



Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas
Departamento de Engenharia de Produção



Ivo Esteves Rodrigues

**A IMPORTÂNCIA DO PLANEJAMENTO E DA GESTÃO DA
INFRAESTRUTURA DE MINA: MANUTENÇÃO EM CONTEXTO DE
PARALISAÇÃO**

Ouro Preto – MG
2026

Ivo Esteves Rodrigues

**A IMPORTÂNCIA DO PLANEJAMENTO E DA GESTÃO DA
INFRAESTRUTURA DE MINA: MANUTENÇÃO EM CONTEXTO DE
PARALISAÇÃO**

Monografia apresentada ao curso de graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientadora: Irce Fernandes Gomes Guimarães
Coorientadora: Fernanda Del'Amore Martins

Ouro Preto – MG
2026

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

R696a Rodrigues, Ivo Esteves.

A importância do planejamento e da gestão da infraestrutura de mina
[manuscrito]: manutenção em contexto de paralisação. / Ivo Esteves
Rodrigues. - 2026.

78 f.: il.: color., gráf..

Orientadora: Profa. Dra. Irce Guimarães.

Coorientadora: Ma. Fernanda Martins.

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

1. Minas e recursos minerais - Manutenção. 2. Infraestrutura
(Economia) - Administração. 3. Desempenho - Avaliação. I. Guimarães,
Irce. II. Martins, Fernanda. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV.
Título.

CDU 658.5

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



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO,
ADMINISTRAÇÃO E ECON



FOLHA DE APROVAÇÃO

Ivo Esteves Rodrigues

A IMPORTÂNCIA DO PLANEJAMENTO E GESTÃO DA INFRAESTRUTURA DE MINA: MANUTENÇÃO EM CONTEXTO DE PARALISAÇÃO

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

Aprovada em 24 de junho de 2026

Membros da banca

Dra. Irce Fernandes Gomes Guimarães - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)
Dr. Yã Grossi Andrade - Membro UFOP/ DEPRO (Universidade Federal de Ouro Preto)
Engenheira Mestranda Fernanda Del' Amore Martins - Membro UFOP/ MECON (Universidade Federal de Ouro Preto)

Profa. Dra. Irce Fernandes Gomes Guimarães, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 07/08/2026



Documento assinado eletronicamente por **Irce Fernandes Gomes Guimaraes, VICE-DIRETOR(A) DA ESCOLA DE MINAS**, em 12/08/2026, às 00:28, 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 **1146562** e o código CRC **07D5B234**.

RESUMO

A gestão da manutenção em minas temporariamente paralisadas representa um desafio relevante para empresas mineradoras, especialmente pela necessidade de manter controle sobre áreas que, embora sem lavra ativa, continuam demandando planejamento e acompanhamento técnico. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo analisar a importância do planejamento e da gestão da manutenção da infraestrutura em minas temporariamente paralisadas, considerando o acompanhamento das ações e dos indicadores de desempenho em um estudo de caso no corredor sudeste de Minas Gerais. A pesquisa foi desenvolvida por meio de revisão bibliográfica narrativa, análise documental e estudo de caso, utilizando registros internos referentes às atividades de manutenção acompanhadas ao longo de 2024. Foram analisados o processo de planejamento adotado, a organização das ações de manutenção e os resultados obtidos por meio dos indicadores utilizados pela área. Os resultados demonstraram que o planejamento contribui para estruturar a gestão da manutenção em contexto de paralisação, permitindo maior controle sobre as demandas e melhor compreensão do desempenho das ações executadas. Observou-se também que a gestão dessas áreas exige capacidade de adaptação diante de restrições operacionais, demandas não previstas e variações nas condições de campo. Conclui-se que o planejamento da manutenção constitui um instrumento essencial para a gestão da infraestrutura em minas paralisadas, contribuindo para a organização das atividades, o controle das ações e o suporte à tomada de decisão.

Palavras-chave: Minas paralisadas; Planejamento da manutenção; Gestão da infraestrutura; Indicadores de desempenho; Manutenção preventiva.

ABSTRACT

Maintenance management in temporarily suspended mines represents a relevant challenge for mining companies, especially due to the need to maintain control over areas that, although without active mining operations, still require planning and technical monitoring. In this context, this study aims to analyze the importance of planning and managing infrastructure maintenance in temporarily suspended mines, considering the monitoring of maintenance activities and performance indicators in a case study conducted in the Southeastern Corridor. The research was developed through a narrative literature review, documentary analysis and case study, using internal records related to maintenance activities monitored throughout 2024. The planning process adopted, the organization of maintenance actions and the results obtained through the indicators used by the area were analyzed. The results showed that planning contributes to structuring maintenance management in a suspension context, allowing greater control over demands and a better understanding of the performance of executed actions. It was also observed that managing these areas requires adaptability in the face of operational restrictions, unforeseen demands and variations in field conditions. It is concluded that maintenance planning is an essential instrument for infrastructure management in temporarily suspended mines, contributing to the organization of activities, control of actions and support for decision-making.

Keywords: Temporarily suspended mines; Maintenance planning; Infrastructure management; Performance indicators; Preventive maintenance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição das principais minas brasileiras mapeadas pela ANM.....	14
Figura 2 – Ciclo de vida do projeto mineral.....	15
Figura 3 – Classificação dos tipos de minas.....	18
Figura 4 – Exemplo de mina a céu aberto no Quadrilátero Ferrífero.....	19
Figura 5 – Exemplo de mina subterrânea de potássio em Rosário do Catete, Sergipe.....	20
Figura 6 – Vista de uma mina paralisada a céu aberto.....	22
Figura 7 – Comparativo entre mina em atividade e mina paralisada.....	24
Figura 8 – Importância da manutenção em minas paralisadas.....	28
Figura 9 – Classificação dos principais tipos de manutenção.....	30
Figura 10 – Instrumentos de monitoramento em áreas minerárias.....	37
Figura 11 – Fluxo conceitual do planejamento da manutenção em minas paralisadas.....	41
Figura 12 – Principais desafios da manutenção em minas paralisadas.....	46
Figura 13 – Distribuição geográfica das minas paralisadas.....	54
Figura 14 – Fluxo operacional do planejamento da manutenção.....	57
Figura 15 – Indicadores do planejamento entre as semanas 1 e 26.....	63
Figura 16 – Indicadores do planejamento entre as semanas 27 e 52.....	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais riscos envolvidos na manutenção em minas paralisadas.....	26
Quadro 2 – Principais desafios da manutenção em minas paralisadas.....	46
Quadro 3 – Enquadramento metodológico da pesquisa.....	49
Quadro 4 – Indicadores utilizados no acompanhamento da manutenção.....	59
Quadro 5 – Síntese anual das ações do Corredor Sudeste.....	61
Quadro 6 – Resultado anual dos indicadores.....	62
Quadro 7 – Síntese do comportamento dos indicadores em 2024	65
Quadro 8 – Diretrizes identificadas a partir do estudo de caso	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADEMA – Administração Estadual do Meio Ambiente

ANM – Agência Nacional de Mineração

COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental

EPI – Equipamento de Proteção Individual

FMEA – Failure Mode and Effects Analysis

IA – Índice de Aderência

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração

IC – Índice de Cumprimento

IE – Índice de Efetividade

MCC – Manutenção Centrada na Confiabilidade

NR – Norma Regulamentadora

PNR – Planejado Não Realizado

PR – Planejado Realizado

RCM – Reliability Centered Maintenance

RNP – Realizado Não Planejado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA	8
1.2 OBJETIVOS	9
1.2.1 Objetivo geral	9
1.2.2 Objetivos específicos	9
1.3 HIPÓTESES	10
1.4 ESTRUTURAÇÃO DO ESTUDO	10
2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	13
2.1 SETOR DE MINERAÇÃO	13
2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE MINA	17
2.3 MINAS PARALISADAS	21
2.4 MANUTENÇÃO EM MINAS PARALISADAS	25
2.4.1 Tipos de manutenção	29
2.4.1.1 Manutenção corretiva	30
2.4.1.2 Manutenção preventiva	31
2.4.1.3 Manutenção preditiva	33
2.4.1.4 Manutenção centrada na confiabilidade	34
2.4.2 Tecnologias e ferramentas de apoio à manutenção em minas paralisadas	35
2.5 PLANEJAMENTO DA MANUTENÇÃO EM MINAS PARALISADAS	39
2.6 DESAFIOS DA MANUTENÇÃO EM MINAS PARALISADAS	42
2.6.1 Limitação de recursos e priorização das intervenções	42
2.6.2 Deterioração dos ativos, condições ambientais e estabilidade geotécnica	43
2.6.3 Mão de obra, logística e disponibilidade de materiais	43
2.6.4 Exigências regulatórias e incorporação tecnológica	45
3 METODOLOGIA	48
3.1 ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO DA PESQUISA	48
3.2 PROCEDIMENTOS DE COLETA E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS	49
3.3 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE	50
3.4 LIMITAÇÕES DA PESQUISA	51
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO	52
4.2 DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS ANALISADAS	53
4.3 FLUXO DE PLANEJAMENTO DA MANUTENÇÃO EM MINAS PARALISADAS	55
4.4 INDICADORES DE ACOMPANHAMENTO DA MANUTENÇÃO	57
4.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS INDICADORES	59
4.5.1 Organização dos dados analisados	59
4.5.2 Síntese anual das ações acompanhadas	60
4.5.3 Resultado anual dos indicadores	62
4.5.4 Evolução semanal dos indicadores	63
4.6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E ANÁLISE DAS HIPÓTESES	66
5 CONCLUSÃO	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74

1 INTRODUÇÃO

Esta seção inicial apresenta a contextualização do tema, explicitando sua relevância e os motivos que orientaram a realização deste trabalho. Na sequência, são descritos os objetivos e as hipóteses associadas, bem como a estrutura do texto.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

Em minas paralisadas com potencial de retomada, o planejamento e a gestão da infraestrutura são etapas fundamentais para preservar a integridade e a prontidão operacional. Mesmo fora de operação, componentes da mina como taludes¹, drenagens, sumps² e vias de acesso permanecem expostas a intempéries e ações antrópicas, acelerando a sua degradação. Assim, uma gestão adequada, baseada em manutenções preventivas e corretivas, assegura o desempenho geotécnico das estruturas e a mitigação de riscos operacionais, ambientais e humanos associados à instabilidade de taludes, erosões superficiais e falhas de drenagem.

Neste sentido, a manutenção preventiva quando corretamente planejada, atua de forma proativa na preservação da integridade física das frentes de lavra e acessos, evitando a evolução de patologias geotécnicas que possam comprometer a segurança operacional. Entre as principais atividades inseridas nesse contexto, destacam-se a adequação geométrica de taludes, a manutenção e correção de sistemas de drenagem superficial e subterrânea, a gestão e limpeza de sumps, e a adequação de vias de acesso e rampas de transporte. Essas ações têm como objetivo principal preservar as condições de estabilidade e funcionalidade das estruturas frente às variações climáticas e operacionais.

Em contrapartida, a ausência de planejamento ou a execução inadequada de atividades de manutenção pode resultar em situações inseguras chegando a criticidades, como rupturas de taludes, erosões acentuadas, assoreamento de canais de drenagem, inundações localizadas e instabilidade em vias de acesso, principalmente durante o período chuvoso. Tais ocorrências não apenas comprometem a segurança dos trabalhadores e equipamentos, mas também acarretam interrupções operacionais, elevação de custos e aumento de riscos ambientais.

Dessa forma, a implementação de um plano de gestão integrada de manutenção da infraestrutura de mina, com enfoque em monitoramento contínuo, inspeções sistemáticas e manutenção preventiva, torna-se indispensável para o avanço seguro das atividades

¹ Terreno em declive; rampa, escarpa.

² Reservatório estratégico que coleta e armazena água e sedimentos.

minerárias. Além disso, o uso de tecnologias de monitoramento remoto, modelagem geotécnica e sistemas de drenagem inteligentes potencializa a eficiência das ações de mitigação, reduzindo significativamente a probabilidade de falhas estruturais.

Portanto, a adoção de um planejamento robusto e de uma gestão eficiente da infraestrutura de mina garantem a sustentabilidade operacional e a segurança geotécnica. Além disso, reforça o compromisso da mineração moderna com a prevenção de riscos e a conformidade ambiental, principalmente diante das adversidades climáticas e dos desafios impostos pela operação contínua em grandes áreas que foram lavradas, que posteriormente passaram a ser inativas.

1.2 OBJETIVOS

Nessa seção são apresentados os objetivos que norteiam esse estudo.

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a contribuição do planejamento e da gestão da manutenção da infraestrutura para o controle da execução das ações de manutenção, a identificação de desvios e o apoio à tomada de decisão em minas temporariamente paralisadas, por meio da análise dos registros das ações e dos indicadores de desempenho em um estudo de caso no Corredor Sudeste.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar revisão bibliográfica narrativa sobre planejamento e controle da manutenção, com foco em manutenção preventiva, gestão de riscos e indicadores de desempenho, aplicados ao contexto de minas temporariamente paralisadas.
- Caracterizar o contexto das minas temporariamente paralisadas analisadas, identificando as principais estruturas, áreas acompanhadas e atividades de manutenção da infraestrutura.
- Mapear as atividades essenciais em mina paralisada e descrever o fluxo de planejamento da manutenção em estruturas inativas, do levantamento das ações ao envio do plano à equipe de campo.
- Analisar os indicadores de desempenho utilizados no acompanhamento das ações de

manutenção, com foco em aderência, cumprimento e efetividade, considerando também reprogramação ao longo do período estudado.

- Discutir os resultados obtidos à luz das hipóteses da pesquisa, avaliando o papel do planejamento, das rodadas periódicas, das demandas não previstas, da sazonalidade climática e das restrições operacionais no controle das ações de manutenção.
- Identificar, com base nos resultados do estudo de caso, diretrizes gerenciais que possam contribuir para o planejamento, o acompanhamento e o controle da manutenção em minas temporariamente paralisadas.

1.3 HIPÓTESES

- O resultado anual consolidado dos indicadores pode ocultar oscilações relevantes no desempenho semanal das ações de manutenção, tornando necessário o acompanhamento em ciclos menores de controle.
- A reprogramação das ações não executadas contribui para o controle das pendências no planejamento, mas não elimina a ocorrência de desvios durante o período acompanhado.
- A estratégia de atendimento das frentes de serviço por rodadas periódicas tende a otimizar o uso dos recursos em áreas geograficamente distribuídas, mas pode limitar a capacidade de resposta imediata a novas anomalias identificadas em campo.
- A ocorrência de demandas não previstas durante a execução das atividades exige flexibilidade do planejamento, sem que isso represente, necessariamente, perda de controle sobre as ações programadas.
- As oscilações no cumprimento das ações planejadas tendem a se intensificar em períodos de maior restrição operacional, especialmente durante a estação chuvosa, em razão da possível influência das condições climáticas sobre acessos, mobilização de recursos e execução das atividades em campo.

1.4 ESTRUTURAÇÃO DO ESTUDO

Para alcançar os objetivos propostos e organizar o desenvolvimento da pesquisa, este trabalho está estruturado em cinco capítulos principais, descritos a seguir.

Capítulo 1 - Introdução

No Capítulo 1 é apresentada a introdução do trabalho, contendo a contextualização do tema, a delimitação do problema de pesquisa, a justificativa do estudo, os objetivos geral e específicos e as hipóteses norteadoras da investigação.

Capítulo 2 - Referencial bibliográfico

No Capítulo 2 é apresentado o referencial bibliográfico utilizado para fundamentar a pesquisa. São abordados aspectos relacionados ao setor da mineração, à classificação dos tipos de mina, às minas paralisadas, à manutenção aplicada a esse contexto, aos tipos de manutenção, às tecnologias e ferramentas de apoio, ao planejamento das ações e aos principais desafios envolvidos na conservação da infraestrutura de minas sob suspensão temporária de lavra.

Capítulo 3 - Metodologia

No Capítulo 3 são apresentados os procedimentos metodológicos utilizados no desenvolvimento da pesquisa. O capítulo contempla o enquadramento metodológico do estudo, os procedimentos de coleta e organização dos dados, os critérios adotados para análise das informações e as limitações da pesquisa.

Capítulo 4 - Resultados e discussão

No Capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos a partir do estudo de caso. Inicialmente, é realizada a caracterização da área analisada e a delimitação das estruturas consideradas no estudo. Em seguida, são descritos o fluxo de planejamento da manutenção, os indicadores utilizados no acompanhamento das ações e a análise dos resultados anuais e semanais referentes ao ano de 2024. Ao final, os resultados são discutidos de forma integrada à luz das hipóteses estabelecidas na introdução, sendo também apresentadas as diretrizes gerenciais identificadas a partir do estudo de caso.

Capítulo 5 - Conclusão

No Capítulo 5 são apresentadas as conclusões da pesquisa, retomando os objetivos propostos e os principais resultados alcançados. Também são destacadas as contribuições do estudo para a gestão da manutenção em minas paralisadas e as possibilidades de aprofundamento em trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

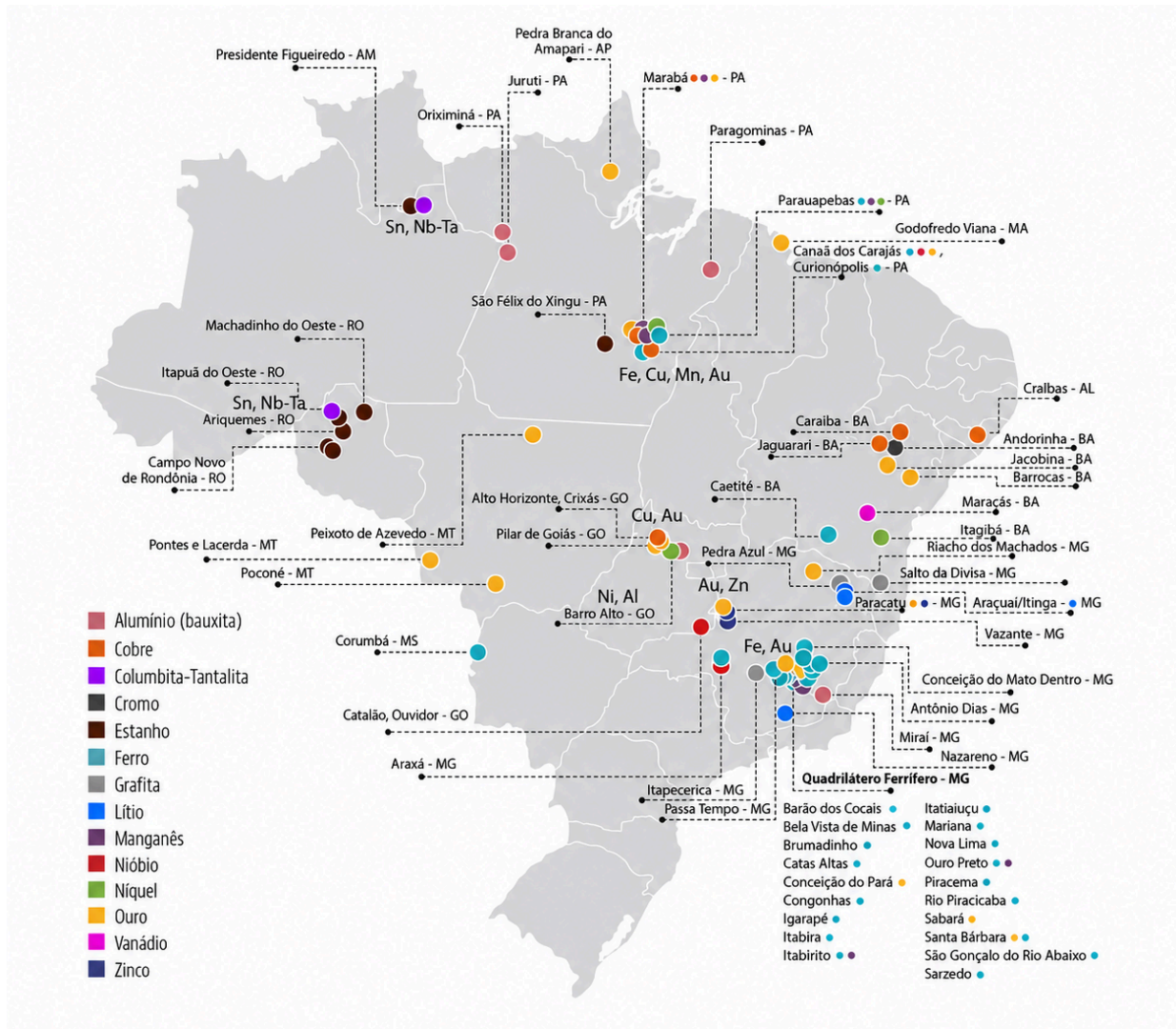
Neste capítulo são apresentadas referências bibliográficas que tratam dos temas abordados ao longo desta pesquisa, fornecendo a base que sustentará as análises e discussões dos próximos capítulos.

