador de correia, foi elaborado um diagrama de ishikawa, conforme Figura 22, por meio de uma reunião de *brainstorming* conduzida por uma equipe multidisciplinar, composta por profissionais das áreas de manutenção mecânica, elétrica, operação, vulcanização e engenharia.

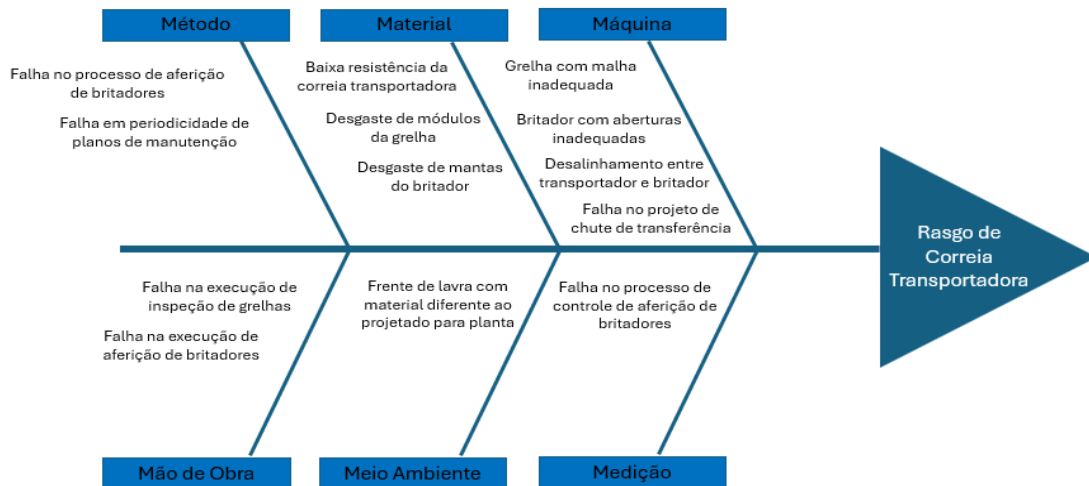


Figura 22: Diagrama de Ishikawa
Fonte: Pesquisa Direta (2026).

O diagrama de Ishikawa foi estruturado em categorias, conforme o modelo dos 6M. As possíveis causas, levantadas por meio de sessão de *brainstorming*, foram classificadas e organizadas nas respectivas categorias, conforme apresentado a seguir:

- **Método:** falhas no processo de aferição de britadores, associadas a possíveis desvios nos procedimentos operacionais de rotina; e inadequações na periodicidade dos planos de manutenção, cujos intervalos podem estar desalinhados com a taxa de desgaste de componentes críticos.
- **Material:** baixa resistência da correia transportadora, evidenciada pela alta incidência de rasgos; desgaste dos módulos de grelha, apresentando descontinuidades associadas ao desgaste abrasivo; e desgaste das mantas de britadores, caracterizado por padrões de desgaste acentuados e não uniformes em sua superfície.
- **Máquina:** inadequação da malha da grelha, permitindo a passagem de material com granulometria superior à especificada; ajustes inadequados nas aberturas do britador, podendo indicar falhas de especificação ou de parametrização operaci-

onal; desalinhamento entre transportador e britador, resultando em desgaste irregular de componentes internos; e deficiências no projeto do chute de transferência, favorecendo a queda abrupta de material e a sobrecarga acima do limite de resistência da correia transportadora.

- Mão de Obra: falhas na execução das atividades de inspeção de grelha, comprometendo a identificação e o tratamento de anomalias pré-existentes; bem como falhas na aferição de britadores, possibilitando a passagem de material fora das especificações devido à inadequação ou ausência de ajustes dentro dos limites operacionais estabelecidos.
- Meio Ambiente: variações na frente de lavra, com presença de material divergente das especificações da planta, decorrentes de inconsistências nos estudos de prospecção ou do avanço da mina em áreas não contempladas no projeto original da planta de beneficiamento.
- Medição: falhas no controle do processo de aferição de britadores, associadas à ausência de sistemas gerenciais para a consolidação, rastreabilidade e análise dos dados operacionais.

4.5.2 Levantamento de Causas Raízes

A partir das causas identificadas no diagrama de Ishikawa, aplicou-se o método dos porquês, com o objetivo de determinar uma ou mais causas raízes associadas ao efeito analisado, conforme apresentado na Tabela 3. As falhas mapeadas no diagrama foram avaliadas em diferentes níveis do método, sendo tratadas como causas primárias ou como fatores contribuintes de outras anomalias identificadas ao longo da análise.

