



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO - UFOP
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS - DEMIN



CAIO PIRES DE OLIVEIRA

**EFICIÊNCIA OPERACIONAL NA MINERAÇÃO: MELHORIA CONTÍNUA NO
PROCESSO DE ABASTECIMENTO DE EQUIPAMENTOS DE TRANSPORTE EM
UMA MINA DE FERRO**

**Ouro Preto – MG
2026**

CAIO PIRES DE OLIVEIRA

caio.pires@aluno.ufop.edu.br

**EFICIÊNCIA OPERACIONAL NA MINERAÇÃO: MELHORIA CONTÍNUA NO
PROCESSO DE ABASTECIMENTO DE EQUIPAMENTOS DE TRANSPORTE EM
UMA MINA DE FERRO**

Monografia submetida à apreciação da banca examinadora de graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos necessários para a obtenção de grau de Bacharel em Engenharia de Minas.

Orientadora: Prof. Dra. Rita de Cássia Pedrosa Santos

Ouro Preto – MG
2026



FOLHA DE APROVAÇÃO

Caio Pires de Oliveira

Eficiência operacional na mineração: melhoria contínua no processo de abastecimento de equipamentos de transporte em uma mina de ferro.

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

Aprovada em 26 de fevereiro de 2026

Membros da banca

Prof.^a Dr.^a Rita de Cássia Pedrosa Santos - Orientadora - Universidade Federal de Ouro Preto
Prof. Dr. José Fernando Miranda - Universidade Federal de Ouro Preto
Eng. de Minas Bruno Macedo de Souza Brandão - Vale

Prof. Rita de Cássia Pedrosa Santos, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 06/03/2026.



Documento assinado eletronicamente por **Rita de Cassia Pedrosa Santos**, **PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/03/2026, às 17:18, 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 **1070839** e o código CRC **22BA0921**.

Este trabalho é dedicado a todas as pessoas que resolveram mudar o rumo de suas vidas e têm lutado bravamente para concluir este desafio.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família que esteve comigo nesta caminhada desafiadora que é realizar uma transição de carreira. Fazer uma segunda graduação depois de alguns anos foi certamente um dos períodos mais difíceis que enfrentei, mas jamais conseguiria chegar aqui sozinho. Então, é preciso agradecer a todos que estiveram do meu lado, ao apoio dos meus amigos, ao conhecimento dos professores, em especial à Professora Rita pela orientação deste trabalho e a Universidade Federal de Ouro Preto por um período de crescimento e transformação.

*“Educação não transforma o mundo.
Educação muda o mundo.
Pessoas mudam o mundo.”*

(Paulo Freire)

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre a eficiência operacional no processo de abastecimento de caminhões fora de estrada em uma mina de ferro, utilizando da melhoria contínua, com foco na redução de custos e aumento da produtividade. A análise inicial identificou problemas como deslocamentos desnecessários, filas nos postos, abastecimentos com tanque próximos de cheios e abastecimentos concentrados em horários de pico, comprometendo a performance operacional. Diante destes desafios, foi desenvolvido um projeto de melhoria contínua utilizando a metodologia PDCA e ferramentas da qualidade, como *brainstorming*, gráfico de Pareto, gráfico *boxplot*, diagrama de causa e efeito – Ishikawa, matriz de priorização e 5W2H. Foram implementadas ações para que aumentasse o nível de eficiência do abastecimento na mina. Os resultados obtidos incluem redução das horas ociosas em apontamentos realizados pelos operadores como: “aguardando para abastecer” em 32,94% e o “abastecimento encerrado” em 24,54% e economia de aproximadamente 20 milhões de reais por ano. Este estudo evidencia como a aplicação estruturada do PDCA e ferramentas de gestão da qualidade pode gerar ganhos tangíveis e sustentáveis na mineração.

Palavras-chave:

Eficiência operacional; PDCA; Melhoria contínua; Abastecimento; Mineração.