2.1 SETOR DE MINERAÇÃO

A mineração constitui uma atividade estratégica para o desenvolvimento econômico e social, uma vez que os recursos minerais estão presentes em diferentes cadeias produtivas e são utilizados em setores como construção civil, indústria metalúrgica, fabricação de equipamentos, produção de energia, tecnologia e infraestrutura urbana. Dessa forma, o setor mineral desempenha papel relevante no abastecimento de matérias-primas essenciais ao funcionamento das sociedades modernas, tanto em escala nacional quanto internacional (Ibram, 2023).

No Brasil, a atividade mineradora possui expressiva importância em razão da diversidade e da abundância de recursos minerais existentes no território nacional. Segundo a Agência Nacional de Mineração (ANM, 2023), o país destaca-se entre os principais produtores mundiais de minério de ferro, bauxita, manganês, ouro e nióbio, além de diversos outros bens minerais utilizados em processos industriais. Além de sua relevância produtiva, a mineração contribui para a geração de empregos, arrecadação de impostos, desenvolvimento regional e fortalecimento das exportações brasileiras, sendo considerada uma importante fonte de riqueza para diferentes regiões do país. A distribuição espacial dessas atividades no território nacional pode ser observada na Figura 1, que evidencia a presença de importantes empreendimentos minerários em diferentes regiões do país.

Figura 1 – Distribuição das principais minas brasileiras mapeadas pela ANM



Fonte: Agência Nacional de Mineração (2025, ano-base 2024).

Nesse contexto, os elementos de terras raras também têm recebido crescente atenção devido à sua importância estratégica para tecnologias de ponta, incluindo eletrônicos de consumo, energias renováveis, veículos elétricos e sistemas de defesa. Esses minerais são frequentemente classificados como matérias-primas críticas, pois estão associados à inovação tecnológica, à transição energética e à segurança das cadeias globais de suprimento (Leal Filho et al., 2023; Salim et al., 2022). No Brasil, a discussão sobre esses recursos relaciona-se, ainda, a políticas de desenvolvimento industrial e de valorização da produção mineral nacional, especialmente diante da necessidade de ampliar a capacidade do país nas etapas de beneficiamento, processamento e transformação industrial desses minerais (Mindreau, 2025).

De acordo com Galo (2023), o desenvolvimento de uma mina passa por diversas fases técnicas, operacionais e gerenciais, iniciando-se pela pesquisa mineral, cuja função é

identificar, caracterizar e avaliar o depósito mineral. Em seguida, são realizados estudos de viabilidade, planejamento da lavra, escolha dos métodos de extração, construção da infraestrutura necessária e definição das condições operacionais da mina. Posteriormente, ocorre a lavra, etapa em que o minério é extraído e encaminhado para os processos de beneficiamento, transporte e comercialização. Além disso, a atividade minerária deve contemplar as etapas de fechamento e pós-fechamento da mina, uma vez que a gestão eficiente dessas fases influencia diretamente os aspectos ambientais, econômicos e sociais do empreendimento mineral. A Figura 2 apresenta, de forma esquemática, as principais etapas do ciclo de vida de um projeto mineral.

Figura 2 – Ciclo de vida do projeto mineral



Fonte: Adaptado de Galo (2023).

A crescente competitividade do mercado mineral exige das empresas elevados níveis de produtividade, controle de custos e eficiência operacional. Nesse cenário, a gestão torna-se um fator decisivo para o sucesso dos empreendimentos minerários. Conforme destacam Slack e Brandon-Jones (2018), a Engenharia de Produção contribui diretamente para esse processo por meio da aplicação de técnicas de planejamento, controle de processos, gestão da manutenção, otimização de recursos e melhoria contínua.

Dentro das operações de mineração, a infraestrutura de mina representa um conjunto de elementos essenciais para o funcionamento adequado das atividades produtivas. Fazem parte dessa infraestrutura as estradas de acesso, sistemas de drenagem, oficinas de manutenção, áreas de armazenamento, sistemas de abastecimento de combustíveis, estruturas administrativas e demais instalações que dão suporte às operações de lavra e beneficiamento.

A disponibilidade e a confiabilidade dessas estruturas influenciam diretamente a produtividade da mina, a segurança das operações e a continuidade dos processos produtivos (Darling, 2011).

A manutenção da infraestrutura constitui uma atividade estratégica para garantir a continuidade operacional. Equipamentos de grande porte, caminhões fora de estrada, escavadeiras, correias transportadoras e estruturas de apoio estão sujeitos ao desgaste decorrente das condições severas de operação. Dessa forma, torna-se indispensável a implementação de programas de manutenção capazes de prevenir falhas, reduzir interrupções não planejadas e aumentar a disponibilidade dos ativos operacionais (Kardec; Nascif, 2019).

A manutenção preventiva assume especial importância em períodos de paralisação operacional. Em determinadas situações, as minas podem interromper temporariamente suas atividades devido a fatores econômicos, oscilações de mercado, condições climáticas adversas, restrições ambientais ou necessidades de reestruturação operacional. Durante esses períodos, a ausência de planejamento pode provocar deterioração acelerada de equipamentos, estruturas e sistemas de apoio, elevando os custos de recuperação e comprometendo a retomada das operações.

Nesse contexto, o planejamento da manutenção preventiva permite que a paralisação seja utilizada como oportunidade para execução de inspeções, substituição de componentes desgastados, recuperação de estruturas e atualização de sistemas operacionais. Além disso, essa prática contribui para reduzir custos futuros, aumentar a vida útil dos ativos, minimizar riscos operacionais e garantir melhores condições para o retorno das atividades produtivas (Kardec; Nascif, 2019).

As atividades de manutenção em áreas minerárias envolvem riscos associados à circulação de equipamentos pesados, trabalho em altura, contato com partes móveis de máquinas, choques elétricos, instabilidade de taludes, quedas em acessos irregulares e exposição a agentes físicos, químicos e ambientais. Esses riscos podem comprometer a segurança dos trabalhadores, a integridade da infraestrutura e a continuidade ou retomada segura das operações. Nesse sentido, a adoção de medidas preventivas torna-se fundamental para reduzir a probabilidade de acidentes e falhas operacionais, de acordo com as diretrizes de segurança e saúde ocupacional aplicáveis à mineração previstas na NR-22 (Brasil, 2026; Cunha, 2022). Entre as principais ações de mitigação, destacam-se a realização de inspeções periódicas, a análise prévia das condições de campo, a padronização dos procedimentos operacionais, o isolamento e a sinalização de áreas críticas, a adoção de medidas de proteção coletiva, o uso adequado de Equipamentos de Proteção Individual, conforme previsto na

NR-06, a capacitação contínua das equipes e o cumprimento das normas de segurança aplicáveis à atividade minerária (Brasil, 2025). Dessa forma, a manutenção preventiva contribui não apenas para a conservação dos ativos, mas também para a redução de riscos, a proteção das pessoas e a manutenção de condições adequadas para a operação, paralisação ou futura retomada da mina.

Assim, pode-se entender a mineração como uma atividade que demanda intensivamente recursos, infraestrutura e decisões gerenciais, o que requer integração entre planejamento, operação e manutenção para alcançar melhores níveis de desempenho e confiabilidade. No contexto de minas a céu aberto, a programação da produção em conjunto com a manutenção preventiva tem sido discutida como uma forma de promover a eficiência operacional e reduzir interferências no fluxo produtivo, destacando que a manutenção deve ser compreendida como parte da gestão da mina, e não apenas como uma atividade de suporte (Teixeira Barbosa; Pantuza, 2024).

2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE MINA

As minas podem ser classificadas de acordo com diferentes critérios técnicos, geológicos, operacionais e econômicos. Essa classificação contribui para compreender as características do empreendimento mineral e orientar decisões relacionadas ao planejamento da lavra, à escolha dos equipamentos, à definição da infraestrutura necessária e à organização das estratégias de operação e manutenção. Dessa forma, conhecer o tipo de mina e suas particularidades permite estruturar processos mais adequados às condições do depósito mineral e aos objetivos produtivos do empreendimento (Oliveira, 2023).

A principal classificação das minas está relacionada ao método de lavra empregado para a extração do minério, sendo divididas em minas a céu aberto e minas subterrâneas. Cada uma dessas modalidades apresenta particularidades que impactam significativamente os custos operacionais, a produtividade, a segurança dos trabalhadores e a gestão da infraestrutura. De acordo com Darling (2011), a escolha do método de lavra depende de fatores como profundidade da jazida, características geológicas, teor do minério, aspectos ambientais e viabilidade econômica da exploração. A Figura 3 apresenta um comparativo entre minas a céu aberto e minas subterrâneas, destacando suas principais características operacionais, demandas de infraestrutura e implicações para a manutenção.

Figura 3 – Classificação dos tipos de minas.



Fonte: Adaptado de Oliveira (2023) e Zaleski (2024).

As minas a céu aberto são aquelas em que a extração ocorre diretamente na superfície do terreno ou em grandes escavações abertas. Esse método é utilizado quando os depósitos minerais encontram-se relativamente próximos à superfície, possibilitando sua exploração de forma economicamente viável. Segundo Hustrulid, Kuchta e Martin (2013), esse modelo de mineração destaca-se pela elevada capacidade produtiva e pela facilidade de acesso às frentes de lavra, favorecendo o uso de equipamentos de grande porte.

Nesse tipo de operação, são amplamente utilizados caminhões fora de estrada, escavadeiras hidráulicas, pás carregadeiras, tratores de esteira, motoniveladoras e perfuratrizes. Esses equipamentos operam continuamente em ambientes severos, caracterizados por intensa movimentação de materiais, exposição à poeira, vibrações constantes e variações climáticas, fatores que tornam indispensável a adoção de programas estruturados de manutenção preventiva.

Entre as principais vantagens da mineração a céu aberto destacam-se a elevada produtividade, o menor custo de extração por tonelada produzida e a maior facilidade de monitoramento das operações. Entretanto, essa modalidade exige uma infraestrutura robusta composta por estradas de transporte, sistemas de drenagem, oficinas de manutenção, postos de

abastecimento, sistemas elétricos e áreas destinadas ao armazenamento de materiais e rejeitos (Hustrulid; Kuchta; Martin, 2013). A Figura 4 apresenta um exemplo de mina a céu aberto no Quadrilátero Ferrífero.

Figura 4 – Exemplo de mina a céu aberto no Quadrilátero Ferrífero.



Fonte: Adaptado de Boulhosa (2022).

Por outro lado, as minas subterrâneas são utilizadas quando os depósitos minerais encontram-se em profundidades elevadas ou quando a extração em superfície não é economicamente viável. Nesse modelo, a lavra ocorre por meio de galerias, túneis, poços e rampas que permitem o acesso ao corpo mineralizado. Conforme Darling (2011), trata-se de um sistema operacional mais complexo, que demanda elevados investimentos em infraestrutura, tecnologia e segurança.

Nas operações subterrâneas, sistemas de ventilação, drenagem, iluminação, comunicação e suporte estrutural são indispensáveis para garantir condições adequadas de trabalho e segurança operacional. Além disso, a estabilidade geotécnica das escavações exige monitoramento permanente e manutenção contínua das estruturas de sustentação, reduzindo os riscos de desmoronamentos e acidentes.

De acordo com Hartman e Mutmanský (2002), as minas subterrâneas podem ser

subdivididas em diferentes métodos de lavra, entre eles câmaras e pilares, corte e enchimento, abatimento por subníveis e abatimento em blocos. A escolha do método depende das características geológicas da jazida, do teor do minério, das propriedades mecânicas das rochas e das condições econômicas do empreendimento. A Figura 5 apresenta um exemplo de mina subterrânea no Brasil, evidenciando a presença de galeria de acesso, estruturas de suporte e circulação de trabalhadores em ambiente confinado, características associadas à lavra subterrânea.

Figura 5 – Exemplo de mina subterrânea de potássio em Rosário do Catete, Sergipe.



Fonte: Sergipe, Administração Estadual do Meio Ambiente – ADEMA (2024).

Além da classificação quanto ao método de extração, as minas também podem ser classificadas de acordo com o tipo de recurso mineral explorado. Nesse contexto, existem as minas metálicas, destinadas à produção de minerais como ferro, cobre, ouro, manganês, níquel e bauxita, e as minas não metálicas, responsáveis pela extração de calcário, fosfato, argila, gesso e diversos materiais utilizados pela construção civil e pela indústria de transformação.

Existem ainda minas destinadas à exploração de minerais energéticos, como o carvão mineral, amplamente utilizado na geração de energia e na indústria siderúrgica, bem como

minas voltadas à extração de rochas ornamentais, como granito, mármore e quartzito, materiais empregados em revestimentos e acabamentos arquitetônicos. Cada segmento apresenta características próprias de produção, exigindo diferentes níveis de infraestrutura, planejamento e manutenção.

Independentemente da classificação adotada, todas as minas dependem de uma infraestrutura eficiente para garantir o funcionamento adequado das operações. Sistemas elétricos, oficinas de manutenção, redes de comunicação, equipamentos de transporte e estruturas de apoio precisam permanecer em condições operacionais satisfatórias para assegurar a continuidade produtiva e a segurança dos processos (Darling, 2011).

Durante os períodos de paralisação operacional, as características de cada tipo de mina influenciam diretamente as atividades de manutenção preventiva. Nas minas a céu aberto, as ações normalmente concentram-se na conservação de equipamentos móveis, vias de transporte e sistemas de drenagem. Já nas minas subterrâneas, torna-se fundamental manter em funcionamento sistemas críticos de ventilação, bombeamento de água e monitoramento geotécnico, prevenindo riscos estruturais e preservando a integridade das instalações.

Conforme destacam Kardec e Nascif (2019), a correta gestão dos ativos durante períodos de inatividade reduz custos futuros de recuperação e facilita a retomada das operações. Dessa forma, compreender a classificação dos diferentes tipos de mina constitui etapa fundamental para o planejamento da infraestrutura e para a definição de estratégias eficientes de manutenção preventiva.

Portanto, a classificação das minas não representa apenas uma categorização técnica dos métodos de exploração mineral, mas também um elemento essencial para a gestão operacional dos empreendimentos. O conhecimento das características específicas de cada modalidade permite desenvolver planos de manutenção mais eficientes, preservar os ativos operacionais e garantir maior confiabilidade às operações minerárias, especialmente em contextos de paralisação temporária das atividades.

2.3 MINAS PARALISADAS

As minas paralisadas podem ser compreendidas como empreendimentos minerários nos quais as atividades de lavra foram temporariamente suspensas, sem que isso represente, necessariamente, o término permanente da operação. Diferentemente do fechamento de mina, que corresponde ao encerramento definitivo das atividades de extração, a paralisação está associada a uma condição transitória, na qual permanece a possibilidade de retomada futura

das operações. Nesse sentido, a suspensão temporária das atividades não elimina as responsabilidades técnicas, ambientais, legais e operacionais associadas ao empreendimento, uma vez que a infraestrutura minerária permanece instalada e sujeita a processos de deterioração e instabilidade. A Figura 6 ilustra uma mina paralisada a céu aberto, evidenciando a presença de taludes, bermas, acessos internos e estruturas de apoio que permanecem sujeitas à necessidade de acompanhamento e manutenção mesmo durante a interrupção das atividades produtivas.

Figura 6 – Vista de uma mina paralisada a céu aberto



Fonte: Registro fotográfico do autor (2024).

A paralisação de uma mina pode decorrer de diferentes fatores, incluindo oscilações no preço das commodities minerais, redução da demanda por determinado minério, elevação dos custos operacionais, limitações financeiras, problemas geotécnicos, pendências relacionadas ao licenciamento ambiental, necessidade de reestruturação produtiva ou ocorrência de eventos climáticos extremos. Em muitos casos, a paralisação é adotada como uma decisão estratégica das empresas mineradoras diante de condições econômicas ou operacionais desfavoráveis, buscando preservar o empreendimento até que sua continuidade volte a ser tecnicamente segura e economicamente viável (Resende; Lima, 2009; Centeno, 2017).

Apesar da interrupção da produção, uma mina paralisada continua exigindo acompanhamento sistemático. As estruturas de acesso, sistemas de drenagem, taludes, pilhas,

barragens, galerias subterrâneas, instalações elétricas, equipamentos remanescentes e áreas de disposição de estéril e rejeitos permanecem expostos à ação de agentes naturais e antrópicos. A ausência de monitoramento adequado pode favorecer processos erosivos, instabilizações geotécnicas, alagamentos, corrosão de estruturas metálicas, falhas em sistemas elétricos e degradação de componentes mecânicos, ampliando os riscos operacionais e os custos necessários para uma eventual retomada.

Além dos aspectos estruturais, a paralisação de uma mina também envolve responsabilidades ambientais permanentes. Mesmo sem lavra ativa, o empreendimento pode continuar gerando impactos relacionados à drenagem superficial, qualidade das águas, estabilidade de rejeitos e estéréis, erosão, assoreamento, poeira, segurança de áreas degradadas e preservação dos recursos naturais no entorno da operação. Por isso, a gestão ambiental durante a paralisação deve manter rotinas de inspeção, controle e monitoramento, reduzindo a possibilidade de danos ambientais e de responsabilização legal da empresa (Brasil, 2001; Galo, 2023).

No contexto brasileiro, a distinção entre suspensão e fechamento é relevante para a gestão de empreendimentos minerários. A Norma Reguladora de Mineração nº 20 estabelece procedimentos administrativos e operacionais relacionados à suspensão, ao fechamento e à retomada das operações minerais, diferenciando a suspensão, de caráter temporário, do fechamento, de caráter definitivo (Brasil, 2001). Dessa forma, uma mina paralisada deve ser entendida como uma unidade sem produção ativa, mas ainda inserida no ciclo de vida do empreendimento mineral, exigindo controle técnico até que ocorra sua retomada, reestruturação ou encerramento definitivo.

A Figura 7 apresenta uma comparação entre uma mina em atividade e uma mina paralisada, destacando as diferenças operacionais, estruturais e de gestão, bem como os controles que permanecem necessários durante a suspensão temporária das atividades.

Figura 7 – Comparativo entre mina em atividade e mina paralisaada



Fonte: Adaptado de Brasil (2001) e Centeno (2017).

Sob a perspectiva da gestão operacional, as minas paralisaadas representam um desafio específico, pois deixam de gerar produção, mas continuam demandando recursos humanos, financeiros e técnicos para sua conservação. Ao se comparar uma mina em atividade com uma mina paralisaada, observa-se uma mudança significativa nos objetivos de gestão. Nas minas em operação, as ações estão voltadas principalmente à continuidade da lavra, ao cumprimento do plano de produção, à disponibilidade de equipamentos, ao transporte de minério e ao desempenho operacional. Já nas minas paralisaadas, embora não haja produção ativa, permanecem demandas relacionadas à estabilidade geotécnica, conservação de acessos, funcionamento dos sistemas de drenagem, segurança das áreas, controle ambiental, preservação da infraestrutura e preparação para uma possível retomada.