Tabela 3: Método dos Porquês

Descrição do Problema	Por quê?	Por quê?	Por quê?	Por quê?	Por quê?	Por quê?	Por quê?
Rasgo de correia transportadora	alta energia de impacto do material sobre a correia transportadora	Altura elevada de queda de material no chute de alimentação	Chute, permitindo a geração de energia potencial elevada durante a queda de material, acima dos valores de resistência ao impacto da correia	Falha no projeto de chute de transferência	falta de sistema de amortecimento dentro da estrutura do chute de transferência		

	Baixa resistência da correia transportadora	Material com resistência diferente do especificado	fragilidade na resistência ao impacto				
		Material especificado na realização do projeto do transportador diferente do atual	Frente de lavra com material diferente ao projetado para planta	Presença de rochas de perfil lamelar com granulometria elevada no sistema de transporte por correias			
		Divergência de aplicação de correia em relação ao projeto do transportador	Falha na especificação da correia no processo de aquisição	Falta de estoque da correia original de projeto no momento da aplicação	Falta de previsibilidade no processo de troca	Falha no processo de inspeção	Periodicidade inadequada de planos
	Presença de rochas de perfil lamelar com granulometria elevada no sistema de transporte por correias	Passagem de material fora de especificação pelo sistema de britagem	Malha de grelha com abertura irregular	Desgaste de módulos da grelha na alimentação	Falha no controle de vida útil de componentes de desgaste		
					Falha no plano de inspeção	Quebra de janelas de visita para inspeção	
			Britador com abertura irregular	Baixa qualidade das mantas de britadores	Resistência a abrasão diferente do requisitado	Falha no processo de controle	
				Desgaste irregular das mantas devido a alimentação descentralizada	Desalinhamento entre correia e britador	taxa de alimentação atual diferente do projeto	Necessidade operacional
				Falha no processo de inspeção	Dificuldade de inspeção ao lado da câmara de alimentação do britador	Janela apresentando travamento de abertura	
				Abertura de britador acima do especificado durante período de medições	Baixa confiabilidade de aferições	Falha no processo de controle de aferição de britadores	Consolidação de informações realizada de forma não sistêmica
						Inconsistência no processo de aferição	Qualificação de mão de obra

Fonte: Pesquisa Direta (2026).

Com base na análise das causas levantadas pelo diagrama de causa e efeito, por meio do método dos porquês, as causas raízes foram identificadas e estão apresentadas a seguir:

- Causa raiz 1: Falha no processo de aferição, possibilitando a passagem de material lamelar com dimensões superiores às especificadas para o processo, associada à alimentação descentralizada do britador, a qual promove desgaste irregular dos componentes de desgaste.

- Causa raiz 2: Alta energia de impacto do material sobre a correia transportadora. Conforme memorial de cálculo, a energia potencial do bloco impactante excedeu a resistência estrutural da correia, tendo a ausência de sistema de amortecimento no chute como contribuinte.

- Causa raiz 3: Aumento da presença de material lamelar decorrente do desgaste da grelha de alimentação, por falha no controle de vida útil.

A inconsistência nos dados de aferição compromete a confiabilidade das medições, somada ao desgaste irregular dos componentes de desgaste decorrente de falha no projeto de instalação, resultando na passagem de material lamelar com dimensões compatíveis às observadas nos eventos de rasgo da correia. Como fatores contribuintes, destacam-se: a alta energia de impacto do material sobre a correia transportadora; o aumento de contaminação por material lamelar devido a desgaste na grelha.

4.6 Proposta de Plano de Ação

Após a organização dos dados, levantamento de causas raízes e a conclusão da análise de falha, torna-se necessária a elaboração de um plano de ação estruturado, contemplando medidas efetivas para prevenir a recorrência de eventos de manutenção corretiva.

O plano de ação desenvolvido contempla iniciativas a serem realizadas dentro de períodos pré-estabelecidos, com definição clara de responsáveis e forma de execução, visando garantir a mitigação das causas identificadas e a melhoria contínua do processo.

Adicionalmente, as ações propostas buscam eliminar desvios operacionais críticos, garantindo maior precisão no controle da granulometria de alimentação e promovendo a uniformidade do processo de britagem. A padronização das práticas de aferição e a melhoria das condições operacionais do britador contribuem diretamente para a redução da variabilidade do processo, aumentando a previsibilidade e o desempenho global do sistema.