ABSTRACT

This paper presents a study on operational efficiency in the off-road truck refueling process at an iron ore mine, using continuous improvement, focusing on cost reduction and increased productivity. The initial analysis identified problems such as unnecessary travel, queues at service stations, refueling with nearly full tanks, and concentration during peak hours, compromising operational performance. To face these challenges, a continuous improvement project was developed using the PDCA methodology and quality tools such as *brainstorming*, Pareto charts, *boxplots*, prioritization matrices, Ishikawa cause-and-effect diagrams, and 5W2H. Actions were implemented to increase the efficiency level of refueling at the mine. The results obtained include a 32.94% reduction in "waiting to refuel" entries and a 24.54% reduction in "refueling completed" entries, and savings of approximately in the order of twenty million reais per year. This study demonstrates how the structured application of PDCA and quality management tools can generate tangible and sustainable gains in mining.

Keywords:

Operational efficiency; PDCA; Continuous improvement; Fueling; Mining.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Despacho estático.....	19
Figura 2 - Despacho Dinâmico	19
Figura 3 - Caminhão Fora de Estrada – 785C.....	25
Figura 4 - Caminhão Fora de Estrada – 789D.....	26
Figura 5 - Ciclo de Deming.....	27
Figura 6 - Método PDCA de gerenciamento de processos.	28
Figura 7 - Ferramentas de Qualidade utilizadas.....	30
Figura 8 - Exemplo de Gráfico de Pareto	32
Figura 9 - Modelo de Diagrama de Ishikawa	33
Figura 10 - Exemplo de Matriz GUT	34
Figura 11 - Ferramenta 5W2H.....	35
Figura 12 - Ciclo PDCA	36
Figura 13 - Diagrama de Ishikawa de Ineficiência de Abastecimento	43
Figura 14 - Fluxograma do Módulo de Alerta de Abastecimento.....	48
Figura 15 - Adição do código de Abastecimento por Janela de Oportunidade no Despacho.	49
Figura 16 - Planilha de Excel para acompanhamento de Status de Autonomia dos Equipamentos.....	49
Figura 17 - Bico de abastecimento do Caminhão.....	50

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Pareto de consumo de abastecimento em 2025	37
Gráfico 2 - Nível de Tanque na Hora do Abastecimento	38
Gráfico 3 - Contagem de Abastecimentos por hora	39
Gráfico 4 - Aguardando para Abastecer - Jan a Set/25.....	39
Gráfico 5 - Abastecimento Encerrado - Jan a Set/25	40
Gráfico 6 - Meta Aguardando para Abastecer	41
Gráfico 7 - Meta Abastecimento Encerrado.....	42
Gráfico 8 - Aguardando para Abastecer - 2025.....	51
Gráfico 9 - Abastecimento Encerrado - 2025	52
Gráfico 10 - Utilização Física - Transporte - 2025	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo entre modelos de abastecimento	22
Tabela 2 - Comprovação das Causas Fundamentais	44
Tabela 3 - Matriz de Priorização.....	45
Tabela 4 - <i>Brainstorming</i>	45
Tabela 5 - Ferramenta 5W2H.....	46

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Formulação do Problema	14
1.2	Justificativa.....	14
1.3	Objetivos	14
1.3.1	Objetivo Geral	14
1.3.2	Objetivos Específicos.....	14
1.4	Organização do Trabalho	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	Contextualização do transporte na mineração	17
2.2	Despacho de Mina	18
2.3	Abastecimento dos Equipamentos de Transporte	20
2.3.1	Modelos de Abastecimento.....	21
2.3.2	Segurança no Processo de Abastecimento na Mineração	22
2.3.3	Meio ambiente	23
2.4	Parâmetro Técnicos Equipamentos de Transporte	24
2.4.1	Caminhões Fora de Estrada – 785C.....	24
2.4.2	Caminhões Fora de Estrada – 789D.....	25
2.5	Melhoria Contínua	27
2.6	Ferramentas de Qualidade.....	29
2.6.1	<i>Brainstorming</i>	30
2.6.2	Gráfico de Pareto.....	31
2.6.3	Gráfico <i>Boxplot</i>	32
2.6.4	Diagrama de Causa e Efeito - Ishikawa.....	32
2.6.5	Matriz de Priorização	33
2.6.6	5W2H.....	34
3	METODOLOGIA.....	35
3.1	PDCA (<i>Plan, Do, Check and Act</i>).....	36
3.1.1	Seleção do problema e Diagnóstico	36
3.1.2	Definição de meta	41
3.1.3	Causas.....	42
3.2	Plano de Ação	45
3.2.1	Elaboração.....	45
3.2.2	Execução	46
3.3	Resultados PDCA	51