Dessa maneira, os empreendimentos minerários precisam administrar equipes reduzidas, recursos financeiros mais restritos, estoques menores, cronogramas de inspeção, registros técnicos atualizados e critérios de decisão para intervenções emergenciais ou preventivas. Assim, a paralisação altera o foco da gestão, que deixa de estar centrado na produtividade imediata e passa a priorizar a redução de riscos, o monitoramento das estruturas

e a manutenção das condições mínimas de segurança e funcionalidade do empreendimento (Brasil, 2001; Centeno, 2017; Galo, 2023).

Portanto, as minas paralisadas constituem uma etapa do ciclo de vida dos empreendimentos minerais. Embora não haja produção ativa, permanecem as exigências de segurança, monitoramento, controle ambiental e preservação da infraestrutura. A gestão adequada desse período é essencial para reduzir riscos técnicos e ambientais, evitar a degradação dos ativos, minimizar custos futuros e assegurar que uma eventual retomada das operações ocorra em condições seguras, planejadas e economicamente viáveis.

2.4 MANUTENÇÃO EM MINAS PARALISADAS

A manutenção desempenha papel fundamental na preservação da infraestrutura e dos ativos operacionais das empresas mineradoras. Em contextos de paralisação, sua importância torna-se ainda mais evidente, uma vez que a interrupção das atividades produtivas não elimina a necessidade de conservação dos equipamentos, instalações e estruturas que compõem a operação mineral. Pelo contrário, a ausência de um programa adequado de manutenção pode acelerar processos de degradação, ampliar riscos operacionais e comprometer as condições de retomada das atividades.

Em minas paralisadas, a manutenção assume características específicas em comparação às operações em plena atividade. Embora não haja produção contínua, os equipamentos e estruturas permanecem sujeitos à ação do tempo, da umidade, da poeira, das variações climáticas e de outros fatores que podem provocar desgaste progressivo. Nesse contexto, a manutenção deixa de estar associada apenas ao suporte direto à produção e passa a atuar como mecanismo de conservação dos ativos, controle de riscos e preparação para uma possível retomada das operações.

Nessa mesma perspectiva, Viana (2024) destaca que a manutenção passou a ocupar uma posição estratégica nas organizações, deixando de ser compreendida apenas como uma atividade corretiva para assumir papel relevante na gestão do desempenho dos ativos. Nesse sentido, sua atuação está relacionada à busca por maior disponibilidade, confiabilidade e segurança operacional, contribuindo para a redução de falhas, o controle de custos e a melhoria dos resultados organizacionais.

De acordo com Xenos (2014), a falta de manutenção adequada durante os períodos de paralisação pode gerar consequências significativas para as organizações, incluindo aumento dos custos de recuperação, redução da vida útil dos equipamentos e maior necessidade de

investimentos para o retorno das operações. Além disso, a deterioração de componentes mecânicos, elétricos e estruturais pode comprometer a segurança dos trabalhadores e aumentar os riscos operacionais futuros.

A manutenção em minas paralisadas não se limita apenas aos equipamentos móveis e instalações industriais. Sistemas de drenagem, oficinas, estruturas metálicas, barragens, taludes, vias de acesso e sistemas de monitoramento também necessitam de acompanhamento constante. Conforme destaca Centeno (2017), a preservação da infraestrutura é essencial para manter as condições mínimas de segurança, controle e possibilidade de retomada das instalações minerárias durante os períodos de suspensão das atividades.

Outro aspecto relevante está relacionado à gestão dos riscos. Em operações minerárias, a interrupção das atividades produtivas não elimina a possibilidade de ocorrência de falhas estruturais ou problemas ambientais. Pelo contrário, a ausência de monitoramento adequado pode favorecer o surgimento de situações críticas, como erosões, alagamentos, corrosão de estruturas e instabilidades geotécnicas. Nesse contexto, a manutenção atua como uma importante ferramenta de prevenção e controle de riscos. Em função da diversidade de estruturas presentes em uma mina paralisada, a manutenção deve considerar diferentes tipos de riscos, os quais podem comprometer a segurança dos trabalhadores, a estabilidade das áreas, o controle ambiental e as condições de uma eventual retomada operacional. O Quadro 1 apresenta os principais riscos associados à manutenção em minas paralisadas, relacionando suas possíveis consequências, medidas de controle e pontos de atenção.

Quadro 1 – Principais riscos envolvidos na manutenção em minas paralisadas

Risco identificado	Possíveis consequências	Medidas de controle e manutenção	Pontos de atenção
Instabilidade de taludes	Deslizamentos, quedas de blocos e acidentes	Monitoramento geotécnico e inspeções periódicas	Verificar fissuras, movimentações, erosões e sinais de instabilidade
Acúmulo de água	Erosão, alagamentos e comprometimento estrutural	Manutenção dos sistemas de drenagem, canaletas, sumps e bacias de contenção	Inspecionar canais, descidas d'água, bueiros e pontos de assoreamento
Degradação de equipamentos e estruturas remanescentes	Falhas operacionais, corrosão e aumento de custos de retomada	Manutenção preventiva e conservação dos ativos críticos	Controlar corrosão, desgaste mecânico, integridade elétrica e condições de armazenamento

Risco identificado	Possíveis consequências	Medidas de controle e manutenção	Pontos de atenção
Falhas em sumps, pilhas e áreas de rejeitos	Vazamentos, rupturas, impactos ambientais e riscos à segurança	Monitoramento contínuo e cumprimento das normas aplicáveis	Avaliar estabilidade, capacidade de contenção, drenagem e registros de inspeção
Crescimento de vegetação e processos erosivos	Danos ambientais, obstrução de drenagem e assoreamento	Roçada, recuperação ambiental e controle de erosão	Acompanhar avanço da vegetação, surgimento de ravinas e obstrução de estruturas
Riscos ocupacionais durante inspeções e manutenções	Acidentes de trabalho e doenças ocupacionais	Uso de EPIs, treinamentos, procedimentos de segurança e análise prévia de risco	Atualização constante das equipes e cumprimento das normas de segurança
Contaminação ambiental	Poluição do solo, da água e responsabilização ambiental	Monitoramento ambiental e gestão adequada de resíduos	Realizar análises periódicas da qualidade da água, do solo e dos efluentes

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Brasil (2001), ANM (2021) e Centeno (2017).

Além dos aspectos técnicos e operacionais apresentados no Quadro 1, a manutenção em minas paralisadas também deve ser compreendida sob a perspectiva regulatória, uma vez que a paralisação da mina não encerra as responsabilidades do empreendedor sobre a área. A Resolução ANM nº 68/2021 estabelece regras relacionadas ao Plano de Fechamento de Mina, reforçando a necessidade de planejamento e gestão das obrigações associadas ao encerramento ou à suspensão das atividades minerárias (ANM, 2021). No âmbito estadual, a Deliberação Normativa COPAM nº 220/2018 também estabelece diretrizes e procedimentos para a paralisação temporária da atividade minerária e para o fechamento de minas em Minas Gerais (COPAM, 2018).

Sob a perspectiva da Engenharia de Produção, a manutenção em minas paralisadas está diretamente associada ao planejamento e à gestão eficiente dos recursos disponíveis. A definição de cronogramas de inspeção, o controle de custos, a gestão de materiais de reposição e a priorização das atividades de conservação constituem fatores essenciais para assegurar a eficiência das ações desenvolvidas durante a paralisação. Conforme destacam Slack e Brandon-Jones (2018), o planejamento adequado dos recursos contribui para aumentar a eficiência organizacional e reduzir desperdícios.

Além de preservar os ativos existentes, a manutenção executada durante os períodos de paralisação permite identificar oportunidades de melhoria na infraestrutura da mina. A realização de diagnósticos técnicos, avaliações estruturais e atualizações de sistemas pode contribuir para aumentar a confiabilidade dos equipamentos e aprimorar as condições operacionais para uma futura retomada das atividades produtivas. A Figura 8 sintetiza os principais aspectos associados à manutenção em minas paralisadas, destacando sua relação com a conservação da infraestrutura, o controle de riscos, a preservação dos ativos e a preparação para uma possível retomada das operações.

Figura 8 – Importância da manutenção em minas paralisadas



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Viana (2024) e Centeno (2017).

Portanto, a manutenção em minas paralisadas representa uma atividade estratégica para a preservação da infraestrutura minerária. Sua correta aplicação contribui para reduzir custos de recuperação, aumentar a vida útil dos ativos, minimizar riscos operacionais e garantir condições adequadas para o retorno seguro e eficiente das operações. Assim, a gestão da manutenção torna-se um elemento indispensável para assegurar a sustentabilidade dos empreendimentos minerários ao longo do tempo.

2.4.1 Tipos de manutenção

A manutenção constitui uma das principais ferramentas de gestão dos ativos industriais, sendo responsável por preservar a funcionalidade, a confiabilidade e a segurança de equipamentos, instalações e estruturas. No setor mineral, essa prática assume relevância ainda maior em razão das condições severas de operação, da exposição dos ativos a processos de desgaste e da necessidade de controle contínuo das estruturas associadas ao empreendimento. Em minas paralisadas, embora a lavra esteja temporariamente suspensa, a manutenção permanece essencial para evitar a degradação da infraestrutura, reduzir riscos operacionais e ambientais e manter condições mínimas para uma eventual retomada das atividades (Viana, 2024; Centeno, 2017).

Nesse contexto, a definição adequada dos tipos de manutenção a serem empregados contribui diretamente para a conservação dos ativos, para a segurança das áreas paralisadas e para a redução de custos futuros associados à recuperação de equipamentos e estruturas deterioradas. A escolha da estratégia de manutenção deve considerar aspectos como criticidade dos ativos, custos envolvidos, confiabilidade requerida, disponibilidade de recursos e consequências associadas às falhas. Dessa forma, as intervenções podem ser priorizadas conforme sua relevância para a segurança, a preservação patrimonial e a possibilidade de retomada operacional (Costa, 2022).

Os tipos de manutenção podem ser classificados de diferentes formas, porém as modalidades recorrentes no contexto minerário são a manutenção corretiva, preventiva e preditiva, além de abordagens orientadas à confiabilidade dos ativos. Cada modalidade apresenta características, vantagens, limitações e aplicações distintas, devendo ser selecionada de acordo com os objetivos de conservação, as condições dos equipamentos e estruturas, a criticidade dos ativos e os recursos disponíveis para sua execução. Em estudos aplicados à mineração, a análise da distribuição das ordens e das horas de manutenção entre essas modalidades é utilizada como indicador para avaliar o desempenho do planejamento e controle da manutenção, bem como orientar ações voltadas à redução de falhas e ao aumento da disponibilidade dos ativos (Magalhães Júnior, 2021). A Figura 9 apresenta a classificação dos principais tipos de manutenção abordados neste trabalho.

Figura 9 – Classificação dos principais tipos de manutenção



Fonte: Almeida (2017).

2.4.1.1 Manutenção corretiva

A manutenção corretiva é caracterizada pela intervenção realizada após a ocorrência de uma falha ou defeito que comprometa parcial ou totalmente o funcionamento de um equipamento, sistema ou estrutura. Nesse modelo, as ações de manutenção são executadas quando o problema já ocorreu, exigindo reparos, substituições ou ajustes para restabelecer as condições mínimas de funcionamento do ativo. Embora apresente menor custo inicial de planejamento, a manutenção corretiva pode resultar em maiores despesas quando associada a falhas inesperadas, indisponibilidade de equipamentos, danos secundários e necessidade de intervenções emergenciais (Xenos, 2014).

Essa modalidade pode ser classificada em corretiva planejada e corretiva não planejada. A corretiva planejada ocorre quando uma falha ou perda de desempenho é identificada previamente, permitindo que a intervenção seja programada de forma controlada. Já a corretiva não planejada ocorre de maneira emergencial, exigindo resposta imediata da equipe de manutenção para reduzir os impactos da falha. Em geral, essa última tende a apresentar custos mais elevados, devido à urgência das ações, à necessidade de mobilização

rápida de mão de obra, à aquisição emergencial de peças e à possível indisponibilidade de recursos (Kardec; Nascif, 2019; Viana, 2024).

No setor mineral, a manutenção corretiva pode gerar impactos expressivos quando ocorre em equipamentos ou estruturas críticas. Em minas em operação, falhas inesperadas em escavadeiras, caminhões fora de estrada, perfuratrizes, britadores, correias transportadoras ou sistemas elétricos podem comprometer a continuidade da produção, elevar custos e aumentar os riscos à segurança dos trabalhadores. Estudos aplicados à mineração utilizam a análise de ordens e horas de manutenção como forma de avaliar o desempenho das estratégias adotadas e identificar oportunidades de redução de falhas e aumento da disponibilidade dos ativos (Magalhães Júnior, 2021).

Em minas paralisadas, embora não haja produção ativa, a manutenção corretiva também pode ser necessária em situações pontuais, como correção de danos em acessos internos, desobstrução emergencial de sistemas de drenagem, reparo de equipamentos preservados, recomposição de estruturas auxiliares ou intervenção em componentes deteriorados pela exposição ao tempo. Entretanto, a dependência excessiva dessa modalidade tende a ser desfavorável, pois as intervenções ocorrem somente após a manifestação do problema, podendo elevar os custos de recuperação, ampliar riscos de degradação da infraestrutura e comprometer as condições de segurança da área.

Outro aspecto relevante refere-se aos impactos da manutenção corretiva sobre a confiabilidade dos ativos. A repetição frequente de falhas pode indicar problemas relacionados às condições de conservação, à criticidade dos equipamentos, à ausência de inspeções periódicas ou à fragilidade do planejamento da manutenção. Nesse sentido, o registro histórico das ocorrências e a análise das causas das falhas tornam-se ferramentas importantes para a melhoria contínua dos processos de manutenção e para a definição de prioridades de intervenção (Costa, 2022; Viana, 2024).

Assim, embora a manutenção corretiva continue sendo necessária em determinadas situações, sua aplicação deve ser tratada como complementar às estratégias preventivas, preditivas e de confiabilidade. Em minas paralisadas, essa modalidade deve estar associada à resposta a falhas já identificadas, evitando que problemas localizados evoluam para situações de maior risco, maior custo ou maior dificuldade de retomada operacional.

2.4.1.2 Manutenção preventiva

A manutenção preventiva consiste na realização de inspeções, ajustes, conservação,

substituições e revisões programadas antes da ocorrência de falhas. Seu principal objetivo é reduzir a probabilidade de defeitos, aumentar a confiabilidade dos ativos e prolongar sua vida útil. Diferentemente da manutenção corretiva, que atua após a manifestação do problema, a manutenção preventiva busca antecipar possíveis falhas por meio de ações planejadas, permitindo maior controle sobre prazos, recursos e intervenções (Kardec; Nascif, 2019; Viana, 2024).

Conforme apresentado na Figura 9, a manutenção preventiva pode ser compreendida a partir de duas formas principais: a preventiva sistemática e a preventiva condicional. A preventiva sistemática é realizada com base em períodos previamente definidos, considerando recomendações dos fabricantes, histórico dos ativos, tempo de uso, horas trabalhadas ou ciclos de operação. Já a preventiva condicional depende da avaliação do estado do ativo, sendo apoiada por inspeções visuais, verificações em campo, medições ou identificação de sinais de desgaste. Essa distinção permite adequar as ações de manutenção à criticidade dos equipamentos e estruturas, aos custos envolvidos e às consequências de uma eventual falha (Costa, 2022; Magalhães Júnior, 2021).

Na atividade minerária, essa estratégia é amplamente utilizada em equipamentos e sistemas críticos, como caminhões fora de estrada, correias transportadoras, britadores, sistemas de bombeamento, instalações elétricas e estruturas de apoio. Esses ativos estão frequentemente expostos a cargas elevadas, vibrações, abrasão, poeira, umidade e variações climáticas, fatores que aceleram o desgaste dos componentes e aumentam a probabilidade de falhas. Nesse contexto, a manutenção preventiva contribui para preservar a disponibilidade dos ativos, reduzir paradas inesperadas, melhorar a segurança operacional e evitar custos elevados de reparo (Xenos, 2014; Kardec; Nascif, 2019).

Em áreas paralisadas, a manutenção preventiva assume papel estratégico, pois a ausência de produção não elimina a exposição dos ativos aos processos de deterioração. A realização periódica de inspeções, limpeza de sistemas de drenagem, roçada, proteção anticorrosiva, testes operacionais, verificação de acessos, acompanhamento de taludes e substituição preventiva de componentes contribui para preservar as condições da infraestrutura e reduzir os custos necessários para uma eventual retomada das operações. Por esse motivo, essa modalidade torna-se uma das principais ferramentas de gestão em contextos de paralisação temporária, especialmente por atuar antes que a degradação dos ativos se torne mais avançada (Centeno, 2017; Viana, 2024).

A adoção de planos preventivos também favorece o uso mais eficiente dos recursos disponíveis durante a paralisação. Como essas áreas geralmente operam com equipes

reduzidas, menor disponibilidade de materiais e menor frequência de intervenções, o planejamento prévio das atividades permite priorizar estruturas críticas, organizar cronogramas de inspeção e reduzir a necessidade de ações emergenciais. Dessa forma, a manutenção preventiva contribui tanto para a preservação dos ativos quanto para o controle de custos futuros associados à recuperação da infraestrutura (Centeno, 2017; Viana, 2024).

Além disso, a manutenção preventiva auxilia na manutenção das condições mínimas de segurança e funcionalidade para uma possível retomada das operações. Ao conservar acessos, sistemas de drenagem, estruturas de contenção, equipamentos remanescentes e áreas operacionais, essa modalidade reduz riscos técnicos, ambientais e ocupacionais, além de facilitar diagnósticos posteriores sobre a viabilidade de reativação da mina. Assim, em contextos de paralisação temporária, a manutenção preventiva deve ser compreendida como uma das principais estratégias para evitar a degradação acelerada dos ativos e preservar a capacidade futura de operação do empreendimento.

2.4.1.3 Manutenção preditiva

A manutenção preditiva baseia-se no acompanhamento das condições reais dos equipamentos, sistemas ou estruturas, com o objetivo de identificar sinais de desgaste ou falhas em estágio inicial. Diferentemente da manutenção preventiva sistemática, que segue cronogramas previamente definidos, essa modalidade utiliza informações obtidas por inspeções, medições ou análises técnicas para indicar o momento mais adequado para a intervenção. Conforme Marins (2024), a manutenção preditiva busca prever a ocorrência de falhas antes que elas provoquem interrupções operacionais, permitindo ações mais precisas e economicamente eficientes.

Em concordância com a Figura 9, a manutenção preditiva pode ser associada à manutenção preventiva condicional, pois depende da avaliação do estado do ativo para orientar a tomada de decisão. Essa avaliação pode ocorrer por meio de inspeções sensíveis, como observação de ruídos, vibrações, aquecimentos, vazamentos e alterações visuais, ou por inspeções instrumentais, com uso de técnicas como análise de vibração, termografia, ultrassom, análise de lubrificantes e monitoramento de variáveis operacionais. Essas ferramentas permitem avaliar o estado real dos equipamentos e identificar anomalias antes que evoluam para falhas mais graves (Kardec; Nascif, 2019; Marins, 2024).

Na gestão de ativos minerários, a manutenção preditiva possui relevância principalmente quando aplicada a ativos considerados críticos para a segurança, a

confiabilidade e a continuidade do empreendimento. Em operações ativas, sua aplicação costuma estar mais associada a equipamentos produtivos e sistemas industriais. Em minas paralisadas, porém, sua utilização tende a se concentrar em ativos específicos que permanecem preservados ou em funcionamento, como sistemas elétricos, bombas, estruturas metálicas, instrumentos de monitoramento e componentes de apoio à drenagem, segurança e conservação da área (Marins, 2024).