Como resultado esperado, destaca-se a redução da incidência de falhas relacionadas a rasgos de correia, o aumento da vida útil dos componentes de desgaste e a otimização das rotinas de manutenção, com consequente diminuição de paradas não programadas. Além disso, o fortalecimento dos controles operacionais e a integração entre as equipes envolvidas promovem maior confiabilidade nas informações e maior assertividade na tomada de decisão.

Por fim, a implementação e o acompanhamento contínuo do plano de ação são fundamentais para assegurar a eficácia das medidas adotadas, devendo ser suportados por indicadores de desempenho e revisões periódicas. Dessa forma, consolida-se um processo mais robusto,

seguro e eficiente, alinhado às boas práticas de engenharia de manutenção e à busca pela excelência operacional.

4.6.1 Plano de Ação: Causa Raiz 1

Para mitigar as falhas identificadas nos processos de manutenção associadas à aferição e à alimentação descentralizada, foram definidas ações de curto prazo, com ênfase na padronização e rastreabilidade das aferições, no fortalecimento dos controles operacionais e na melhoria do desempenho do sistema de alimentação, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Plano de ação: Causa raiz 1

Origem da Ação	O que?	Por que?	Onde?	Quando?	Quem?	Como?
Ação de causa raiz 1	Verificar com o fornecedor do britador informações sobre parâmetros máximos de limite	Garantir aferição dentro dos parâmetros de projeto	Contato via e-mail	15/08/2025	Engenheiro de Manutenção	Solicitar especificações técnicas de projeto e manutenção do britador
Ação de causa raiz 1	Realizar estudo da máxima e mínima abertura admissível para britador, considerando as restrições granulométricas para o processo posterior.	Garantir adequação granulométrica de material aos circuitos posteriores ao sistema de britagem	Sistema de análise de fluxo	15/08/2025	Engenheiro de Manutenção	Realizar análise de fluxo via <i>software</i> , afim de garantir aferição de britador e transferência de material sem impactos a sistemas posteriores
Ação de causa raiz 1	Atualizar Plano de manutenção e procedimento de aferição de britadores	Necessário adicionar intervalo de abertura para aferição e sistema para consolidar informações	Sistema SAP e procedimentos operacionais	30/08/2025	Engenheiro de Operação	Implementar valores de APF para aferição de britadores; criar transação SAP para consolidação de dados

Ação de causa raiz 1	Reciclar operadores	Evitar falhas operacionais devido a falta de capacitação	Centro de aprendizado	15/09/2025	Engenheiro de Operação	Capacitar equipe apresentando plano de manutenção e procedimento de aferição devidamente atualizado
Ação causa raiz 1	Verificar estratégia de manutenção para troca de elementos de desgaste do britador	Garantir confiabilidade mecânica e operacional	Sistema SAP	15/08/2025	Engenheiro de Manutenção	Checar planos de manutenção e periodicidade de troca dos elementos de desgaste
Ação causa raiz 1	Solicitar simulação do projeto elaborado de centralização de alimentação do britador	Garantir alimentação centralizada do britador	Sistema SAP	30/08/2025	Engenheiro de Projetos	Solicitar via sistema SAP a elaboração do projeto de adequação do sistema de alimentação do britador
Ação de causa raiz 1	Realizar alinhamento de conjunto britador/correia de alimentação	Garantir alimentação centralizada do britador	Britador do sistema de britagem primária	30/10/2025	Engenharia de manutenção	Alterar posicionamento de britador em relação a correia transportadora responsável pela alimentação do sistema
Ação de causa raiz 1	Check de eficácia das ações para o rasgo de correia	Verificar eficácia das ações implementadas na mitigação de manutenções corretivas	Correia transportadora (objeto de estudo) do sistema de britagem primária	31/12/2025	Engenharia de confiabilidade	Avaliar indicadores de manutenção

Fonte: Pesquisa Direta (2026).

4.6.2 Plano de Ação: Causa Raiz 2

Com o intuito de mitigar falhas relacionadas a rasgos de correias nos transportadores do sistema de britagem primária, foram propostas ações, conforme Tabela 5, voltadas à redução do impacto do material sobre a correia transportadora, bem como à garantia da qualidade no fornecimento do componente, por meio de análises técnicas da correia instalada. As medidas incluem ações diretas e de curto prazo, envolvendo profissionais das equipes de engenharia de manutenção do ativo e da disciplina de vulcanização.