3.4	Padronização	53
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

1 INTRODUÇÃO

Ao longo do século passado, as minas a céu aberto têm constantemente aumentado suas taxas de produção. Bozorgebrahimi *et al.* (2003) afirmam que equipamentos maiores e novas tecnologias permitem lavrar áreas maiores e conseqüentemente, obter mais minério em menos tempo. Os baixos preços das *commodities* forçaram as empresas a diminuir o seu custo unitário, usando novas tecnologias e aumentando a produtividade.

O cenário da mineração atual segue se mostrando desafiador no que diz respeito aos custos operacionais. Verifica-se um aumento das tecnologias no processo de produção, as quais precisam ser acompanhadas de um bom planejamento, execução e monitoramento, a fim de garantir maior eficiência na operação de uma mina.

O advento da informação trouxe um grande facilitador à operação de caminhões fora de estrada, o sistema eletrônico de despacho, auxiliando no transporte de minério e estéril das frentes de lavra para as usinas e pilhas dentro de uma mina. Este tipo de sistema otimiza a logística da frota, gera relatórios, indicadores, possibilitando a identificação de perdas, estabelece os tempos e movimentos, além de evidenciar os passos do transporte dentro da mina.

Além disso, a grande complexidade das operações nas minas exige que haja uma boa estruturação de processos, os quais permitem analisar e tratar desvios de forma organizada. Neste cenário, a utilização de ferramentas do PDCA se faz fundamental para melhor padronização, tomadas de decisão estruturadas, garantindo melhor controle sobre as ineficiências da operação.

Desta forma, o presente trabalho apresenta o diagnóstico de abastecimento de combustível nos equipamentos de transporte em uma mina de ferro, no qual foi possível perceber tendências no abastecimento, que geram redução de eficiência da operação. Portanto, faz-se necessário a proposta de melhoria dos processos de abastecimento nesta mina, através da ferramenta PDCA, na qual oportunidades de melhoria contínua foram identificadas. Assim, foi possível reduzir os custos da operação, aumentar a qualidade do serviço, além de contribuir para uma cultura organizacional orientada a excelência.

1.1 Formulação do Problema

O abastecimento eficiente de uma frota de transporte é vital para a continuidade operacional e a maximização da produtividade. Quando caminhões fora de estrada apresentam mais de 50% da capacidade total do tanque em combustível e abastecem, o processo torna-se menos eficiente. A ausência de uma diretriz que priorize níveis ideais de combustível resulta em paradas prematuras e desnecessárias. Como consequência, observa-se a degradação dos indicadores de utilização, o aumento de filas nos postos, perda de produtividade, menor movimentação e, inevitavelmente, uma elevação nos custos operacionais o que compromete a rentabilidade da operação.

1.2 Justificativa

A otimização do processo de abastecimento, especialmente evitando paradas prematuras quando os caminhões ainda possuem mais da metade do tanque, reduz custos diretos e elimina perdas de produtividade causadas por filas e paradas desnecessárias. Ao garantir níveis adequados para o abastecimento, aumenta-se a taxa de utilização física da frota, liberando horas produtivas fundamentais para o cumprimento das metas de produção e melhorando os resultados operacionais.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Implementar um projeto estruturado de melhoria contínua no processo de abastecimento de equipamentos de transporte em uma mina de ferro. O trabalho visa, sobretudo, trazer uma maior eficiência operacional, principalmente ao reduzir o desperdício de combustível, deslocamentos e horas improdutivas e redução de custos.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para que o objetivo geral descrito fosse alcançado, foram listados os objetivos específicos abaixo:

1. Otimizar o fluxo de deslocamento dos caminhões até o posto de abastecimento, reduzindo concentrações simultâneas de equipamentos e evitando a formação de filas que aumentam o tempo improdutivo.
2. Avaliar o impacto da implementação do módulo de alerta nos caminhões fora de estrada que através de uma lógica encaminha os equipamentos para o abastecimento;
3. Implantar processos de melhoria contínua com foco em diminuir as horas em apontamentos no sistema de despacho como “aguardando abastecer” e “abastecimento encerrado”, garantindo maior disponibilidade produtiva da frota;
4. Quantificar a redução das horas improdutivas da frota de transporte decorrente da otimização do processo de abastecimento e da utilização do módulo de alerta, relacionando esses ganhos com indicadores de desempenho operacional.