Em contextos de paralisação temporária, a aplicação da manutenção preditiva tende a ser mais pontual quando comparada a operações em plena atividade. Como não há produção contínua, nem sempre se justifica o uso frequente de técnicas avançadas de monitoramento em todos os ativos. Ainda assim, essa estratégia pode apoiar decisões técnicas quando aplicada a elementos críticos para a segurança da área ou para uma futura retomada operacional, contribuindo para reduzir riscos, evitar degradações mais graves e preservar ativos de maior importância durante o período de paralisação (Centeno, 2017; Viana, 2024).

Além dos benefícios relacionados à confiabilidade e ao controle de custos, a manutenção preditiva também pode contribuir para a segurança das operações. A identificação antecipada de falhas potenciais reduz a probabilidade de ocorrências associadas a quebras inesperadas, protegendo trabalhadores, instalações e o meio ambiente. Assim, ainda que sua aplicação seja mais limitada no contexto de minas paralisadas, a manutenção preditiva representa uma ferramenta complementar de apoio à gestão dos riscos e à preservação dos ativos.

2.4.1.4 Manutenção centrada na confiabilidade

A manutenção centrada na confiabilidade, conhecida também como MCC ou RCM, do inglês *Reliability Centered Maintenance*, é uma abordagem que busca definir a estratégia de manutenção mais adequada a partir da função do ativo, dos modos de falha possíveis, das causas e das consequências associadas a essas falhas. Diferentemente de uma classificação baseada apenas no momento da intervenção, como ocorre na manutenção corretiva, preventiva ou preditiva, a MCC procura analisar a importância de cada ativo dentro do sistema e direcionar os recursos de manutenção para os pontos de maior criticidade. Segundo Moubray (1997), essa abordagem permite otimizar os recursos disponíveis, priorizando intervenções conforme a função do ativo, as consequências da falha e a relevância do equipamento ou estrutura para o sistema como um todo.

Nas operações minerais, a manutenção centrada na confiabilidade pode contribuir para

a definição de políticas de manutenção mais adequadas aos ativos críticos, considerando aspectos como segurança, custo, disponibilidade, impacto ambiental e possibilidade de paralisação das atividades. Em vez de adotar uma única estratégia para todos os equipamentos e estruturas, a MCC permite avaliar quais ativos exigem ações preventivas sistemáticas, quais podem ser acompanhados por inspeções condicionais ou preditivas e quais podem receber intervenções corretivas planejadas, desde que o risco associado seja aceitável (Costa, 2022).

Uma das ferramentas que pode apoiar essa abordagem é a Análise dos Modos e Efeitos de Falha, conhecida como FMEA, do inglês *Failure Mode and Effects Analysis*. Essa ferramenta auxilia na identificação de falhas potenciais, na avaliação de seus efeitos e na definição de prioridades de intervenção. Com isso, a análise de falhas contribui para decisões mais assertivas, direcionando os esforços de manutenção para os ativos ou estruturas que apresentam maior criticidade para a segurança, para o meio ambiente e para a continuidade das condições mínimas de operação ou preservação (Moubray, 1997).

Quando a lavra se encontra suspensa, essa lógica é especialmente importante, pois os recursos disponíveis para manutenção tendem a ser mais limitados e as intervenções precisam ser priorizadas conforme o risco e a relevância de cada estrutura. Assim, acessos, sistemas de drenagem, taludes, sumps, estruturas metálicas, sistemas elétricos e demais componentes da infraestrutura podem ser avaliados de acordo com sua criticidade para a segurança, para o controle ambiental e para uma futura retomada operacional. A partir dessa lógica, a confiabilidade contribui para organizar melhor as decisões de manutenção, evitando tanto a negligência de ativos importantes quanto o uso excessivo de recursos em estruturas de menor impacto.

Portanto, os diferentes tipos de manutenção desempenham funções complementares dentro da gestão da infraestrutura minerária. A manutenção corretiva atua na resolução de falhas já manifestadas, a preventiva contribui para evitar a degradação dos ativos, a preditiva permite acompanhar condições reais de equipamentos e estruturas específicas, e a manutenção centrada na confiabilidade auxilia na escolha da estratégia mais adequada para cada situação. Assim, a definição de uma política de manutenção bem estruturada constitui fator essencial para preservar equipamentos e estruturas, reduzir riscos, prolongar a vida útil dos ativos e garantir melhores condições para a retomada das operações após períodos de paralisação.

2.4.2 Tecnologias e ferramentas de apoio à manutenção em minas paralisadas

A tecnologia tem se tornado uma importante aliada nas atividades de manutenção no

setor mineral, especialmente por possibilitar maior controle sobre as condições dos ativos, das estruturas e das áreas operacionais. No entanto, quando se trata de minas paralisadas, o uso dessas tecnologias não ocorre, necessariamente, por meio de sistemas altamente automatizados ou de ferramentas digitais complexas. Em muitos casos, o apoio tecnológico à manutenção está associado a instrumentos de campo, inspeções visuais, registros técnicos, sistemas de cadastro de anomalias e ferramentas de planejamento utilizadas para organizar recursos, prazos e equipes.

Assim, ao tratar das tecnologias aplicadas à manutenção em minas paralisadas, é importante considerar sua função dentro do processo de gestão, que envolve identificar alterações nas condições da infraestrutura, registrar informações de maneira organizada e transformá-las em ações planejadas. Nesse sentido, tecnologias simples, quando bem integradas às rotinas de manutenção, podem apresentar grande relevância para a conservação de acessos, sistemas de drenagem, taludes, pilhas, barragens, estruturas de contenção e outros elementos da infraestrutura minerária.

A instrumentação geotécnica e ambiental é uma das principais ferramentas de apoio à manutenção em minas paralisadas. Instrumentos como piezômetros, inclinômetros, pluviômetros, medidores de vazão e sensores de nível d'água permitem acompanhar o comportamento de estruturas ao longo do tempo. Mesmo quando as leituras são realizadas manualmente, esses instrumentos fornecem dados importantes sobre variações de pressão, deslocamentos, acúmulo de água, comportamento das drenagens e possíveis alterações na estabilidade das estruturas. Essas informações auxiliam na identificação de condições que demandam manutenção preventiva ou corretiva, contribuindo para a definição de prioridades de intervenção (Colombo, 2025; Queiroz, 2024). A Figura 10 apresenta, de forma esquemática, exemplos de instrumentos e ferramentas utilizados no monitoramento de áreas minerárias, os quais podem apoiar a identificação de alterações relevantes para o planejamento da manutenção em minas paralisadas.

Figura 10 – Instrumentos de monitoramento em áreas minerárias



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Queiroz (2024) e Colombo (2025).

Durante a paralisação, a instrumentação assume papel ainda mais relevante, visto que muitas estruturas permanecem expostas à ação do tempo, às variações climáticas e à ausência de uma rotina produtiva contínua. Chuvas intensas, processos erosivos, obstruções em dispositivos de drenagem, movimentações em taludes e alterações no nível d'água podem comprometer a segurança e a estabilidade da área. Por isso, o acompanhamento periódico desses parâmetros permite que a equipe técnica reconheça sinais de deterioração antes que eles evoluam para situações mais críticas. Nesse sentido, a tecnologia não substitui a inspeção de campo, mas complementa a análise técnica e fortalece o processo de tomada de decisão (Queiroz, 2024).

Outra ferramenta de apoio às inspeções é o uso de drones, empregados no acompanhamento de áreas minerárias. Em minas paralisadas, esses equipamentos podem ser utilizados para registrar imagens de taludes, acessos, pilhas, sistemas de drenagem, áreas alagadas, barragens e regiões de difícil acesso. O uso de drones proporciona uma visão mais ampla da área, facilita o acompanhamento visual de alterações ao longo do tempo e reduz a necessidade de exposição direta dos trabalhadores em locais instáveis ou de acesso restrito.

Quando associados a imagens de alta resolução, modelos digitais de terreno ou levantamentos fotogramétricos, os drones também podem auxiliar na comparação entre diferentes períodos de inspeção e na identificação de pontos que necessitam de intervenção (Benevenuti, 2021; Gorkos, 2022).

Outra dimensão relevante das tecnologias de apoio à manutenção envolve os sistemas de registro e controle das informações. Em muitas operações, as equipes responsáveis pelas inspeções de campo registram anomalias, localizações, descrições técnicas e recomendações de intervenção em sistemas corporativos ou plataformas internas. Esses registros funcionam como uma ligação entre a identificação do problema e a execução da intervenção necessária (Gomes Neto, 2024). A partir dessas informações, as equipes responsáveis pela infraestrutura podem organizar as atividades, definir os recursos adequados, programar equipamentos, distribuir a mão de obra e estabelecer os prazos de execução.

Nesse processo, ferramentas como planilhas eletrônicas, sistemas integrados de gestão e softwares de planejamento desempenham papel importante. Embora nem sempre sejam percebidos como tecnologias avançadas, esses recursos são essenciais para transformar as demandas de manutenção em planos executáveis. As planilhas permitem organizar informações, filtrar prioridades, acompanhar prazos e registrar o andamento das ações. Os sistemas integrados de gestão podem auxiliar no controle de ordens de serviço, materiais, custos e disponibilidade de recursos. Já os softwares de cronograma contribuem para a distribuição das atividades ao longo do tempo, permitindo visualizar conflitos, sequências de execução e necessidades de reprogramação (Gomes Neto, 2024).

A integração entre inspeção, registro e planejamento é especialmente importante em minas paralisadas, pois as ações de manutenção frequentemente envolvem diferentes áreas técnicas. A geotecnia, por exemplo, pode identificar uma anomalia em campo e recomendar uma intervenção; a equipe de infraestrutura, por sua vez, fica responsável por transformar essa recomendação em uma atividade planejada, considerando máquinas, equipes, materiais, acessos e condições de segurança. Quando esse fluxo de informações não é bem estruturado, aumentam as chances de atrasos, retrabalho, perda de histórico e dificuldade na priorização das atividades mais críticas (Miranda, 2022).

Em empreendimentos com maior nível de maturidade tecnológica, também é possível considerar o uso de sistemas automatizados de monitoramento, sensores conectados, radares, imagens de satélite, painéis de controle e modelos digitais. Essas ferramentas podem ampliar a capacidade de acompanhamento remoto e permitir respostas mais rápidas diante de alterações nas condições das estruturas. Entretanto, sua aplicação depende de fatores como

criticidade da área, disponibilidade financeira, infraestrutura de comunicação, equipe especializada e integração com os processos de gestão da manutenção. Por isso, em minas paralisadas, essas tecnologias devem ser compreendidas como possibilidades de aprimoramento, e não como uma solução padronizada para todos os empreendimentos (Cardoso, 2025).

Em situações de maior criticidade, principalmente em estruturas com restrição de acesso ou elevado nível de risco, podem ser adotados procedimentos especiais de inspeção e monitoramento, incluindo automatização de instrumentos, leituras remotas e apoio de equipamentos ou métodos que reduzam a exposição direta dos trabalhadores. Esse tipo de recurso demonstra que a tecnologia, além de contribuir para o controle técnico das manutenções, possui relação direta com a segurança ocupacional, pois permite acompanhar áreas com menor exposição humana (Queiroz, 2024; Cardoso, 2025).

Portanto, as tecnologias e ferramentas de apoio à manutenção em minas paralisadas devem ser compreendidas de forma ampla. Elas incluem desde instrumentos geotécnicos de leitura manual até drones, sistemas de cadastro, planilhas, softwares de planejamento e recursos avançados de monitoramento. O mais importante não é a sofisticação isolada de cada tecnologia, mas a forma como essas ferramentas são incorporadas ao processo de manutenção. Quando utilizadas de maneira adequada, elas contribuem para a preservação da infraestrutura, a definição de prioridades, o controle de riscos, a segurança das equipes e a possibilidade de retomada futura das atividades minerárias.

2.5 PLANEJAMENTO DA MANUTENÇÃO EM MINAS PARALISADAS

O planejamento da manutenção em minas paralisadas constitui uma etapa essencial para garantir a preservação da infraestrutura, dos acessos, dos equipamentos e das estruturas geotécnicas durante o período em que a lavra permanece suspensa. A paralisação das atividades produtivas não elimina a necessidade de acompanhamento técnico, pois as estruturas continuam expostas à ação do tempo, às chuvas, aos processos erosivos, ao assoreamento de dispositivos de drenagem e à degradação natural dos acessos e demais sistemas de apoio. Dessa forma, a manutenção planejada torna-se indispensável para conservar as condições mínimas de segurança, estabilidade e controle ambiental dessas áreas.

De acordo com Kardec e Nascif (2019), a manutenção deve ser compreendida como uma função estratégica, uma vez que está diretamente relacionada à confiabilidade dos ativos, à segurança das operações e à utilização adequada dos recursos disponíveis. No contexto das

minas paralisadas, essa função assume uma característica específica, pois o objetivo principal não está associado ao aumento da produtividade mineral, mas sim à conservação da infraestrutura e ao controle dos riscos existentes. Assim, o planejamento da manutenção deve estar voltado para a identificação das demandas mais críticas, para a organização das intervenções necessárias e para o acompanhamento das ações executadas.

Sob a perspectiva da manutenção centrada na confiabilidade, a definição das ações de manutenção deve considerar a função dos ativos, os modos de falha possíveis, as consequências dessas falhas e o grau de criticidade de cada estrutura ou equipamento. Segundo Moubray (1997), as estratégias de manutenção devem ser definidas com base nas consequências das falhas e na importância funcional dos ativos dentro do sistema. Essa abordagem contribui para direcionar recursos para os pontos de maior risco, evitando tanto a negligência de estruturas críticas quanto a aplicação excessiva de esforços em ativos de menor impacto.

Em minas que se encontram sob suspensão temporária de lavra, essa lógica é especialmente relevante, pois os recursos financeiros, materiais e humanos tendem a ser mais restritos do que em operações ativas. Dessa forma, o planejamento da manutenção deve considerar critérios como criticidade da estrutura, risco de agravamento da anomalia, prazo de atendimento, dificuldade de acesso, disponibilidade de recursos e possíveis consequências da não execução da atividade. A priorização das ações permite organizar melhor as intervenções, reduzir riscos técnicos e ambientais e preservar condições mínimas para uma eventual retomada operacional ou para uma condução adequada das etapas de fechamento.

O processo de planejamento da manutenção envolve etapas sucessivas, que incluem a identificação das demandas, o registro das informações técnicas, a análise de criticidade, a definição de prioridades, a programação das atividades, a alocação de recursos, a execução das intervenções e o controle dos resultados. Essas etapas permitem transformar informações obtidas em inspeções, monitoramentos e registros de campo em planos de ação organizados, com prazos, responsáveis e recursos definidos. Assim, o planejamento atua como elo entre a identificação dos problemas e a execução das ações de conservação.

Além da definição das atividades, o planejamento da manutenção deve considerar a integração entre diferentes áreas da organização. Em minas paralisadas, as demandas podem envolver aspectos geotécnicos, ambientais, operacionais, de segurança do trabalho e de controle de ativos. Por esse motivo, a gestão eficiente dessas ações depende da comunicação entre as áreas responsáveis pela identificação das anomalias, pela definição dos critérios técnicos, pela programação dos recursos e pela execução das intervenções. Essa integração

contribui para reduzir atrasos, retrabalhos e falhas de comunicação.

A utilização de indicadores de desempenho também constitui elemento importante no planejamento e controle da manutenção. Esses indicadores permitem acompanhar a relação entre o que foi planejado e o que foi executado. Dessa forma, os dados gerados pelo controle da manutenção contribuem para avaliar a eficiência do planejamento e dar suporte à tomada de decisão, especialmente em contextos nos quais os recursos disponíveis precisam ser utilizados de forma criteriosa.

As ferramentas de apoio ao planejamento, como sistemas de cadastro de anomalias, planilhas eletrônicas, cronogramas, softwares de planejamento e plataformas de acompanhamento, contribuem para organizar as demandas, controlar prazos e registrar o histórico das intervenções. Entretanto, em minas paralisadas, a eficiência do planejamento não depende apenas da tecnologia utilizada, mas também da qualidade das informações registradas, da clareza dos critérios de priorização e da atualização contínua dos dados de campo (Miranda, 2022; Gomes Neto, 2024). A Figura 11 apresenta, de forma esquemática, um fluxo conceitual do planejamento da manutenção em minas paralisadas, contemplando o levantamento das demandas, a análise de criticidade, o planejamento dos recursos, a programação das atividades, a execução em campo e o controle por indicadores.

Figura 11 – Fluxo conceitual do planejamento da manutenção em minas paralisadas.



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Gomes (2023) e Moubray (1997).

Quando bem estruturado, o planejamento da manutenção em minas paralisadas contribui para reduzir riscos, evitar o agravamento de anomalias, preservar acessos, manter sistemas de drenagem em funcionamento e garantir melhores condições de segurança para as equipes. Além disso, permite melhor aproveitamento dos recursos disponíveis, reduz a ocorrência de intervenções emergenciais e melhora a capacidade de resposta da empresa diante de demandas técnicas, ambientais e regulatórias.

Portanto, o planejamento da manutenção deve ser compreendido como um processo integrado de gestão, que transforma inspeções, registros técnicos e demandas de campo em ações organizadas, priorizadas, executadas e controladas. Mais do que definir datas para a realização de serviços, esse planejamento envolve critérios de criticidade, análise de riscos, gestão de recursos, controle do desempenho e articulação entre diferentes áreas. Dessa forma, torna-se uma ferramenta fundamental para a conservação dos ativos, o controle dos riscos e a manutenção das condições necessárias para uma possível retomada operacional ou para a condução segura das etapas de fechamento da mina.

2.6 DESAFIOS DA MANUTENÇÃO EM MINAS PARALISADAS

A manutenção em minas paralisadas apresenta desafios específicos, que diferem daqueles observados em empreendimentos em operação. Embora a lavra esteja suspensa, a infraestrutura minerária permanece sujeita à ação de agentes climáticos, aos processos de degradação natural, às alterações geotécnicas e às exigências regulatórias. Dessa forma, a paralisação não significa ausência de atividades, mas uma mudança no foco da gestão, que passa a priorizar a conservação dos ativos, a estabilidade das estruturas, a segurança das áreas e a viabilidade de uma futura retomada das operações.

2.6.1 Limitação de recursos e priorização das intervenções

Um dos principais desafios nesse contexto está relacionado à limitação de recursos disponíveis para a manutenção. Em uma mina em operação, a manutenção está diretamente associada à continuidade produtiva e à redução de perdas operacionais. Já em minas paralisadas, como não há produção mineral direta, os investimentos tendem a ser mais restritos, exigindo maior critério na definição das atividades a serem executadas. Nesse cenário, torna-se necessário equilibrar a contenção de custos com a preservação das condições mínimas de segurança, acessibilidade e conservação da infraestrutura.

Nesse tipo de empreendimento, nem todos os equipamentos, acessos e estruturas apresentam o mesmo grau de criticidade. Por isso, é necessário identificar quais ativos são mais importantes para a segurança das pessoas, para a estabilidade das estruturas, para a preservação patrimonial e para uma possível retomada futura das operações. A análise de riscos associada ao planejamento e controle da manutenção contribui para identificar falhas

potenciais, definir controles e priorizar intervenções em infraestruturas de mineração inativas (Gomes, 2023).