Tabela 5: Plano de ação: Causa raiz 2

Origem da Ação	O que?	Por que?	Onde?	Quando?	Quem?	Como?
Ação de causa raiz 2	Apresentar estudo detalhado para instalação de viga dentro do chute, considerando granulometria máxima admissível com simulação de queda do material.	Minimizar o impacto do material sobre correia transportadora	Via <i>software</i> de simulação e análise de campo	30/08/2025	Engenheiro de Manutenção	Realizar visita técnica para análise em campo e simulação de fluxo via <i>software</i> para instalação de viga para de amortecimento dentro do chute de transferência do transportador de correia
Ação de causa raiz 2	Envio de amostra da correia para teste de banda em laboratório	Garantir que as solicitações de projeto estejam em conformidade com o componente aplicado	Laboratório	23/08/2025	Analista de Vulcanização	Coletar amostrar da correia transportadora em campo e encaminhar para o laboratório
Ação de causa raiz 2	Coletar e analisar amostra de correia transportadora	Garantir que as solicitações de projeto estejam em conformidade com o	Desenhos e arquivos técnicos	30/08/2025	Analista de Vulcanização	Analisar construção da correia transportadora e com-

		componente aplicado				parar com solicitações de projeto
--	--	---------------------	--	--	--	-----------------------------------

Fonte: Pesquisa Direta (2026).

4.6.3 Plano de Ação: Causa Raiz 3

Para controlar o fluxo de material fora de especificação que alimenta o britador, foram propostas ações voltadas ao restabelecimento da capacidade nominal de retenção da grelha, bem como à redução do intervalo entre inspeções, a fim de assegurar maior controle operacional e confiabilidade do ativo, como apresentado na Tabela 6. As ações de curto prazo envolvem as áreas de engenharia, planejamento e controle, além da equipe de campo, responsável pela execução das práticas de manutenção.

Tabela 6: Plano de ação: Causa raiz 3

Origem da Ação	O que?	Por que?	Onde?	Quando?	Quem?	Como?
Ação de causa raiz 3	Revitalizar janelas de pontos de inspeção	Garantir inspeções de pontos críticos dos equipamentos responsáveis por reter materiais fora de especificação	Grelhado sistema de britagem primária	30/08/2025	Engenharia de manutenção	Trocar componentes mecânicos responsáveis pela articulação de janelas basculantes do sistema de inspeção
Ação de causa raiz 3	Realizar troca de grandes da grelha	Reestabelecer capacidade nominal do bloqueio de material fora de especificação	Grelha do sistema de britagem primária	15/08/2025	Engenharia de Manutenção / Equipe de manutenção mecânica	Trocar grades da grelha de alimentação

Ação de causa raiz 3	Realizar alteração de intervalo de inspeção em grelhas nos planos de manutenção/inspeção	Garantir integridade do sistema até que a confiabilidade do sistema seja reestabelecida	Grelha do sistema de britagem primária	15/08/2025	Engenharia de Manutenção / PCM	Alterar horizonte de abertura de ordens sistemáticas do sistema SAP
-----------------------------	--	---	--	------------	--------------------------------	---

Fonte: Pesquisa direta (2026).

4.6.4 Plano de ação: Ações de Melhoria

Foi desenvolvido um conjunto de ações de melhoria com o objetivo não apenas de mitigar a ocorrência de falhas e aumentar a confiabilidade do ativo, mas também de elevar a qualidade do processo de britagem, reduzir o tempo de intervenção em manutenções corretivas e preventivas por meio da aplicação de novas tecnologias, além de promover o aumento da segurança dos colaboradores envolvidos nas atividades operacionais em campo, como apresentado na Tabela 7.