1.4 Organização do Trabalho

O presente trabalho de conclusão de curso está estruturado em cinco capítulos principais, organizados de forma a conduzir o leitor desde a contextualização do problema até a apresentação dos resultados obtidos e considerações finais.

No Capítulo 1, apresenta-se a introdução ao tema, incluindo a formulação do problema, a justificativa para a realização do estudo, os objetivos gerais e específicos, além desta seção de organização do trabalho. Esse capítulo estabelece o panorama inicial que motivou o trabalho e define seus limites e contribuições esperadas.

O Capítulo 2 refere-se à Revisão Bibliográfica, no qual são abordados conceitos fundamentais relacionados ao transporte na mineração, funcionamento dos sistemas de despacho, processos de abastecimento, modelos adotados, segurança e aspectos ambientais. Também são discutidas ferramentas aplicadas à qualidade dos dados, metodologias de análise, aspectos técnicos e normativos relevantes e características dos caminhões fora de estrada estudados (modelos 785C e 789D). Esse capítulo

oferece o embasamento teórico necessário para compreender e sustentar a análise desenvolvida no estudo.

O Capítulo 3 apresenta a Metodologia utilizada na pesquisa, estruturada com base no ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*). São descritas as etapas de compreensão da situação atual, definição de metas, aplicação de ferramentas como *brainstorming*, gráfico de Pareto, gráfico *boxplot*, diagrama de causa e efeito – Ishikawa, matriz de priorização e 5W2H, utilizadas para identificação, análise, comprovação das causas e plano de ação para tratar o problema estudado.

No Capítulo 4, são expostos os Resultados e Discussão, apresentando as análises realizadas, as intervenções propostas e os impactos observados sobre o processo de abastecimento. Os resultados são relacionados a literatura e discutidos à luz dos objetivos definidos no início do trabalho.

Por fim, o Capítulo 5 apresenta as Considerações Finais, destacando as contribuições do estudo, as conclusões alcançadas, bem como recomendações para trabalhos futuros e possíveis aplicações práticas dos resultados obtidos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Contextualização do transporte na mineração

As grandes mineradoras, neste caso, as de minério de ferro, extraem altos volumes de minério, e acompanhado a isto, associam-se os desafios, dos quais o transporte participa com grande parcela. Uma vez extraído o minério, ele precisa ser transportado, às usinas, estoques e aos clientes finais. De acordo com Kaul e Soofastaei (2022a), um dos custos de maior representatividade na indústria de mineração é o transporte de materiais, que pode custar uma grande porcentagem do preço entregue ao cliente, torna-se então essencial a sua otimização no setor. Os autores destacam ainda que atualmente existem tecnologias avançadas de análise que oferecem às empresas de mineração a capacidade de tornar o transporte de minério e estéril mais eficiente, reduzir custos, aumentar a segurança da operação e descarbonizar a cadeia de suprimentos.

Com o objetivo de enfrentar estes desafios relacionados ao transporte, as mineradoras têm investido em tecnologias como inteligência artificial e *machine learning*. Soofastaei *et al.*, (2022b), por meio de análises de dados reais coletados em operações de mineração a céu aberto em quatro minas localizadas nos Estados Unidos e na Austrália, detalham um algoritmo através de inteligência artificial para otimizar o consumo de combustível de caminhões fora de estrada.