2.6.2 Deterioração dos ativos, condições ambientais e estabilidade geotécnica

Outro desafio significativo refere-se à deterioração natural dos equipamentos e estruturas durante longos períodos de inatividade. Equipamentos mecânicos podem sofrer corrosão, ressecamento de componentes, degradação de lubrificantes e comprometimento de sistemas de vedação. Da mesma forma, estruturas metálicas, tubulações, cercamentos, sistemas de drenagem, vias internas e demais elementos de apoio ficam expostos às condições climáticas, favorecendo processos de oxidação, desgaste e perda de funcionalidade. Quando não há inspeções periódicas e ações preventivas adequadas, esses processos podem elevar os custos de recuperação e comprometer as condições de segurança da área.

As condições ambientais também representam fatores críticos para a conservação da infraestrutura minerária. Chuvas intensas, umidade elevada, variações de temperatura, crescimento acelerado da vegetação, processos erosivos, acúmulo de água e assoreamento de dispositivos de drenagem podem comprometer estradas de acesso, canaletas, taludes, sistemas de drenagem e demais estruturas de apoio. Em períodos chuvosos, esses desafios tornam-se ainda mais evidentes, pois pequenas falhas de drenagem ou de conservação de acessos podem evoluir rapidamente para problemas maiores, exigindo intervenções corretivas mais complexas e custosas.

As estruturas geotécnicas como taludes, barragens, pilhas de estéril e áreas de disposição de rejeitos necessitam de inspeções periódicas, monitoramento técnico e registro adequado de anomalias para que sejam mantidas condições satisfatórias de estabilidade. De acordo com Queiroz (2024), o monitoramento geotécnico de estruturas de mineração é essencial para apoiar a tomada de decisão, avaliar condições de segurança e reduzir riscos associados a estruturas críticas. Por esse motivo, a manutenção dessas estruturas deve estar associada ao acompanhamento geotécnico e à definição de ações corretivas ou preventivas conforme o grau de criticidade identificado.

2.6.3 Mão de obra, logística e disponibilidade de materiais

Outro aspecto relevante está relacionado à gestão da mão de obra. Durante os períodos de paralisação, muitas empresas reduzem equipes operacionais e de manutenção como forma

de contenção de custos. Entretanto, a redução excessiva do quadro de trabalhadores pode comprometer a execução das atividades essenciais de inspeção, conservação e resposta a demandas emergenciais. Em complexos minerários amplos, uma equipe reduzida pode ter dificuldade para atender simultaneamente diferentes frentes de serviço, principalmente quando as áreas sob responsabilidade da manutenção estão distribuídas em locais distantes entre si.

Além da limitação das equipes próprias, a manutenção em minas paralisadas também pode ser impactada pela disponibilidade irregular de equipes terceirizadas. Atividades de apoio, como roçada, limpeza de acessos, controle de vegetação, manejo de pragas e remoção segura de enxames ou insetos que ofereçam risco às equipes de campo, são fundamentais para garantir condições mínimas de acesso e segurança. Quando há ausência de trabalhadores terceirizados ou baixa disponibilidade de mão de obra, essas atividades podem sofrer atrasos, comprometendo o cumprimento do planejamento e aumentando o acúmulo de demandas corretivas.

A distância entre as estruturas também pode representar uma limitação importante para a rotina de manutenção. Em alguns complexos minerários, as minas paralisadas podem não se encontrar próximas umas das outras, o que aumenta o tempo gasto com deslocamentos e reduz a disponibilidade efetiva para execução das atividades em campo. Essa condição torna-se ainda mais crítica quando a equipe precisa atender diferentes acessos, drenagens, áreas de inspeção, estruturas geotécnicas e demandas ambientais ao longo de uma mesma programação. Assim, a distribuição espacial das minas exige maior organização do planejamento, melhor definição de rotas, priorização das atividades e alocação eficiente dos recursos disponíveis.

A disponibilidade de materiais, peças e equipamentos de apoio também representa um desafio importante. Equipamentos utilizados na mineração frequentemente possuem componentes de grande porte e alto valor agregado, cuja aquisição pode demandar longos prazos de fornecimento. Em minas paralisadas, esse desafio se intensifica pela restrição orçamentária e pela necessidade de justificar investimentos em uma operação que não está produzindo naquele momento. Nesse contexto, o planejamento e o controle das demandas de manutenção tornam-se fundamentais para evitar atrasos, desperdícios, retrabalho e perda de eficiência na execução das atividades (Gomes, 2023; Miranda, 2022).

2.6.4 Exigências regulatórias e incorporação tecnológica

Além dos aspectos técnicos e operacionais, as empresas devem lidar com exigências regulatórias e ambientais que permanecem válidas mesmo durante os períodos de paralisação. A Resolução ANM nº 68/2021 estabelece regras relacionadas ao Plano de Fechamento de Mina, contemplando diretrizes associadas ao encerramento, à suspensão e à retomada das atividades minerárias. No âmbito estadual, a Deliberação Normativa COPAM nº 220/2018 estabelece procedimentos para a paralisação temporária da atividade minerária e para o fechamento de operações minerais no estado de Minas Gerais. Dessa forma, a paralisação não elimina as obrigações legais da organização, especialmente no que se refere à segurança, ao meio ambiente e à estabilidade das estruturas (ANM, 2021; COPAM, 2018).

Outro desafio crescente refere-se à incorporação de novas tecnologias aos processos de manutenção. Embora ferramentas como drones, sensores, sistemas de monitoramento remoto, softwares de planejamento e plataformas de registro de anomalias possam contribuir para melhorar o acompanhamento das áreas e otimizar as rotinas de inspeção e controle, sua implantação exige investimentos financeiros, treinamento das equipes, infraestrutura de comunicação e adaptação dos processos internos. Em cenários de restrição de recursos, muitas atividades continuam dependendo de inspeções visuais, registros manuais, planilhas e sistemas mais simples de acompanhamento, o que pode limitar a agilidade na tomada de decisão (Gomes Neto, 2024; Cardoso, 2025).

Diante dos aspectos apresentados, observa-se que os desafios da manutenção em minas paralisadas não estão restritos a um único fator, mas envolvem um conjunto de condicionantes técnicos, ambientais, econômicos e organizacionais. A Figura 12 sintetiza os principais desafios associados à conservação dessas áreas.

Figura 12 – Principais desafios da manutenção em minas paralisadas.



Desafio	Possíveis consequências	Pontos de atenção na manutenção
Estabilidade geotécnica	Movimentações em taludes, riscos em pilhas, barragens e áreas de rejeitos	Manter monitoramento geotécnico, inspeções de campo e tratamento das anomalias conforme criticidade
Mão de obra reduzida ou indisponível	Atrasos, acúmulo de demandas e menor capacidade de resposta a emergências	Planejar equipes próprias e terceirizadas conforme prazos, frentes de serviço e prioridades
Logística e disponibilidade de materiais	Aumento do tempo de deslocamento, dificuldade de mobilização e atraso na execução	Organizar rotas, recursos, equipamentos e materiais antes da execução das atividades
Exigências regulatórias e ambientais	Penalidades, não conformidades e restrições futuras ao empreendimento	Manter registros, relatórios, inspeções e atendimento às normas aplicáveis
Incorporação tecnológica	Limitação no acompanhamento das áreas e menor agilidade na tomada de decisão	Avaliar tecnologias conforme criticidade, custo, infraestrutura disponível e capacitação das equipes

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Gomes (2023), Queiroz (2024) e ANM (2021).

Sob a perspectiva da Engenharia de Produção, o enfrentamento desses desafios depende diretamente da qualidade do planejamento e da gestão da manutenção. A utilização de indicadores de desempenho, análise de riscos, definição de prioridades, controle de recursos e acompanhamento das atividades permite aumentar a eficiência das ações de conservação e reduzir os impactos associados à paralisação operacional. Nesse sentido, o planejamento atua como uma ferramenta essencial para organizar demandas, distribuir recursos, reduzir atrasos e garantir que as ações mais críticas sejam tratadas de forma adequada (Gomes, 2023; Miranda, 2022).

Portanto, os desafios da manutenção em minas paralisadas envolvem aspectos técnicos, econômicos, ambientais, logísticos e organizacionais. A correta gestão desses fatores contribui para preservar os ativos, garantir a segurança das estruturas, manter os acessos em condições adequadas e reduzir os custos necessários para uma possível retomada das operações. Com isso, o planejamento da manutenção torna-se um elemento essencial para assegurar a conservação, a segurança e a viabilidade dos empreendimentos minerários ao longo do tempo.

3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento da pesquisa, contemplando o enquadramento do estudo, a forma de obtenção e organização dos dados e os critérios utilizados para análise dos resultados. Segundo Prodanov e Freitas (2013), a metodologia científica compreende o conjunto de métodos, técnicas e procedimentos utilizados para orientar a investigação, permitindo que o estudo seja desenvolvido de forma sistemática e coerente com seus objetivos. Dessa forma, a metodologia foi estruturada de modo a permitir a compreensão do planejamento da manutenção em minas temporariamente paralisadas, considerando os fundamentos teóricos discutidos no referencial bibliográfico e os registros associados ao acompanhamento das atividades de manutenção.

O desenvolvimento do trabalho foi conduzido em duas etapas principais. A primeira correspondeu à pesquisa bibliográfica, voltada à construção da base conceitual sobre mineração, minas paralisadas, manutenção, planejamento, gestão da infraestrutura de mina, tecnologias de apoio, desafios operacionais e indicadores de desempenho. A segunda etapa consistiu na análise de um estudo de caso, com foco nas rotinas de planejamento, execução e controle da manutenção da infraestrutura em minas paralisadas pertencentes a um complexo minerário.

3.1 ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO DA PESQUISA

Para o enquadramento metodológico, adotou-se como referência a classificação proposta por Fontelles et al. (2009), que permite caracterizar uma pesquisa científica a partir de diferentes critérios, como finalidade, natureza, forma de abordagem, objetivos, procedimentos técnicos e desenvolvimento no tempo. Essa classificação contribui para delimitar o tipo de investigação realizada e esclarecer a forma como o estudo foi conduzido.

Com base nessa classificação, o presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, pois busca analisar um problema prático relacionado ao planejamento e à gestão da manutenção da infraestrutura em minas temporariamente paralisadas. Quanto à natureza, trata-se de uma pesquisa observacional, uma vez que o processo analisado foi estudado a partir de registros, rotinas e indicadores existentes, sem intervenção direta sobre as atividades realizadas pela companhia.

Quanto à forma de abordagem, a pesquisa possui caráter qualitativo e quantitativo. A abordagem qualitativa está associada à descrição do processo de planejamento da manutenção, à compreensão das etapas de organização das demandas e à identificação das

interfaces entre as áreas envolvidas. Já a abordagem quantitativa está relacionada à análise dos indicadores utilizados para acompanhar o desempenho das ações de manutenção, permitindo avaliar aspectos como aderência ao planejamento, cumprimento das atividades, efetividade das intervenções e reprogramações.

Em relação aos objetivos, a pesquisa é classificada como descritiva, pois busca apresentar e analisar o funcionamento do planejamento da manutenção em minas paralisadas, considerando os registros de acompanhamento e os indicadores utilizados no controle das atividades. Quanto aos procedimentos técnicos, o estudo combina pesquisa bibliográfica, pesquisa documental e estudo de caso, uma vez que utiliza referências teóricas, documentos e registros internos, além da análise de uma situação real aplicada ao contexto da mineração. Para sintetizar, o Quadro 3 apresenta a classificação metodológica adotada na pesquisa.

Quadro 3 – Enquadramento metodológico da pesquisa.

Critério	Classificação adotada
Finalidade	Aplicada
Natureza	Observacional
Forma de abordagem	Qualitativa e quantitativa
Objetivos	Descritiva
Procedimentos técnicos	Pesquisa bibliográfica, documental e estudo de caso
Desenvolvimento no tempo	Retrospectiva, com base em registros de períodos já executados

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Fontelles et al. (2009).

3.2 PROCEDIMENTOS DE COLETA E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

A coleta de dados foi realizada por meio de pesquisa bibliográfica, análise documental e vivência prática do autor no contexto estudado. A pesquisa bibliográfica contemplou materiais acadêmicos, técnicos e normativos relacionados ao tema, utilizados para fundamentar a discussão desenvolvida no referencial teórico. Já a análise documental foi conduzida a partir de registros e documentos gerados pelo próprio processo de planejamento da empresa analisada, especialmente aqueles relacionados ao acompanhamento das ações e à consolidação dos indicadores utilizados pela área.

A escolha da empresa como objeto de estudo esteve relacionada à autorização para

utilização acadêmica das informações e à vivência do autor durante um ano de estágio na gerência. Nesse período, houve contato direto com as rotinas de planejamento, acompanhamento e controle das atividades, inicialmente a partir da compreensão geral do processo e, posteriormente, com atuação mais direcionada às atividades de planejamento das manutenções.

Os dados internos utilizados no estudo foram disponibilizados pela área responsável pelo planejamento da manutenção, sendo tratados de forma agregada e sem identificação de informações estratégicas. Esses registros contemplaram informações consolidadas sobre ações planejadas, executadas, não executadas e reprogramadas, as quais serviram de base para a análise dos indicadores de desempenho apresentados no estudo de caso.

A fim de garantir o sigilo empresarial, contratos, detalhamento de custos e informações confidenciais foram mantidos em reserva. Dessa forma, a organização dos dados foi realizada apenas para fins acadêmicos, buscando permitir a análise do planejamento e do acompanhamento das ações de manutenção sem comprometer a identidade da organização ou a exposição de informações restritas.

3.3 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE

A análise dos dados foi realizada de forma descritiva, com base nos registros consolidados do processo de planejamento e acompanhamento das atividades de manutenção em minas paralisadas. Inicialmente, foram organizadas as informações referentes às ações planejadas, executadas, não executadas, realizadas sem previsão inicial e reprogramadas, de modo a permitir a compreensão da relação entre o planejamento elaborado e a execução realizada em campo.

Para isso, as ações foram analisadas conforme a classificação utilizada pela área de planejamento: Planejado Realizado (PR), Planejado Não Realizado (PNR) e Realizado Não Planejado (RNP). Essa classificação permitiu identificar o grau de correspondência entre as atividades previstas no planejamento e aquelas efetivamente executadas durante o período analisado.

Em seguida, foram avaliados os indicadores de acompanhamento disponibilizados pela área responsável pelo planejamento da manutenção, especialmente os índices de aderência, cumprimento e efetividade. O Índice de Aderência foi utilizado para avaliar o alinhamento entre as ações executadas e o planejamento inicial. O Índice de Cumprimento permitiu verificar o percentual de ações planejadas que foram efetivamente realizadas. Já o Índice de

Efetividade foi utilizado como medida consolidada do desempenho do planejamento, considerando conjuntamente a aderência e o cumprimento.

Os resultados foram analisados em escala anual e semanal. A análise anual permitiu avaliar o desempenho consolidado do planejamento ao longo de 2024, enquanto a análise semanal possibilitou identificar oscilações, desvios pontuais e períodos de maior dificuldade de execução. Para facilitar a interpretação da evolução dos indicadores, as semanas foram organizadas em quatro períodos de 13 semanas.

Além da análise quantitativa dos indicadores, os resultados foram discutidos de forma qualitativa, considerando o fluxo de planejamento da manutenção, a ocorrência de reprogramações, a incorporação de demandas não previstas e as possíveis restrições operacionais observadas na rotina do estudo de caso. Por fim, os resultados foram interpretados à luz do referencial teórico e das hipóteses norteadoras da pesquisa, buscando compreender como o planejamento contribuiu para a organização das demandas, a priorização das ações, o controle da execução e a manutenção da infraestrutura em minas paralisadas.

3.4 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

A presente pesquisa apresentou algumas limitações relacionadas ao recorte adotado, à disponibilidade dos dados e à confidencialidade das informações utilizadas. Por se tratar de um estudo de caso desenvolvido em uma empresa específica do setor mineral, os resultados obtidos refletem as características do contexto analisado, não podendo ser generalizados de forma direta para todas as minas paralisadas ou para todas as empresas de mineração.

Outra limitação esteve relacionada ao uso de dados internos gerados pelo processo de planejamento da manutenção. As análises dependeram das informações disponibilizadas pela área responsável, bem como da forma como os registros foram consolidados no período estudado. Dessa maneira, eventuais restrições, ausências de dados ou mudanças na forma de registro puderam influenciar o nível de detalhamento das análises.

Além disso, em razão da necessidade de preservar informações estratégicas e operacionais, os dados foram apresentados de forma agregada, sem identificação nominal da organização, de profissionais, de contratos, de custos ou de sistemas internos. Essa restrição limita a exposição de determinados detalhes do processo, mas não compromete a análise dos aspectos relacionados ao planejamento, acompanhamento e controle das ações de manutenção em minas paralisadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e analisados os resultados obtidos por meio do estudo de caso e dos indicadores utilizados na pesquisa. Inicialmente, são descritos o contexto da área estudada e o processo de planejamento da manutenção. Em seguida, os dados são discutidos com base no referencial teórico, buscando identificar o desempenho do planejamento, os principais desvios observados e suas implicações para a gestão da manutenção em minas paralisadas.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi desenvolvido em uma empresa de grande porte com atuação no estado de Minas Gerais. A análise concentrou-se em minas temporariamente paralisadas vinculadas ao corredor Sudeste, onde coexistem áreas com atividades operacionais ativas e áreas com lavra suspensa. Em razão da preservação de informações internas, a empresa não será identificada nominalmente, sendo apresentados apenas os elementos necessários à compreensão do processo de planejamento, acompanhamento e controle das atividades de manutenção.

As minas consideradas no estudo encontravam-se com as atividades de lavra suspensas, porém permaneciam inseridas na estrutura de gestão do complexo minerário. Mesmo sem operação produtiva, essas áreas demandam ações contínuas de manutenção, conservação e controle, principalmente em função da necessidade de preservar acessos, sistemas de drenagem, estruturas geotécnicas e demais elementos de infraestrutura necessários à segurança da área. Em alguns casos, essas minas ainda apresentavam possibilidade de retomada futura, o que reforçava a importância de manter condições mínimas de acesso, estabilidade e organização das frentes paralisadas.

No contexto analisado, havia uma estrutura gerencial voltada à gestão de minas paralisadas e à manutenção da infraestrutura dessas áreas. Dentro dessa estrutura, a equipe de planejamento da manutenção era responsável por organizar, programar e acompanhar as atividades executadas nas minas paralisadas. O processo envolvia a interface entre profissionais de planejamento, equipes técnicas de campo, geotecnia, gestão de dados, coordenação e empresas terceirizadas responsáveis pela execução de parte das atividades.

As principais atividades acompanhadas estavam relacionadas à manutenção da

infraestrutura de mina, incluindo limpeza de canaletas, desassoreamento de sumps, manutenção e correção de acessos, correções em estruturas geotécnicas e manutenção de sistemas de drenagem. Essas atividades eram organizadas por meio de rodadas de manutenção, planejadas conforme a distribuição das minas, a criticidade das demandas, os recursos disponíveis e os prazos definidos para atendimento das ações.

A escolha do estudo de caso esteve relacionada à vivência do autor durante um ano de estágio na gerência responsável pela manutenção e infraestrutura de minas paralisadas. Nesse período, houve contato direto com as rotinas de campo, com as equipes próprias e terceirizadas e com o fluxo de planejamento das atividades. Posteriormente, a atuação foi direcionada ao planejamento das manutenções, envolvendo apoio na organização das demandas, acompanhamento dos planos, atualização de registros, consolidação de indicadores e participação em reuniões de fechamento junto à gestão.

Dessa forma, o estudo de caso permitiu analisar o planejamento, o acompanhamento e a coordenação das atividades de manutenção da infraestrutura em minas paralisadas a partir de uma situação real. A análise dos resultados foi conduzida com base nos registros do planejamento e nos indicadores consolidados pela área responsável, os quais permitiram avaliar a relação entre as ações planejadas, executadas, não executadas e reprogramadas ao longo do período estudado.