Tabela 7: Plano de ação: Ações de Melhoria

Origem da Ação	O que?	Por que?	Onde?	Quando?	Quem?	Como?
Ação de melhoria	Abrir nota para estudo, levantamento de custos e implantação de nova grelha	Otimizar processo e aumentar confiabilidade do sistema	Sistema SAP	31/12/2025	Engenheiro de Operação	Solicitar estudo de viabilidade técnica para implementação de grelha fixa de maior resistência ao impacto e desgaste abrasivo
Ação de melhoria	Realizar estudos e fornecer nova especificação de correia para o equipamento	Garantir aplicação de correia com maior resistência ao impacto e rasgo por lamelares	Sistema de análise e simulação de fluxo para transportadores	30/08/2025	Analista de Vulcanização	Realizar análise de correia em <i>software</i> e especificar novo código a partir dos disponíveis por fornecedores homologados

Ação de melhoria	Definir corpo de prova para aferição de britadores	Garantir maior eficiência e velocidade em atividades de aferições de britadores	Desenhos e arquivos técnicos / oficina de caldeiraria	30/08/2025	Engenheiro de Manutenção / Soldador	Verificar desenhos técnicos do equipamento, elaborar e realizar confecção de corpo de prova
Ação de melhoria	Realizar abrangência do estudo de especificação de correia para os demais transportadores do circuito	Mitigar ocorrência de falhas de mesma natureza em transportadores similares	Sistema SAP	15/09/2025	Analista de Vulcanização	Verificar transportadores similares e alterar códigos de correia no sistema SAP
Ação de melhoria	Realizar GEMBA para verificar melhor sistema de grelha para aplicação na britagem primária	Melhorar eficiência do sistema com implantação de nova tecnologia	Área de britagem primária	30/10/2025	Engenheiro de Operação / Manutenção	Ir a campo, avaliar layout, limitações e características do processo. Envolver possíveis fornecedores para propor soluções

Fonte: Pesquisa Direta (2026).

4.7 Análise de Eficiência das Ações

Após a implementação das ações propostas, foi conduzida uma avaliação sistemática da sua eficácia no tratamento das causas raízes, conforme apresentado na Figura 21. O monitoramento foi realizado no período de julho a novembro de 2024, contemplando indicadores operacionais e registros de falhas associados ao transportador analisado.



Figura 23: NIC e HMC após aplicação de plano de ação

Fonte: Pesquisa Direta (2026).

Os gráficos apresentados na Figura 23 demonstram uma redução significativa tanto no número de intervenções corretivas (NIC) associadas a eventos de rasgo quanto nas horas de manutenção corretiva (HMC). No primeiro gráfico, a linha azul contínua representa a quantidade de ocorrências ao longo do período analisado, enquanto a linha vermelha tracejada indica a tendência decrescente, convergindo para valores próximos a zero. No segundo gráfico, a linha azul contínua apresenta as horas de manutenção corretiva distribuídas ao longo dos meses, ao passo que a linha vermelha tracejada evidencia a tendência de redução das horas destinadas às paradas corretivas, igualmente convergindo para patamares próximos a zero.

Os resultados obtidos evidenciaram desempenho satisfatório, com a eliminação da recorrência de eventos de rasgo na correia durante o período avaliado, indicando efetiva mitigação dos mecanismos de falha anteriormente identificados.

5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusão

O presente trabalho teve como objetivo aplicar tratameto de falhas, visando prevenir e mitigar a ocorrência de eventos que resultam em paradas não programadas em um transportador de correia de uma indústria de mineração. Com base nos conceitos desenvolvidos e nas tratativas adotadas para os problemas identificados, evidencia-se a eficácia dos planos de ação implementados, refletida nos resultados obtidos ao término do estudo.

Nesse contexto, a aplicação integrada das ferramentas de *brainstorming*, diagrama de Ishikawa e método dos porquês possibilitou a identificação de três causas raízes: fragilidade na estratégia de aferição de britadores, alta energia de impacto do material sobre a correia transportadora instalada e descontinuidades associadas ao desgaste dos módulos de grelha no sistema de alimentação. Posteriormente, aplicou-se a metodologia 5W1H para a elaboração do plano de ação, visando à definição de contramedidas para cada causa raiz identificada, bem como à proposição de ações estruturadas de melhoria do sistema.

A aplicação em conjunto dos métodos mencionados demonstrou-se eficaz no tratamento de falhas, contribuindo para a redução das intervenções corretivas. A inexistência de ocorrências de rasgo, como modo de falha, no período de julho a novembro de 2025, evidencia a efetividade das ações implementadas a partir da correta identificação das causas raízes.

A análise do sistema de forma integrada, e não restrita apenas ao equipamento onde a falha se manifesta, mostrou-se fundamental para o tratamento eficaz do modo de falha, assim como o desenvolvimento de interface direta com fornecedores e o engajamento entre diferentes disciplinas. A partir da correta identificação da falha e da implementação das ações associadas, espera-se aprimorar a estratégia de manutenção aplicada aos transportadores do mesmo sistema, por meio da replicação das soluções adotadas, contribuindo para a redução de intervenções corretivas em todo o sistema.