Além dos custos relacionados ao transporte, vê-se cada vez mais uma preocupação ambiental relacionada às emissões de gases de efeito estufa proveniente da queima de combustíveis fósseis, representando um importante desafio para a indústria de mineração. Lamdari *et al.* (2022) destacam que melhorar o consumo de combustível dos caminhões de transporte tem um impacto significativo na redução de poluentes e gases de efeito estufa. Os autores desenvolveram um estudo publicado no *Journal of Mining and Environment* no qual aplicaram técnicas de *machine learning* para prever e otimizar o consumo de combustível de caminhões fora de estrada em minas a céu aberto, demonstrando que modelos baseados em redes neurais apresentaram o melhor desempenho entre as abordagens avaliadas.

A busca por maior eficiência no transporte de minério e estéril nas minas tem se consolidado como um dos pilares estratégicos da indústria da mineração,

especialmente diante do grande impacto do consumo de combustível nos custos operacionais.

2.2 Despacho de Mina

Para o processo de extração de minério, são utilizados vários tipos de equipamentos, podem ser citados para a mineração a céu aberto principalmente as escavadeiras, as carregadeiras e os caminhões fora de estrada. Para que haja um bom direcionamento de atividades de cada equipamento, são utilizados sistemas eletrônicos de despacho, os quais foram evoluindo substancialmente e atualmente possuem uma tecnologia avançada. As informações geradas pelo sistema de despacho permitem uma melhor análise de dados e consequentemente, uma tomada de decisão assertiva.

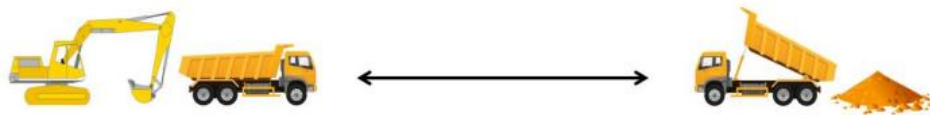
A história do despacho de mina se inicia por volta da década de 60. Segundo Askari-Nasab *et al.* (2017), grandes esforços têm sido feitos desde 1964, quando surgiu o uso de comunicações via rádio entre os operadores de equipamentos e o centro de controle de operações da mina. Posteriormente, um dos primeiros algoritmos para resolver o problema de alocação e despacho de caminhões em minas a céu aberto foi apresentado 1973. E no final da década de 1970, surgiram os painéis de despacho localizados no centro de controle das minas, utilizando uma técnica de despacho simplificada para gerenciar a operação. Os autores adicionam a história que mesmo que pesquisas continuaram sendo realizados ao longo das décadas de 1960 e 1970, os principais estudos na mineração começaram na segunda metade da década de 1980. Então, ao final da década de 1980, os pesquisadores começam a se concentrar no desenvolvimento de algoritmos baseados em diversas abordagens para otimizar o gerenciamento de frotas em minas.

Atualmente, os sistemas de despacho de mina possuem grande tecnologia, e um sistema capaz de gerenciar as frotas de caminhão fora de estrada faz uma grande diferença nos custos e quando é bem utilizado se torna muito vantajoso operacionalmente. De acordo com Yao *et al.* (2023), é de grande importância um bom planejamento do despacho dos caminhões no processo de produção para que o transporte seja o mais curto possível, o mais econômico e o mais eficiente.

Atualmente, muitas empresas de mineração a céu aberto já utilizam sistemas de despacho para programar os caminhões e realizar as atividades dentro da mineração.

Hoje são mais utilizados dois critérios para alocação dos caminhões fora de estrada nas frentes de lavra, sendo eles o dinâmico e o estático. Na alocação fixa (estático) os caminhões ficam dedicados a determinadas frentes de lavra ou carregadeiras (FIG.1)