4.2 DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS ANALISADAS

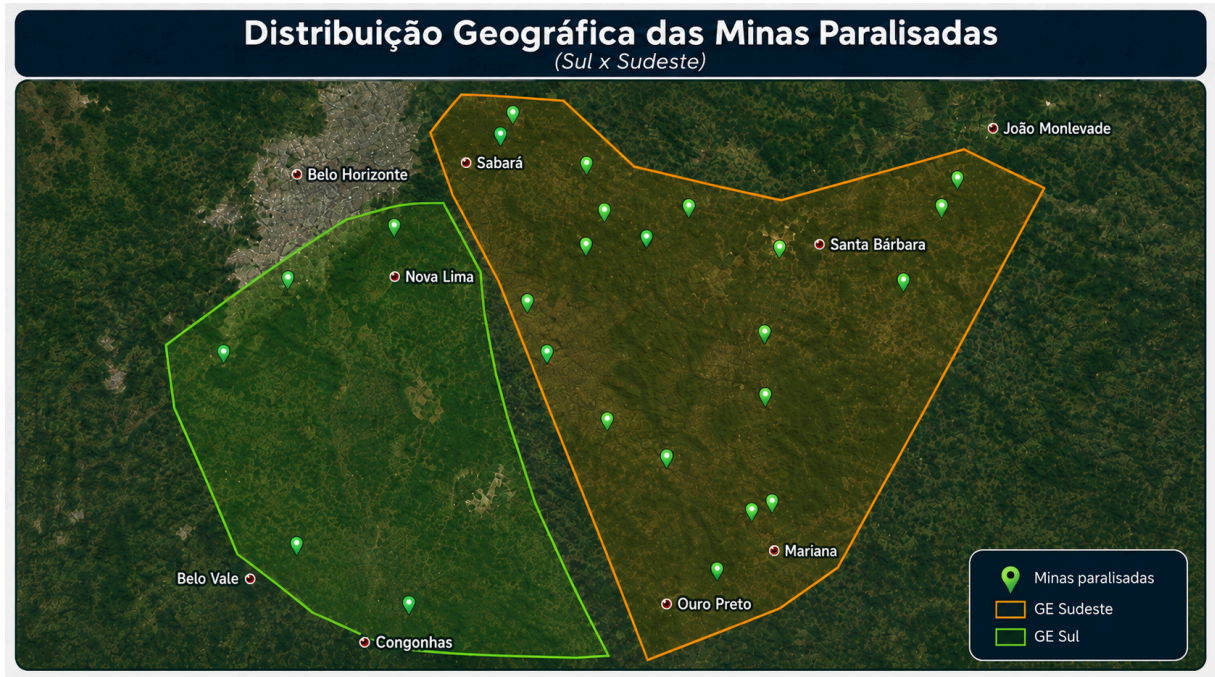
As minas paralisadas consideradas no contexto do estudo estavam distribuídas em diferentes áreas do estado de Minas Gerais, organizadas internamente em corredores operacionais. No âmbito da estrutura analisada, destacavam-se os corredores Sul e Sudeste, os quais concentravam diferentes minas com atividades de lavra suspensas e demandas associadas à conservação da infraestrutura.

Embora os corredores Sul e Sudeste estivessem vinculados à mesma diretoria, cada corredor possuía estrutura própria de planejamento, equipe de execução, mobilização de recursos e contratação de empresas terceirizadas. Dessa forma, as atividades de manutenção não eram conduzidas de maneira unificada entre os corredores, mas organizadas conforme as demandas, os prazos, os recursos disponíveis e as particularidades operacionais de cada área.

Neste trabalho, o recorte adotado concentrou-se no corredor Sudeste, em razão da vivência prática do autor nas rotinas de planejamento da manutenção dessa região e da disponibilidade dos registros utilizados para análise. Esse corredor abrangia unidades

paralisadas distribuídas por diferentes polos operacionais da região, conforme apresentado na Figura 13.

Figura 13 – Distribuição geográfica das minas paralisadas.



Fonte: Base de dados da mineradora (2024).

Apesar de a Figura 13 apresentar os corredores Sul e Sudeste, a análise desenvolvida neste trabalho está limitada ao corredor Sudeste. Essa delimitação foi adotada para preservar a coerência do estudo de caso, uma vez que os dados analisados, o fluxo de planejamento descrito e os indicadores avaliados correspondem às rotinas de manutenção acompanhadas nessa área específica.

Além da distribuição geográfica, o corredor Sudeste apresentava um conjunto expressivo de estruturas associadas às minas paralisadas. O mapeamento utilizado como base para o estudo indicava a existência de 62 estruturas, contemplando cavas, pilhas, barragens, diques e demais estruturas vinculadas à infraestrutura das áreas paralisadas.

A existência desse conjunto de estruturas reforça a complexidade do planejamento da manutenção em minas paralisadas, uma vez que as ações não se restringiam a uma única frente de trabalho. As demandas envolviam diferentes tipos de estruturas, localizações e necessidades de conservação, exigindo organização das atividades, priorização das intervenções, mobilização de recursos e acompanhamento contínuo por meio de indicadores.

4.3 FLUXO DE PLANEJAMENTO DA MANUTENÇÃO EM MINAS PARALISADAS

No corredor Sudeste, o planejamento da manutenção das minas paralisadas era estruturado como um processo contínuo de organização, programação, execução e controle das ações necessárias à conservação da infraestrutura. Seu objetivo era transformar as demandas técnicas identificadas em campo em atividades planejadas, com definição de prazos, recursos, responsáveis e acompanhamento sistemático da execução. Dessa forma, o planejamento não se limitava à elaboração de cronogramas, mas funcionava como um elo entre a identificação das necessidades, a mobilização das equipes e o controle gerencial das ações realizadas.

O fluxo tinha início, em sua maior parte, a partir das inspeções realizadas pela equipe de geotecnia, responsável por avaliar as estruturas, identificar anomalias e definir as ações necessárias para correção ou conservação. Após essa etapa, as demandas eram registradas em um software de registro de anomalias, juntamente com informações como localização, descrição da ocorrência e prazo de atendimento, estabelecido conforme a criticidade observada. A partir desse momento, as ações passaram a compor a base inicial do planejamento da infraestrutura.

Em seguida, a equipe de planejamento realizava a triagem dessas demandas, separando-as de acordo com a mina, a localidade e o prazo definido. Essa organização permitiu estruturar o conjunto de ações de forma compatível com a rodada de manutenção prevista e com a disponibilidade de recursos. Com base nessa triagem, era elaborado o plano mensal de manutenção, considerando a região em que as equipes e os equipamentos permaneceram mobilizados ao longo do período.

Após a definição do plano mensal, as atividades eram inseridas no MS Project, ferramenta utilizada para estabelecer datas, organizar a distribuição temporal das ações e facilitar a visualização do cronograma. A partir dessa programação macro, era feito o detalhamento semanal das atividades, com definição das frentes de serviço e alocação dos recursos necessários à execução. Esse desdobramento permitia adaptar o plano às condições reais de campo, à disponibilidade das equipes e à sequência de atendimento prevista para cada mina.

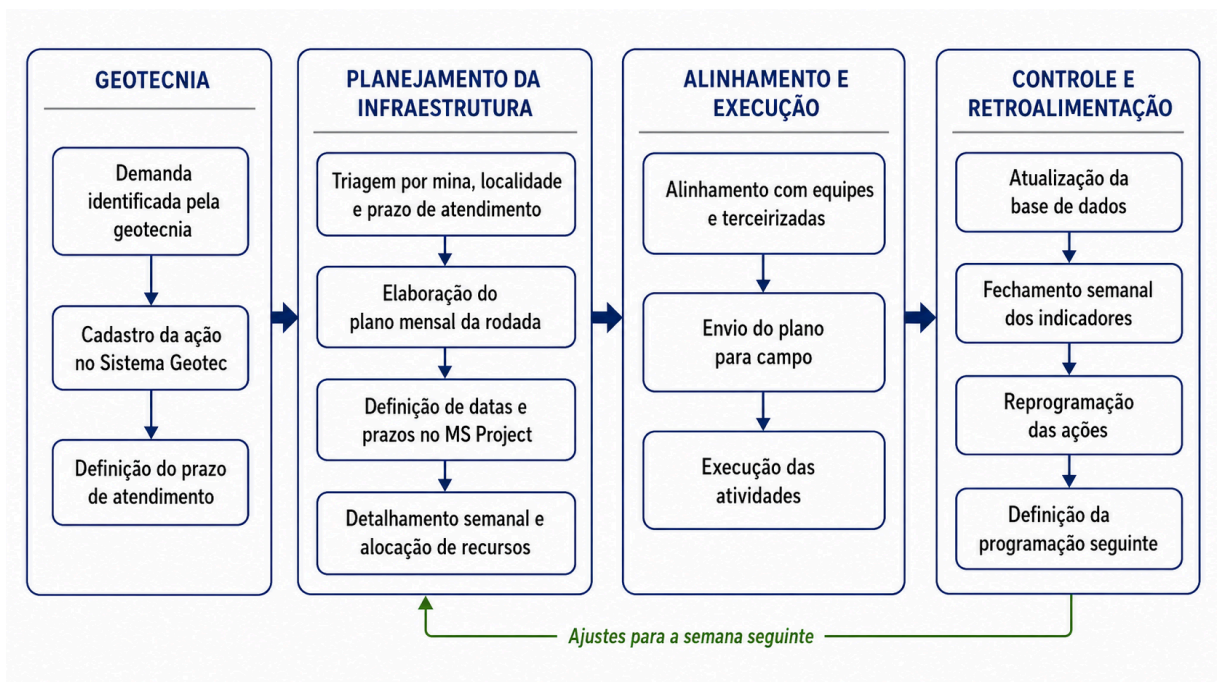
Concluído esse detalhamento, o planejamento era apresentado em reunião de alinhamento com os envolvidos no processo, incluindo equipe interna e empresas terceirizadas responsáveis pela execução. Nessa etapa, eram discutidas as atividades da semana, os locais de atuação, os recursos mobilizados e os pontos de atenção para a execução.

Além disso, o plano também era encaminhado às equipes de campo, de modo a orientar o acompanhamento das ações programadas.

Durante a execução, as informações sobre o andamento das atividades eram registradas e consolidadas em uma base de dados unificada, atualizada semanalmente. Essa base reunia o histórico das ações planejadas, executadas, não executadas e reprogramadas, permitindo acompanhar o desempenho do planejamento ao longo do tempo. Assim, o controle não se restringia ao cumprimento do cronograma, mas também possibilita visualizar desvios, demandas emergenciais e necessidades de ajuste.

Ao final de cada semana, essas informações eram utilizadas no fechamento dos indicadores e discutidas em reunião gerencial. Nesses encontros, eram apresentados os resultados obtidos, as ações concluídas, os principais desvios em relação ao planejado, as justificativas para não execução e as demandas que precisavam ser reprogramadas. Além da avaliação da semana encerrada, também eram debatidas as atividades previstas para a semana seguinte, o que permitia reorientar o planejamento e manter o alinhamento entre planejamento, execução e gestão. A Figura 14 apresenta o fluxo operacional do planejamento da manutenção no corredor Sudeste, desde a abertura das demandas pela geotecnia até o fechamento semanal dos indicadores e a retroalimentação do plano seguinte.

Figura 14 – Fluxo operacional do planejamento da manutenção em minas paralisadas no corredor Sudeste.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Dessa forma, o planejamento da manutenção no corredor Sudeste pode ser compreendido como um processo estruturado e dinâmico, no qual as demandas técnicas eram organizadas, programadas, executadas, monitoradas e continuamente revisadas. Esse fluxo contribuía para dar maior previsibilidade às ações, melhorar o uso dos recursos disponíveis e assegurar maior controle sobre a manutenção da infraestrutura distribuída entre diferentes minas paralisadas.

4.4 INDICADORES DE ACOMPANHAMENTO DA MANUTENÇÃO

O acompanhamento das atividades de manutenção no Corredor Sudeste era realizado por meio de indicadores utilizados pela área de planejamento para avaliar a relação entre as ações programadas e a execução realizada em campo. Esses indicadores permitiam transformar os registros semanais das atividades em informações gerenciais, auxiliando na identificação de desvios, na análise do desempenho do planejamento e na definição de ajustes para as semanas seguintes.

No contexto analisado, os registros das atividades eram classificados de acordo com sua relação com o plano previamente definido. As ações executadas conforme o planejamento eram classificadas como Planejado Realizado (PR). As ações previstas no plano, mas não executadas no período programado, eram classificadas como Planejado Não Realizado (PNR). Já as atividades executadas sem previsão inicial no planejamento eram registradas como Realizado Não Planejado (RNP). Essa classificação permite avaliar não apenas o volume de ações executadas, mas também o grau de alinhamento entre o plano elaborado e a execução efetivamente realizada.

A partir dessas classificações, eram calculados os indicadores de aderência, cumprimento e efetividade. O Índice de Aderência (IA) avaliava o quanto a execução realizada esteve alinhada ao planejamento inicial, considerando a relação entre as ações planejadas e realizadas e o total de ações executadas. O Índice de Cumprimento (IC) indicava o quanto do plano previsto foi efetivamente concluído, relacionando as ações planejadas e realizadas ao conjunto de ações programadas. Já o Índice de Efetividade (IE) representava uma medida combinada entre aderência e cumprimento, permitindo avaliar o desempenho geral do planejamento.

A meta mínima adotada pela área para os indicadores era de 80%, valor utilizado como referência para avaliar o desempenho semanal do planejamento. Resultados abaixo desse valor indicavam necessidade de análise dos desvios, identificação das causas de não

execução e eventual reprogramação das ações. Dessa forma, os indicadores não eram utilizados apenas como registro de desempenho, mas como instrumentos de apoio à tomada de decisão e à retroalimentação do planejamento.

Além desses indicadores principais, a reprogramação das ações também era acompanhada pela equipe de planejamento como elemento complementar de controle, principalmente nos casos em que atividades não executadas precisavam ser transferidas para semanas posteriores. Embora a reprogramação não tenha sido tratada neste estudo como indicador principal de desempenho, ela foi considerada um elemento relevante para compreender os ajustes realizados ao longo do ciclo de planejamento e execução.

As fórmulas utilizadas para cálculo dos indicadores são apresentadas a seguir:

Índice de Aderência (IA):

$$IA = PR / (PR + RNP)$$

Índice de Cumprimento (IC):

$$IC = PR / (PR + PNR)$$

Índice de Efetividade (IE):

$$IE = (IA + IC) / 2$$

Em que:

- PR corresponde às ações planejadas e realizadas;
- PNR corresponde às ações planejadas e não realizadas;
- RNP corresponde às ações realizadas sem previsão inicial no planejamento.

Para sintetizar a finalidade de cada indicador, o Quadro 4 apresenta um resumo dos indicadores e do elemento complementar utilizados no acompanhamento da manutenção.

Quadro 4 – Indicadores utilizados no acompanhamento da manutenção

Indicador	Finalidade	Interpretação
Índice de Aderência (IA)	Avaliar o alinhamento entre o planejamento inicial e as ações efetivamente executadas	Quanto maior o indicador, menor a participação de ações realizadas fora do planejamento
Índice de Cumprimento (IC)	Verificar o percentual de ações planejadas que foram executadas no período previsto	Quanto maior o indicador, maior o cumprimento do plano estabelecido
Índice de Efetividade (IE)	Consolidar o desempenho geral do planejamento a partir da aderência e do cumprimento	Indica o desempenho global do planejamento no período analisado
Reprogramação	Identificar ações que precisaram ser transferidas para outro período	Auxilia na compreensão dos desvios e na definição da programação seguinte

Fonte: Documento da pesquisa (2026).

4.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS INDICADORES

Neste tópico são analisados os resultados dos indicadores utilizados para acompanhar as ações de manutenção no Corredor Sudeste ao longo de 2024. A análise contempla a organização dos dados, a síntese anual das ações acompanhadas, o resultado consolidado dos indicadores e a evolução semanal do desempenho, permitindo avaliar a relação entre o planejamento elaborado e a execução realizada em campo.

4.5.1 Organização dos dados analisados

A análise dos resultados foi realizada a partir dos registros consolidados das ações de manutenção acompanhadas no Corredor Sudeste ao longo do ano de 2024. Esses registros foram utilizados pela área de planejamento para acompanhar a relação entre as ações programadas e a execução realizada em campo, permitindo avaliar o desempenho do planejamento por meio dos indicadores apresentados no item anterior.

Os dados analisados estavam organizados em controles de acompanhamento semanal, mensal e anual. No controle mensal, as semanas eram registradas de forma acumulada, ou seja, o valor apresentado em determinada semana correspondia ao total acumulado até aquele momento do mês, e não apenas às novas ações inseridas naquela semana específica. Dessa forma, quando uma semana apresentava determinado quantitativo de ações planejadas ou

executadas, esse valor representava o avanço acumulado do mês até aquela semana.

Ao final de cada mês, os valores consolidados alimentavam o acumulado anual dos indicadores. Assim, para a análise dos resultados anuais, foram considerados os dados apresentados no fechamento acumulado do ano, uma vez que esses valores representavam a consolidação oficial utilizada pela área de planejamento para acompanhamento do desempenho das ações de manutenção.

Além disso, é importante destacar que ações classificadas como não realizadas em determinado período não necessariamente deixavam de ser acompanhadas pela equipe de planejamento. Em muitos casos, essas atividades eram reavaliadas, reprogramadas e incorporadas às programações seguintes, podendo ser executadas em semanas ou meses posteriores. Dessa forma, o valor final de ações planejadas não realizadas deve ser interpretado como o saldo remanescente no fechamento do período analisado, e não como a totalidade das ações que sofreram atraso ou necessidade de ajuste ao longo do ano.

Essa lógica evidencia a importância da retroalimentação do planejamento, pois permitia que as ações pendentes fossem mantidas sob controle até sua conclusão ou redefinição. Portanto, a análise dos indicadores não deve considerar apenas o resultado final acumulado, mas também o papel do acompanhamento semanal na identificação de desvios, reprogramação das atividades e atualização contínua do plano de manutenção.

4.5.2 Síntese anual das ações acompanhadas

A partir do controle consolidado dos indicadores, foram identificados os quantitativos anuais das ações acompanhadas no Corredor Sudeste em 2024. Esses valores representam a base para o cálculo dos indicadores de aderência, cumprimento e efetividade, uma vez que demonstram a relação entre as ações planejadas, executadas, realizadas conforme o planejamento e não realizadas no período analisado. O Quadro 5 apresenta um recorte do controle consolidado das ações de manutenção, contemplando o fechamento mensal de dezembro e o acumulado anual de 2024.

Quadro 5 – Fechamento de dezembro e acumulado anual das ações acompanhadas no Corredor Sudeste em 2024

INDICADORES PERFORMANCE	↑↓	TIPO	Semana 49	Semana 50	Semana 51	Semana 52	Acum. do mês	Acum do Ano
1 - Ações Planejadas	↑	Nº Ações Planejadas	5	13	19	20	20	358
2 - Ações Executadas	↑	Nº Ações Executadas	4	13	20	22	22	387
3 - Planejado Realizado	↑	Nº Ações planejadas Realizadas	4	11	17	19	19	355
4 - Realizado Não Planejado	↓	Nº ações realizada não Planejadas	0	2	3	3	3	32
5 - Planejado Não Realizado	↓	Nº Ações planejadas não Realizadas	1	2	2	1	1	3

Fonte: Base de dados da mineradora (2024).

Observa-se que, no acumulado anual, foram registradas 358 ações planejadas e 387 ações executadas. O número de ações executadas foi superior ao número de ações planejadas em razão da ocorrência de atividades realizadas sem previsão inicial no planejamento, classificadas como Realizado Não Planejado. Esse comportamento indica que, mesmo com a existência de um plano estruturado, a rotina de manutenção demandava flexibilidade para absorver necessidades identificadas ao longo do processo.