5.2 Recomendações

Após a condução da análise de falhas e da elaboração de um plano de ação visando à minimização das intervenções corretivas em um transportador de correia, recomendam-se as seguintes propostas para estudos futuros:

- Analisar os ganhos relacionados a minimização do número de paradas corretivas em uma correia transportadora do sistema de britagem primária;
- Conduzir estudo para avaliar os impactos das variações nas características geométricas do minério sobre o desempenho dos equipamentos do circuito de britagem primária;
- Desenvolvimento de estudo voltado à seleção de materiais com elevada resistência ao desgaste abrasivo e ao impacto, aplicáveis a módulos de grelhas e mantas de britadores cônicos.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6177: transportadores contínuos – transportadores de correia – terminologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ALMEIDA, Paulo Samuel D. **Manutenção mecânica industrial: conceitos básicos e tecnologia aplicada**. São Paulo: Saraiva, 2015. E-book. ISBN 9788536519791. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536519791/>. Acesso em: 17 mai. 2026.

BUENO, Edson Roberto Ferreira. **Gestão da manutenção de máquinas**. 1. ed. Curitiba: [s.n.], 2020.

CHAVES, Arthur Pinto. **Manuseio de sólidos granulados**. 2. ed. Porto Alegre: Oficina de Textos, 1970. v. 5. E-book. ISBN 9788579752162. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788579752162/>. Acesso em: 19 mai. 2026.

FÁBRICA DE AÇO PAULISTA S.A. (FAÇO). **Manual de transportadores contínuos**. 4. ed. São Paulo: Allis Mineral Systems, 1991.

FARHAT, Mohamed Habib et al. **Novel Fault Diagnosis of a Conveyor Belt2Mis-Tracking via Motor Current Signature Analysis**. *Sensors*, v. 23, n. 7, 3p. 3652, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/s23073652>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/7/3652>. Acesso em: 11 jul. 2026.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

IN THE MINE. **Produtividade na manutenção de britadores**. 2014. Disponível em: <https://www.inthemine.com.br/site/produtividade-na-manutencao-de-britadores/>. Acesso em: 01 jun. 2026.

JÚNIOR, Elias Costa Moura. **Sistema de manutenção: proposta de um modelo para empresa que não possua sistema integrado de manutenção**. 1. ed. [s.l.: s.n.], 2019.

JÚNIOR, Farid C. **Minério de ferro**. São Paulo: Blucher, [s.d.]. E-book. ISBN 9788521207429. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521207429/>. Acesso em: 24 mai 2026.

KARDEC, Alan; NASCIF, Julio. **Manutenção: função estratégica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

LONGARAY, André Andrade. **Introdução à pesquisa operacional**. Rio de Janeiro: Saraiva, 2013. E-book. ISBN 9788502210844. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788502210844/>. Acesso em: 10 jun. 2026.

LUZ, Adão Benvindo da; SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Sérgio C. A. **Tratamento de minérios**. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.

RUIZ, João Álvaro. **Metodologia científica: guia para eficiência nos estudos**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1995.

SELEME, Robson. **Manutenção industrial: mantendo a fábrica em funcionamento**. 1. ed. Curitiba: InterSaberes, 2015.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005.

STEIN, Ronei T.; SOUZA, Tamiris Fonseca D.; GONÇALVES, Filipe M. et al. **Tratamento de minérios**. Porto Alegre: Grupo A, 2022. E-book. ISBN 9786556903446. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786556903446/>. Acesso em: 17 jul. 2026.

SUNGDA CONVEYOR BELT CO., LTD. **7 principais razões para o rasgamento de correias transportadoras de EP e medidas preventivas de armazenamento**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.sungda.com/pt-pt/index.php/7-main-reasons-for-tearing-of-ep-conveyor-belts-and-preventive-storage-measures-pt-pt/>. Acesso em: 11 jul. 2026.

TAVARES, Lourival Augusto. **Manutenção centrada no negócio**. Rio de Janeiro: Novo Polo, 2005.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1998.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **PCM: planejamento e controle da manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

XENOS, Harilaus Georgius d'. **Gerenciando a manutenção preventiva: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998.