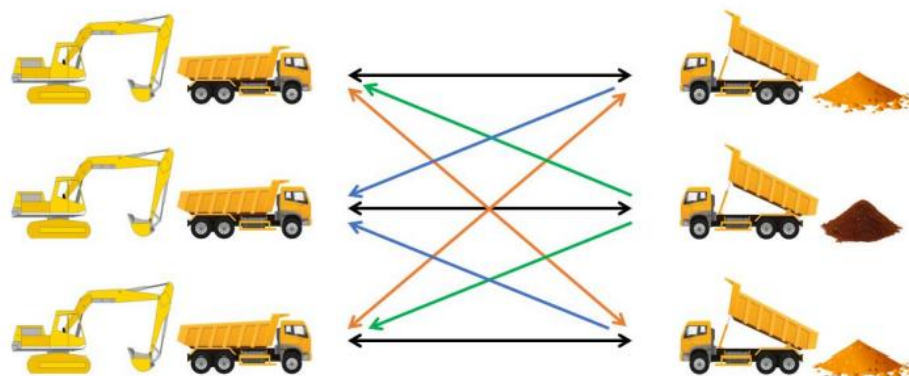
Figura 1 - Despacho estático



Fonte: GARIBA; SILVA, 2019

Enquanto a alocação dinâmica (FIG.2), os caminhões podem ser disponibilizados para diferentes frentes de lavra, o que aumenta a produtividade da frota e permite que frotas menores consigam performar melhor (SOUZA *et al.*, 2010).

Figura 2 - Despacho Dinâmico



Fonte: GARIBA; SILVA, 2019

O critério de alocação dinâmica, pode ser implantado de diversas formas. Rodrigues e Pinto (2012) compararam metodologias baseadas em programação linear, programação dinâmica e heurística. Tais metodologias citadas são bases da maioria dos algoritmos dos sistemas de despacho nas operações mineiras no Brasil.

No entendimento de Rodrigues e Pinto (2012), o modelo de programação linear determina uma rota considerada ótima para o transporte de material entre os pontos

de carga e descarga, reduzindo custos de remanejamento e estocagem, além de garantir o atendimento às metas de qualidade e às exigências de alimentação da usina. Por outro lado, White e Olson (1986) discutem o modelo de programação dinâmica, que apresenta uma abordagem distinta para o problema de alocação. Já a metodologia heurística, conforme descrevem Rodrigues e Pinto (2012) se baseia em uma combinação das estratégias de despacho usadas para alocar os equipamentos objetivando o melhor resultado, dentre essas estratégias pode-se citar a qualidade, o ritmo de lavra, o ritmo de produção, o tempo de fila e o tempo de ciclo.

2.3 Abastecimento dos Equipamentos de Transporte

A operação de abastecimento é classificada como uma atividade auxiliar, que se baseia em dar suporte ao processo, mas não é a atividade fim para a extração de minério em si, desta forma por não gerar receita, acaba por ser considerada de baixa prioridade em grandes organizações (HARTMAN, 1987).

Muito embora seja considerada uma atividade de auxílio, o abastecimento é crítico para a operação, pois ele garante que aconteça o transporte do minério dentro da mina. Este processo, também está intimamente ligado a produtividade e disponibilidade dos equipamentos, de forma que atrasos no abastecimento podem prejudicar um ciclo inteiro dentro da operação, redução da taxa de utilização dos caminhões, além de dificultar o alcance de metas de produção. De acordo com Santos *et al.* (2020), as atividades logísticas de apoio como abastecimento devem ser planejadas de forma integrada ao processo de produção na mineração. Isso se deve ao fato de que estas atividades representam potenciais pontos de paradas operacionais e aumento de custos quando não são adequadamente coordenadas junto às atividades primárias, como extração e transporte.

Em relação aos caminhões fora de estrada, equipamentos principais do transporte na mina, o abastecimento apresenta uma importância ímpar devido ao grande volume de combustível utilizado, que pode alcançar milhares de litros por caminhão, e ao tempo que se é demandado para a operação. Alguns manuais técnicos de fabricantes, como Caterpillar e Komatsu, reforçam que o planejamento inadequado do abastecimento pode prejudicar a vida útil dos equipamentos, além de

elevar riscos operacionais associados a falhas humanas, vazamentos e outros acidentes (CATERPILLAR, 2018; KOMATSU, 2023).

Assim, é possível verificar a relevância do abastecimento dentro da mineração e como este processo deve ser parte de uma gestão estratégica, já que está muito relacionado ao planejamento, despacho e operação de mina. Adicionalmente, deve haver acompanhamento e ser tema de processos de melhoria contínua, de forma que se reduza as perdas e maximize-se o desempenho da operação.