Entre as ações acompanhadas, 355 foram classificadas como Planejado Realizado, representando as atividades que estavam previstas no planejamento e foram efetivamente executadas. Esse resultado demonstra elevada correspondência entre o plano elaborado e a execução realizada em campo. Por outro lado, foram registradas 32 ações realizadas sem planejamento inicial, o que evidencia a presença de demandas incorporadas durante o ciclo de execução.

O número de ações classificadas como Planejado Não Realizado foi de apenas 3 no fechamento anual. Esse resultado indica que poucas ações permaneceram sem execução ao final do período analisado. No entanto, conforme discutido anteriormente, esse valor deve ser interpretado considerando a lógica de reprogramação e retroalimentação do planejamento, uma vez que ações não executadas em determinada semana ou mês podiam ser transferidas para períodos posteriores e concluídas posteriormente.

Dessa forma, os resultados anuais demonstram que o planejamento apresentou bom nível de execução das ações previstas, ao mesmo tempo em que manteve capacidade de adaptação diante de demandas não planejadas. Essa combinação reforça a importância do acompanhamento contínuo das atividades e da atualização dos registros como instrumentos de apoio à gestão da manutenção em minas paralisadas.

4.5.3 Resultado anual dos indicadores

Com base nos valores consolidados no acumulado anual, foram calculados os indicadores de aderência, cumprimento e efetividade das ações de manutenção acompanhadas no Corredor Sudeste em 2024. Estes indicadores permitiram avaliar, de forma quantitativa, o desempenho do planejamento em relação à execução das atividades programadas.

Para o cálculo dos indicadores, foram considerados os seguintes valores: 355 ações classificadas como Planejado Realizado, 32 ações classificadas como Realizado Não Planejado e 3 ações classificadas como Planejado Não Realizado. A partir desses dados, obteve-se o Índice de Aderência de 91,73%, o Índice de Cumprimento de 99,16% e o Índice de Efetividade de 95,45%, conforme apresentado no Quadro 7.

Quadro 6 – Resultado anual dos indicadores

Indicador	Fórmula aplicada	Resultado
Índice de Aderência (IA)	$PR / (PR + RNP)$	91,73%
Índice de Cumprimento (IC)	$PR / (PR + PNR)$	99,16%
Índice de Efetividade (IE)	$(IA + IC) / 2$	95,45%
Meta mínima adotada	—	80,00%

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de registros internos (2024).

Observa-se que todos os indicadores apresentaram resultados superiores à meta mínima de 80% adotada pela área de planejamento. O Índice de Cumprimento foi o indicador de maior desempenho, alcançando 99,16%. Esse resultado está relacionado ao baixo número de ações planejadas que permaneceram sem execução no fechamento anual, representado por apenas 3 registros classificados como Planejado Não Realizado.

O Índice de Aderência apresentou resultado de 91,73%, valor também superior à meta estabelecida. Apesar do bom desempenho, esse indicador foi inferior ao Índice de Cumprimento em razão da existência de 32 ações classificadas como Realizado Não Planejado. Essas ações representam atividades executadas sem previsão inicial no planejamento, indicando que, mesmo em um processo estruturado, havia necessidade de absorver demandas identificadas ao longo da rotina de campo.

Já o Índice de Efetividade, calculado a partir da média entre aderência e cumprimento, apresentou resultado de 95,45%. Esse valor demonstra que, no consolidado anual, o

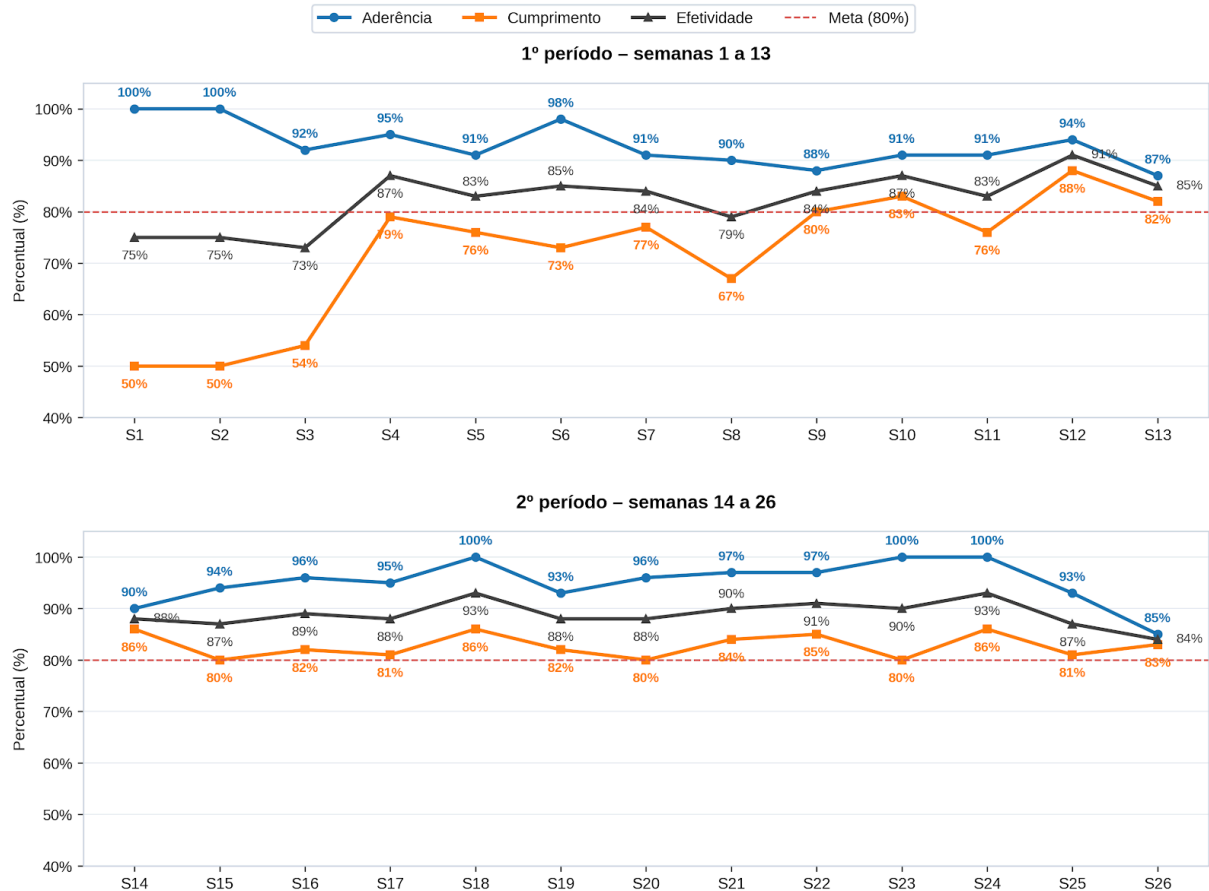
planejamento da manutenção apresentou desempenho satisfatório, conciliando elevado cumprimento das ações previstas com capacidade de adaptação às demandas não planejadas.

Assim, os resultados anuais indicam que o processo de planejamento contribuiu para manter elevado controle sobre as ações de manutenção, permitindo acompanhar a execução das atividades previstas, incorporar demandas não planejadas e reduzir o volume de pendências ao final do período analisado.

4.5.4 Evolução semanal dos indicadores

Além da análise anual, os indicadores de manutenção também foram avaliados em escala semanal, com o objetivo de compreender o comportamento do planejamento ao longo do ano de 2024. Essa análise permite identificar oscilações que não aparecem de forma evidente no resultado anual consolidado, especialmente em relação ao cumprimento das ações planejadas. Para facilitar a apresentação dos dados, a evolução semanal foi organizada em quatro períodos de 13 semanas, conforme apresentado nas Figuras 15 e 16.

Figura 15 – Evolução semanal dos indicadores de planejamento da manutenção entre as semanas 1 e 26 de 2024.

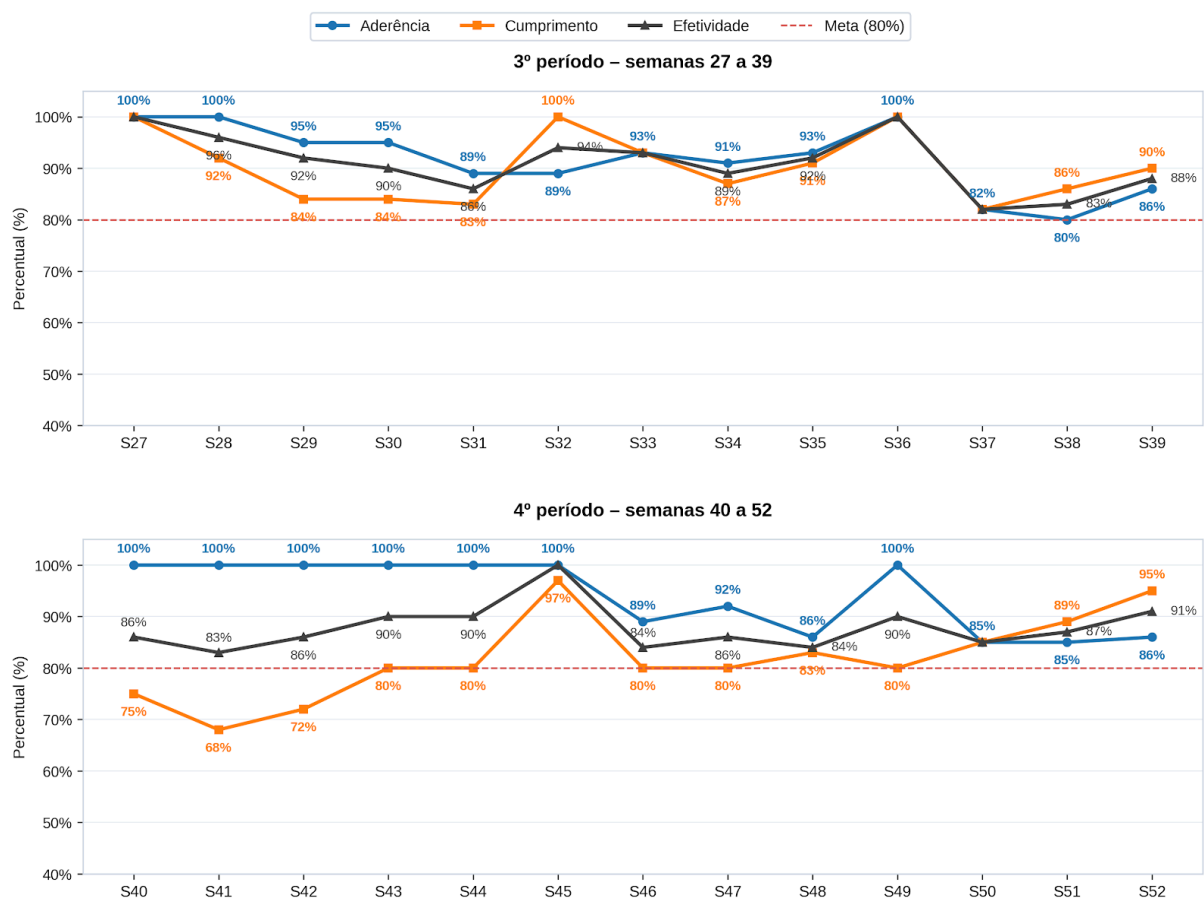


Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de registros internos (2024).

No primeiro período, correspondente às semanas 1 a 13, observa-se que o Índice de Aderência permaneceu em patamar elevado durante todo o intervalo, variando entre 87% e 100%. Esse comportamento indica que, mesmo no início do ano, a maior parte das ações executadas esteve associada ao planejamento estabelecido. Por outro lado, o Índice de Cumprimento apresentou valores abaixo da meta em várias semanas, especialmente no início do período, quando atingiu 50% nas semanas 1 e 2. Como consequência, a efetividade também permaneceu abaixo da meta nas semanas iniciais, evidenciando maior dificuldade de execução integral das ações planejadas nesse intervalo.

No segundo período, entre as semanas 14 e 26, observa-se maior estabilidade dos indicadores. A aderência manteve resultados superiores à meta em todas as semanas, enquanto o cumprimento permaneceu próximo ou acima de 80% durante todo o intervalo. A efetividade também apresentou comportamento satisfatório, permanecendo acima da meta mínima. Esse resultado indica maior equilíbrio entre planejamento e execução, sugerindo uma fase de maior controle das ações programadas.

Figura 16 – Evolução semanal dos indicadores de planejamento da manutenção entre as semanas 27 e 52 de 2024.



Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de registros internos (2024).

No terceiro período, correspondente às semanas 27 a 39, os indicadores permaneceram majoritariamente acima da meta mínima de 80%. A aderência apresentou valores elevados na maior parte das semanas, enquanto o cumprimento oscilou, mas sem quedas significativas abaixo da meta. A efetividade acompanhou esse comportamento, mantendo-se em nível satisfatório. Esse período demonstra que, mesmo com variações semanais, o processo de planejamento manteve capacidade de controle sobre as ações acompanhadas.

No quarto período, entre as semanas 40 e 52, observa-se nova oscilação no Índice de Cumprimento, com valores abaixo da meta nas semanas iniciais do intervalo. Apesar disso, a aderência manteve resultados elevados, inclusive com registros de 100% em várias semanas. A efetividade permaneceu, em geral, acima da meta mínima, demonstrando que os desvios observados no cumprimento não comprometeram o desempenho global do acompanhamento. Nas semanas finais, houve recuperação do cumprimento e manutenção da efetividade em patamar satisfatório. A média semanal apresentada no Quadro 8 foi obtida pela média aritmética simples dos 52 resultados semanais de cada indicador. Esse cálculo difere do resultado anual consolidado, que foi determinado diretamente a partir dos quantitativos acumulados de Planejado Realizado, Planejado Não Realizado e Realizado Não Planejado.

Quadro 7 – Síntese do comportamento semanal dos indicadores em 2024

Indicador	Média semanal	Menor valor	Maior valor	Semanas abaixo de 80%
Índice de Aderência	93,46%	80,00%	100,00%	0
Índice de Cumprimento	81,67%	50,00%	100,00%	12
Índice de Efetividade	87,58%	73,00%	100,00%	4

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de registros internos (2024).

A análise semanal evidencia que o Índice de Aderência foi o indicador mais estável ao longo do ano, mantendo-se sempre igual ou superior à meta mínima estabelecida. O Índice de Cumprimento apresentou maior oscilação, especialmente no início do ano e em semanas específicas do último período, indicando momentos em que parte das ações planejadas não foi executada no prazo previsto. A efetividade, por sua vez, refletiu o comportamento combinado desses dois indicadores, permanecendo acima da meta na maior parte do período analisado. Dessa forma, a evolução semanal reforça a importância do acompanhamento contínuo, uma

vez que permitia identificar desvios, reprogramar atividades e retroalimentar o planejamento das semanas seguintes.

4.6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E ANÁLISE DAS HIPÓTESES

Nesta seção, realiza-se a discussão integrada entre o referencial teórico apresentado, as premissas associadas à manutenção de minas sob suspensão temporária de lavra e os resultados obtidos no acompanhamento das ações de manutenção do Corredor Sudeste ao longo de 2024. O objetivo é avaliar em que medida as hipóteses norteadoras da pesquisa foram confirmadas, parcialmente confirmadas ou limitadas pelos dados analisados, considerando o comportamento dos indicadores, a dinâmica de reprogramação das ações, a organização das frentes de serviço e as restrições operacionais observadas no processo de planejamento e controle da manutenção.

De modo geral, os resultados indicaram desempenho satisfatório do planejamento da manutenção no período analisado, com indicadores anuais superiores à meta mínima estabelecida pela área. Entretanto, a análise semanal demonstrou que o bom resultado consolidado não elimina a ocorrência de oscilações, desvios pontuais, reprogramações e demandas não previstas durante a execução das atividades. Assim, a discussão das hipóteses permite aprofundar a interpretação dos resultados, evitando que a análise se restrinja aos valores finais dos indicadores.

A primeira hipótese *“O resultado anual consolidado dos indicadores pode ocultar oscilações relevantes no desempenho semanal das ações de manutenção, tornando necessário o acompanhamento em ciclos menores de controle”* é sustentada pelos resultados obtidos. No acumulado anual, os indicadores apresentaram desempenho elevado, com aderência de 91,73%, cumprimento de 99,16% e efetividade de 95,45%, todos superiores à meta mínima de 80%. Esses valores, quando analisados isoladamente, indicam um processo de planejamento com alto nível de controle e bom desempenho no fechamento do período.

Entretanto, a análise semanal mostrou que o resultado anual consolidado não revela integralmente as oscilações ocorridas ao longo do ano. Enquanto o indicador anual de cumprimento foi de 99,16%, a média semanal desse mesmo indicador foi de 81,67%, com semanas abaixo da meta mínima estabelecida. A efetividade também apresentou diferença entre o resultado anual consolidado e o comportamento semanal, indicando que determinados desvios foram absorvidos ao longo do processo de acompanhamento e reprogramação das ações.

Dessa forma, a hipótese é confirmada no recorte analisado, pois os dados demonstram que o fechamento anual, embora importante, não é suficiente para compreender a dinâmica real do planejamento da manutenção. O acompanhamento em ciclos menores permitia identificar oscilações, avaliar desvios e ajustar a programação antes do fechamento mensal ou anual. Assim, a análise semanal mostrou-se essencial para evitar uma interpretação excessivamente positiva baseada apenas nos resultados consolidados.

A segunda hipótese *“A reprogramação das ações não executadas contribui para o controle das pendências no planejamento, mas não elimina a ocorrência de desvios durante o período acompanhado”* também é sustentada pelos resultados do estudo, porém com uma interpretação mais cautelosa. A reprogramação das ações não executadas mostrou-se um elemento importante para a continuidade do planejamento, uma vez que permitia reincorporar atividades pendentes às programações seguintes. Dessa forma, uma ação não realizada em determinada semana ou mês não era, necessariamente, perdida ou abandonada, mas podia ser acompanhada, reavaliada e inserida novamente no ciclo de planejamento.

Esse comportamento ajuda a explicar o baixo número de ações classificadas como Planejado Não Realizado no fechamento anual. No acumulado do ano, apenas 3 ações permaneceram nessa condição, o que indica que parte das pendências geradas ao longo do período foi tratada por meio da reprogramação e da retroalimentação do planejamento. Assim, a reprogramação contribuiu para manter maior controle sobre as ações pendentes e reduzir o volume de atividades não executadas ao final do período analisado.

Entretanto, a existência da reprogramação não eliminou a ocorrência de desvios durante o acompanhamento semanal. Os gráficos de evolução dos indicadores demonstraram que houve semanas com desempenho inferior à meta, especialmente no Índice de Cumprimento, indicando que parte das ações planejadas não foi executada dentro do período inicialmente previsto. Portanto, a hipótese pode ser considerada parcialmente confirmada: a reprogramação contribuiu para o controle das pendências e para o bom fechamento anual, mas não impediu a ocorrência de desvios ao longo do processo de execução.

A terceira hipótese, *“A estratégia de atendimento das frentes de serviço por rodadas periódicas tende a otimizar o uso dos recursos em áreas geograficamente distribuídas, mas pode limitar a capacidade de resposta imediata a novas anomalias identificadas em campo”*, é parcialmente sustentada pela rotina analisada. No Corredor Sudeste, o planejamento das ações era organizado considerando a distribuição das minas, a permanência das equipes e equipamentos em determinadas regiões e a programação das frentes de serviço ao longo do período.