2.3.1 Modelos de Abastecimento

O abastecimento nas minas pode acontecer de formas diferentes, as quais são definidas de acordo com a organização da mina, frentes de lavra, os equipamentos disponíveis e até as metas de produção definidas (Tabela 1). Estudos realizados com telemetria reforçam que organizar o instante e o local do abastecimento, baseado em dados operacionais, é mais eficiente. Esta abordagem contribuir para reduzir as paradas, aumentar o volume por abastecimento e diminuir a frequência de reabastecimentos, com impacto positivo na utilização efetiva dos caminhões (FELSCH *et al.*, 2019). Os principais modelos de abastecimento são os postos fixos, os comboios móveis e as estações semimóveis.

Postos de abastecimento fixos: podem ser definidos como uma estrutura permanente localizada em área relativamente centralizada da operação de mina, possui tanques, bombas, sistemas de contenção e infraestrutura fixa de segurança. O abastecimento é realizado quando os caminhões se deslocam até este ponto estabelecido. Estudos por Felsch *et al.* (2019) demonstram que tais deslocamentos aos pontos de abastecimento levam ao aumento do tempo improdutivo, reforçando a natureza centralizada e estática dos postos fixos dentro do sistema produtivo.

Comboios móveis: se baseiam em realizar o abastecimento dos caminhões fora de estrada nas frentes de lavra, reduzindo os deslocamentos de transporte e aumentando a disponibilidade. Para obter tais ganhos, é fundamental roteirizar e programar o comboio para evitar filas, janelas de espera e ociosidade (SOUZA, 2023).

Estações semimóveis: são uma possibilidade intermediária, pois são estruturas consideradas temporárias em áreas estrategicamente pensadas dentro da

mina, as quais podem ser realocadas conforme o avanço da lavra, de forma que reduzem os deslocamentos sem perder padronização e controle.

Tabela 1 - Comparativo entre modelos de abastecimento

Modelo	Funcionamento	Principal vantagem	Limitação
Postos Fixos	Estrutura permanente em área central da mina. Caminhões se deslocam até o posto.	Alta padronização e controle.	Aumenta tempo improdutivo devido aos deslocamentos.
Comboios Móveis	Caminhão-tanque vai até as frentes de lavra para abastecer no local.	Reduz deslocamentos e aumenta disponibilidade.	Exige roteirização eficiente para evitar filas.
Estações Semimóveis	Estruturas temporárias posicionadas estrategicamente e realocáveis.	Menos deslocamentos com boa padronização.	Necessidade de planejar realocações.

Fonte: Do autor

2.3.2 Segurança no Processo de Abastecimento na Mineração

A segurança do trabalho no processo de abastecimento de caminhões na mina é um processo importante para prevenção de incêndio, explosões, derramamentos, contaminação do meio ambiente e demais acidentes. Os riscos associados as atividades são principalmente devido ao grande volume de combustível dos equipamentos, condições de elevadas temperaturas e grande tráfego de equipamentos. O boletim da NSW Resources Regulator (2021) divulgou ocorrências com abastecimento na indústria da mineração no período de 2017 e 2021, com falhas em componentes de respiro de tanques, tampas danificadas e vazamentos, compõe a maioria dos incidentes nesta atividade, reforçando a necessidade de atenção à segurança no processo de abastecimento.

No Brasil a atividade de abastecimento na mineração é baseada principalmente nas normas regulamentadoras do trabalho, NR 22 - Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração e a NR 20 - Segurança e Saúde no Trabalho com Inflamáveis e Combustíveis, além da Resolução ANP nº 939 DE 05/10/2023 que trata da regulamentação dos pontos de abastecimentos.

Sobre as normas regulamentadoras, a NR-22 determina diretrizes gerais de segurança dentro da mineração, de forma a incluir a organização das áreas de trabalho, controle de riscos, prevenção de incêndios e requisitos de máquinas e equipamentos, aplicáveis às áreas de abastecimento (NR-22, 2024). A NR-20 complementa o tema, já que prevê requisitos mínimos para o gerenciamento seguro de atividades envolvendo inflamáveis e combustíveis, incluindo o abastecimento, controles de ignição são exigidos, além da análise de riscos, contenção de vazamentos e capacitação dos trabalhadores envolvidos (NR-20, 2025). Já a Resolução ANP nº 939/2023 normatiza os pontos de abastecimento, dispõe obrigações relacionadas a infraestrutura, segurança operacional e controles ambientais para instalações de combustíveis (ANP, 2023).