A adoção de rodadas periódicas contribuía para dar maior previsibilidade à manutenção, evitando deslocamentos isolados e permitindo melhor aproveitamento dos recursos disponíveis. Em um contexto de minas paralisadas distribuídas em diferentes localidades, essa estratégia favorecia a concentração das atividades em áreas previamente definidas e permitia organizar melhor a mobilização das equipes. No entanto, quando novas anomalias eram identificadas fora da área ou do período previsto para a rodada, a resposta imediata podia ser limitada pela localização dos recursos, pela disponibilidade das equipes e pela necessidade de ajustar a programação já estabelecida.

Dessa forma, a hipótese pode ser considerada parcialmente confirmada. A rotina observada indica que as rodadas periódicas contribuía para a organização e racionalização das atividades, especialmente em áreas geograficamente distribuídas. Por outro lado, o estudo não mensurou diretamente ganhos de produtividade, redução de deslocamentos ou tempo de resposta a novas anomalias.

A quarta hipótese, *“A ocorrência de demandas não previstas durante a execução das atividades exige flexibilidade do planejamento, sem que isso represente, necessariamente, perda de controle sobre as ações programadas”*, é sustentada pelos resultados obtidos. A presença de ações classificadas como Realizado Não Planejado no acumulado anual demonstra que, mesmo diante de um plano estruturado, novas demandas surgiam durante o ciclo de execução e precisavam ser absorvidas pela equipe de planejamento.

No período analisado, foram registradas 32 ações realizadas sem previsão inicial no planejamento. Esse resultado indica que a rotina de manutenção em minas paralisadas não se comportava de forma totalmente estática, pois as condições de campo, as inspeções, as restrições operacionais e as necessidades emergentes podiam gerar novas frentes de atuação. Nesse sentido, a existência de ações não planejadas não deve ser interpretada automaticamente como falha do planejamento, mas como evidência da necessidade de adaptação do processo diante da dinâmica operacional das áreas acompanhadas.

Assim, a hipótese é confirmada no recorte analisado. Apesar da ocorrência de demandas não previstas, os indicadores anuais permaneceram acima da meta mínima estabelecida, demonstrando que a incorporação dessas ações não comprometeu o controle geral do planejamento. Pelo contrário, a capacidade de absorver demandas emergentes, acompanhar sua execução e manter os resultados dentro de patamares satisfatórios reforça a importância de um planejamento flexível e continuamente atualizado.

A quinta hipótese, *“As oscilações no cumprimento das ações planejadas tendem a se intensificar em períodos de maior restrição operacional, especialmente durante a estação*

chuvosa, em razão da possível influência das condições climáticas sobre acessos, mobilização de recursos e execução das atividades em campo”, é parcialmente sustentada pela análise dos indicadores semanais e pela rotina observada. Os resultados demonstraram que as principais oscilações no cumprimento ocorreram em períodos nos quais as condições operacionais tendem a ser mais restritivas, especialmente no início e no final do ano.

No contexto das minas paralisadas, a estação chuvosa pode impactar diretamente a execução das atividades de manutenção, principalmente em função das condições de acesso, da necessidade de preservação das frentes de serviço, da mobilização de equipamentos e da segurança das equipes em campo. A ocorrência de chuvas pode dificultar deslocamentos, limitar intervenções em drenagens, acessos e estruturas geotécnicas, além de exigir ajustes na programação originalmente definida.

Entretanto, a hipótese deve ser interpretada com cautela, uma vez que o estudo não realizou correlação estatística entre os indicadores de desempenho e dados pluviométricos oficiais. Dessa forma, os resultados permitem sustentar a existência de uma relação provável entre períodos de maior restrição operacional e oscilações no cumprimento das ações, mas não comprovam de forma isolada que as variações observadas decorreram exclusivamente das condições climáticas.

Assim, a hipótese é considerada parcialmente confirmada. A análise indica que a estação chuvosa e as restrições de campo associadas podem influenciar o desempenho semanal do planejamento, mas outros fatores também podem ter contribuído para as oscilações observadas, como disponibilidade de recursos, priorização de demandas, condições de acesso, interferências operacionais e necessidade de reprogramação das atividades.

De forma integrada, a análise das hipóteses demonstra que o planejamento da manutenção em minas paralisadas deve ser compreendido como um processo dinâmico, sujeito a variações de campo, restrições operacionais, demandas não previstas e necessidade constante de ajustes. Os resultados indicam que o bom desempenho anual dos indicadores esteve associado não apenas à execução das ações programadas, mas também à capacidade de acompanhamento semanal, reprogramação de pendências e incorporação de novas demandas ao planejamento.

Nesse sentido, o estudo reforça que a gestão da manutenção em contexto de paralisação não se limita à elaboração de cronogramas ou ao atendimento pontual de anomalias. Ela envolve a organização contínua das demandas, a mobilização de recursos, o controle por indicadores e a retroalimentação do planejamento a partir dos desvios observados. Assim, as hipóteses analisadas evidenciam que a manutenção da infraestrutura

em minas paralisadas depende do equilíbrio entre previsibilidade e flexibilidade, de modo a sustentar a gestão das áreas acompanhadas ao longo do período de paralisação.

4.7 Diretrizes gerenciais identificadas a partir do estudo de caso

Com base na análise dos registros das ações de manutenção, dos indicadores de desempenho e das situações discutidas ao longo do estudo de caso, foram identificadas diretrizes gerenciais que podem contribuir para o planejamento, o acompanhamento e o controle da manutenção em minas temporariamente paralisadas. Essas diretrizes não têm como objetivo substituir o fluxo de planejamento adotado pela área, mas sintetizar os principais pontos de atenção evidenciados pelos resultados da pesquisa e suas possíveis contribuições para a gestão de contextos semelhantes.

Quadro 8 – Diretrizes identificadas a partir do estudo de caso

Eixo	Diretriz gerencial identificada	Contribuição esperada
Controle dos indicadores	Manter o acompanhamento em ciclos curtos, evitando avaliar o desempenho apenas pelo resultado anual consolidado.	Identificar desvios com maior rapidez e apoiar ajustes durante o período.
Gestão de pendências	Tratar ações não executadas como pendências ativas, acompanhando sua reprogramação até conclusão ou redefinição.	Reduzir o risco de perda de controle sobre atividades postergadas.
Flexibilidade operacional	Prever margem de ajuste na programação para absorver demandas não previstas e anomalias de campo.	Conciliar planejamento estruturado com capacidade de resposta operacional.
Sazonalidade climática	Considerar períodos de maior restrição operacional na programação das ações de manutenção.	Adequar o planejamento às condições reais de execução em campo.
Evolução da gestão	Utilizar o histórico de ações e indicadores como base para análises futuras de falhas e confiabilidade.	Apoiar a evolução do planejamento para práticas mais orientadas à confiabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

As diretrizes apresentadas sintetizam as principais contribuições gerenciais identificadas no estudo de caso. Em conjunto, elas evidenciam a necessidade de associar o acompanhamento em ciclos curtos ao controle das pendências, à flexibilidade operacional, à consideração das condições climáticas e ao uso do histórico das ações como suporte à evolução do planejamento da manutenção.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo analisar a importância do planejamento e da gestão da manutenção da infraestrutura em minas temporariamente paralisadas, considerando o acompanhamento das ações e dos indicadores de desempenho em um estudo de caso no Corredor Sudeste. A partir da revisão bibliográfica, da caracterização do contexto analisado, da descrição do fluxo de planejamento e da avaliação dos indicadores utilizados ao longo de 2024, foi possível compreender como a manutenção permanece essencial mesmo em áreas sem lavra ativa.

Os resultados demonstraram que a paralisação temporária de uma mina não elimina a necessidade de gestão. Embora a produção esteja suspensa, as estruturas permanecem expostas a processos de deterioração, restrições de campo e demandas técnicas que exigem acompanhamento contínuo. Nesse contexto, o planejamento mostrou-se fundamental para organizar as demandas, programar frentes de serviço e manter controle sobre as ações necessárias ao período de paralisação.

A análise do estudo de caso evidenciou que o planejamento da manutenção não se restringe à elaboração de cronogramas. No contexto analisado, ele funcionava como um processo dinâmico, envolvendo levantamento das demandas, programação das atividades, acompanhamento em campo, fechamento dos indicadores e retroalimentação das ações não concluídas. Essa lógica permitia ajustar o planejamento às condições reais de execução, especialmente diante de demandas não previstas, restrições operacionais e necessidade de redistribuição das atividades ao longo do período.

Os indicadores de acompanhamento tiveram papel relevante nesse processo, pois permitiram transformar a rotina operacional em informação gerencial. Os resultados anuais apresentaram desempenho satisfatório e superior à meta mínima adotada pela área. Entretanto, a análise semanal demonstrou que os resultados consolidados podem ocultar oscilações importantes ao longo do período. Dessa forma, o acompanhamento em ciclos menores mostrou-se essencial para identificar desvios, compreender variações na execução e apoiar ajustes no planejamento.

A discussão das hipóteses reforçou essa interpretação. Verificou-se que a reprogramação das ações contribuiu para o controle das pendências, embora não tenha eliminado a ocorrência de desvios durante o período acompanhado. Também foi observado que as rodadas periódicas favoreciam a organização dos recursos em áreas geograficamente

distribuídas, mas podiam limitar a resposta imediata a novas anomalias identificadas fora da programação inicial. Além disso, a ocorrência de ações não previstas demonstrou que a flexibilidade do planejamento é necessária para absorver demandas emergentes sem representar, necessariamente, perda de controle sobre as ações programadas.

Conclui-se, portanto, que o planejamento e a gestão da manutenção da infraestrutura são fundamentais para o controle de minas temporariamente paralisadas. A manutenção, nesse contexto, não deve ser tratada como atividade secundária, mas como parte integrante da conservação das áreas, do controle das condições operacionais e da organização das decisões futuras relacionadas à continuidade, reestruturação ou encerramento das operações. O estudo de caso demonstrou que o uso de indicadores, aliado ao acompanhamento semanal e à retroalimentação das ações, contribui para maior controle do processo e para uma gestão mais estruturada das demandas de manutenção.

Em termos práticos, os resultados indicam que o planejamento e a gestão sistemática da manutenção podem contribuir para a mitigação de riscos geotécnicos e ambientais, ao favorecerem a identificação de desvios, a priorização das intervenções e o acompanhamento das condições das estruturas e áreas mantidas. Essas práticas também podem apoiar o controle de custos, mediante o direcionamento dos recursos para ações prioritárias e a redução da necessidade de intervenções emergenciais, retrabalhos e recuperações de maior porte. Além disso, a conservação contínua da infraestrutura durante o período de paralisação contribui para manter as estruturas em condições mais adequadas, proporcionando maior segurança, previsibilidade e eficiência para uma eventual retomada das operações.

Como possibilidade de aprofundamento, recomenda-se que estudos futuros avaliem a incorporação de princípios da Manutenção Centrada na Confiabilidade à gestão da infraestrutura de minas paralisadas. Essa abordagem pode contribuir para relacionar as ações de manutenção às funções das estruturas, aos modos de falha, às consequências associadas e à definição de estratégias mais adequadas para preservação dos ativos ao longo do período de paralisação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Anuário Mineral Brasileiro 2023: principais substâncias metálicas.** Brasília, DF: ANM, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/economia-mineral/publicacoes/anuario-mineral>. Acesso em: 21 maio 2026.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Anuário Mineral Brasileiro: principais substâncias metálicas 2025: ano-base 2024.** Brasília, DF: ANM, 2025. 55 p. Versão 2, maio 2026. Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/economia-mineral/publicacoes/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/amb_metalicos_rev_2.pdf. Acesso em: 16 jun. 2026.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Resolução ANM nº 68, de 30 de abril de 2021.** Dispõe sobre as regras referentes ao Plano de Fechamento de Mina – PFM e revoga as Normas Reguladoras da Mineração nº 20.4 e nº 20.5, aprovadas pela Portaria DNPM nº 237, de 18 de outubro de 2001. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 4 maio 2021.

ALMEIDA, P. S. de. **Manutenção mecânica industrial: conceitos básicos e tecnologia aplicada.** São Paulo: Érica, 2017.

BENEVENUTI, F. D. **Análise e diagnóstico do sistema de drenagem com VANT e integração ao planejamento de mina.** 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/224360>. Acesso em: 1 jun. 2026.

BOULHOSA, G. S. **Estudo sobre os deslocamentos superficiais dos taludes do setor GW da Mina de Fe de Brucutu (Quadrilátero Ferrífero-MG) por meio de dados de radar orbital.** 2022. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2022.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Norma Reguladora de Mineração nº 20: suspensão, fechamento de mina e retomada das operações mineiras.** Brasília, DF: DNPM, 2001.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 06: equipamentos de proteção individual – EPI.** Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Emprego, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes>. Acesso em: 16 jun. 2026.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 22: segurança e saúde ocupacional na mineração.** Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Emprego, 2026. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes>. Acesso em: 16 jun. 2026.

CARDOSO, J. P. M. **Centros de monitoramento geotécnico em barragens de rejeito: revisão das abordagens manuais e automatizadas.** 2025. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2025. Disponível em: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/7712>. Acesso em: 2 jun. 2026.

CENTENO, C. L. **Sistematização de procedimentos para o fechamento temporário de minas de agregados.** 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/165262>. Acesso em: 27 maio 2026.

COLOMBO, L. P. **Comparativo entre meios de comunicação de dados para automação de instrumentos no monitoramento de barragens.** 2025. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2025. Disponível em: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/8300>. Acesso em: 2 jun. 2026.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (Minas Gerais). **Deliberação Normativa COPAM nº 220, de 21 de março de 2018.** Estabelece diretrizes e procedimentos para a paralisação temporária da atividade minerária e o fechamento de mina. Diário do Executivo, Belo Horizonte, 28 mar. 2018.

COSTA, T. F. A. **Estudo da manutenção centrada em confiabilidade na melhoria da confiabilidade dos ativos críticos: o caso do departamento de manutenção de uma empresa siderúrgica.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022. Disponível em: <http://monografias.ufop.br/handle/35400000/4217>. Acesso em: 31 maio 2026.

CUNHA, G. P. **Segurança do trabalho aplicada à mineração: uma revisão bibliográfica das normas vigentes.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022. Disponível em: <http://monografias.ufop.br/handle/35400000/4914>. Acesso em: 16 jun. 2026.

DARLING, P. **SME mining engineering handbook.** 3. ed. Englewood: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 2011.

FONTELLES, M. J.; SIMÕES, M. G.; FARIAS, S. H.; FONTELLES, R. G. S. Metodologia da pesquisa científica: diretrizes para a elaboração de um protocolo de pesquisa. **Revista Paraense de Medicina**, Belém, v. 23, n. 3, 2009.

GALO, D. B. **Fechamento de mina no semiárido baiano.** 2023. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/37074>. Acesso em: 22 maio 2026.

GOMES, D. G. **A importância da análise de riscos conjugada com o planejamento e controle da manutenção em infraestrutura: os desafios da gestão em uma mina paralisada.** 2023. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2023.

GOMES NETO, A. **Análise de implementação do Systems Applications and Products in Data Processing (SAP) como ferramenta estratégica para aprimorar o processo de gestão da manutenção de ar condicionados de uma mineradora em Minas Gerais.** 2024. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2024. Disponível em: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/7034>. Acesso em: 2 jun. 2026.

GORKOS, P. **Potencial de uso de drones em inspeções de barragens: estudo de caso da Barragem dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim e Barragem Rodolfo da Costa e Silva.** 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/248625>. Acesso em: 2 jun. 2026.

HARTMAN, H. L.; MUTMANSKY, J. M. **Introductory mining engineering.** 2. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2002.

HUSTRULID, W.; KUCHTA, M.; MARTIN, R. **Open pit mine planning and design.** 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Mineração em números 2023.** Brasília, DF: IBRAM, 2023. Disponível em: <https://ibram.org.br/publicacoes/>. Acesso em: 22 maio 2026.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica.** 5. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2019.

LEAL FILHO, W. *et al.* Understanding rare earth elements as critical raw materials. **Sustainability**, v. 15, n. 3, art. 1919, 2023. DOI: 10.3390/su15031919. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/3/1919>. Acesso em: 23 maio 2026.

MAGALHÃES JÚNIOR, N. **Análise das manutenções preventivas e proposta de melhoria ao planejamento e controle de manutenção de equipamentos HME em uma empresa de mineração.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021. Disponível em: <http://monografias.ufop.br/handle/35400000/3676>. Acesso em: 31 maio 2026.

MARINS, R. T. **Estudo das contribuições da manutenção preditiva em equipamentos de mineração para consolidação de uma base teórica para área da manutenção.** 2024. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2024. Disponível em: <http://monografias.ufop.br/handle/35400000/7031>. Acesso em: 31 maio 2026.

MINDREAU, M. The relaunching of industrial policy in Brazil: what have rare earths got to do with it? **The Extractive Industries and Society**, v. 24, art. 101723, 2025. DOI: 10.1016/j.exis.2025.101723. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2025.101723>. Acesso em: 23 maio 2026.

MIRANDA, J. M. B. **Avaliação da aplicação do Business Process Model and Notation (BPMN) no setor de planejamento e controle de manutenção de uma empresa de mineração de grande porte.** 2022. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022. Disponível em: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/4840>. Acesso em: 3 jun. 2026.

MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance.** 2. ed. New York: Industrial Press, 1997.

OLIVEIRA, D. E. G. **Planejamento de lavra com foco no sequenciamento operacional de um sistema de lavra por correias em uma mina a céu aberto**. 2023. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1843/58468>. Acesso em: 27 maio 2026.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

QUEIROZ, V. O. **Monitoramento geotécnico de estruturas de mineração**. 2024. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2024. Disponível em: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/7314>. Acesso em: 3 jun. 2026.

RESENDE, A. G.; LIMA, H. M. de. Análise das concessões de lavra quanto às suspensões temporárias de operação. **REM: Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 62, n. 4, p. 539-544, 2009. DOI: 10.1590/S0370-44672009000400019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0370-44672009000400019>. Acesso em: 29 maio 2026.

SALIM, H. *et al.* A critical review on tackling complex rare earth supply security problem. **Resources Policy**, v. 77, art. 102799, 2022. DOI: 10.1016/j.resourpol.2022.102799. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301420722001453>. Acesso em: 25 maio 2026.

SERGIPE. Administração Estadual do Meio Ambiente. **Adema visita mina subterrânea de potássio em Rosário do Catete**. 2024. Disponível em: <https://adema.se.gov.br/adema-visita-mina-subterranea-de-potassio-em-rosario-do-catete/>. Acesso em: 29 jun. 2026.

SLACK, N.; BRANDON-JONES, A. **Administração da produção**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2018.

TEIXEIRA BARBOSA, T. C.; PANTUZA, G. New model for the integrated production scheduling and preventive maintenance programming problem in an open-pit iron ore mine: a case study. **Mining, Metallurgy & Exploration**, v. 41, p. 3057-3072, 2024. DOI: 10.1007/s42461-024-01082-3. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42461-024-01082-3>. Acesso em: 25 maio 2026.

VIANA, H. R. G. **Curso de gestão e engenharia da manutenção**. [S. l.]: Editora Insigne Acadêmica, 2024. 502 p. ISBN 9786583104106.

XENOS, H. G. **Gerenciando a manutenção produtiva: melhores práticas para eliminar falhas nos equipamentos e maximizar a produtividade**. Nova Lima: Falconi, 2014.

ZALESKI, G. D. **Licenciamento ambiental no âmbito da mineração: comparativo entre órgãos ambientais estaduais brasileiros**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Processos Ambientais) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2024. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/34982>. Acesso em: 25 maio 2026.

XENOS, H. G. *Managing productive maintenance: best practices to eliminate equipment failures and maximize productivity*. Nova Lima: Falconi, 2014.

ZALESKI, G. D. *Environmental licensing in mining: a comparative study among Brazilian state environmental agencies*. 2024. Course Completion Work (Technology in Environmental Processes) – Federal Technological University of Paraná, Curitiba, 2024. Available at: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/34982>. Accessed on: May 25, 2026.