2.3.3 Meio ambiente

As atividades minerárias são críticas no que diz respeito aos impactos ambientais, deve-se, portanto, participar ativamente das agendas globais do meio ambiente. Como grandes contribuintes na queima de combustíveis fósseis, as mineradoras possuem papel importante nos programas de redução de gases do efeito estufa. O Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), instituiu um guia de eficiência energética, a fim de contribuir para o tema junto às mineradoras.

O IBRAM (2024), destaca que a parcela de 50% do consumo de energia de uma mineradora está no transporte de minério e reforça ainda que mesmo com o avanço tecnológico para busca de opções mais sustentáveis, a utilização do diesel ainda é grande e fundamental para o processo produtivo da mineração.

Em concordância com os objetivos deste trabalho, o IBRAM (2024), estabelece aspectos de melhoria em processos para otimizar a operação em relação a eficiência energética, dentre eles podem ser citados: dar o treinamento adequado do operador a partir de conhecimentos práticos e teóricos; garantir que os caminhões transportem a carga útil precisa para otimização dos ciclos; gestão de rotas precisa, evitando atrasos e filas; controle de viagens fora do percurso como reabastecimento, refeições, banheiro e etc.; reduzir atrasos por manutenção; e por fim, otimizar tempos de atividades do carregamento como escavação, giro, retorno e despejo.

Como forma de reduzir o impacto ambiental através da gestão do consumo de combustível e consequente diminuição de emissões de gás carbônico, foi implantado na mina Mogalakwena na África do Sul um sistema de otimização de combustível. O sistema foi criado com o objetivo de apoiar a mina em sua iniciativa de redução de combustível e foi projetado para otimizar a operação do motor, reduzindo as rotações por minuto (RPM) para minimizar o consumo geral de combustível. O projeto inclui reduções de RPM na velocidade máxima do motor, no modo de frenagem e no modo de prontidão, diminuindo os impactos nos tempos de ciclo de transporte, reduzindo 13% nas taxas de consumo de combustível (KOMATSU, 2019).

2.4 Parâmetro Técnicos Equipamentos de Transporte

Os equipamentos de transporte a serem tratados neste trabalho serão os modelos 785C e 789D, ambos da fabricante Caterpillar. Para tal, algumas especificações técnicas devem ser abordadas, devido a importância de se conhecer as limitações e as eficiências dos caminhões, agregando segurança ao processo.

2.4.1 Caminhões Fora de Estrada – 785C

Segundo o fabricante, o 785C, é um modelo altamente focado em performance (FIG. 3), transportando grande volume de material a um menor valor por tonelada. O motor é o 3512B a diesel, o qual oferece alta potência e confiabilidade nos ambientes mais exigentes do mundo da mineração. O 3512B é um projeto de 16 cilindros e quatro tempos que usa golpes de força longos e eficazes para uma combustão completa e ótima eficiência. A sua carga útil nominal é de 136 toneladas e sua capacidade do tanque de combustível é 1893 Litros no padrão de fábrica (CATERPILLAR, 2002).

Figura 3 - Caminhão Fora de Estrada – 785C



Fonte: CATERPILLAR, 2002

Ainda de acordo com o manual do fabricante, o motor fornece capacidade adicional de frenagem ao operar contra a compressão nas descidas. Nestas aplicações de frenagem por compressão, o Módulo de Controle Eletrônico – MCE do motor interrompe completamente a injeção de combustível nos cilindros, garantindo uma grande eficiência de combustível (CATERPILLAR, 2002).

2.4.2 Caminhões Fora de Estrada – 789D

O caminhão fora de estrada 789D (FIG. 4) é um modelo de equipamento de transporte de porte maior, no qual a otimização do seu abastecimento se torna ainda mais importante. De acordo com o fabricante, o 789D apresenta uma alta velocidade em rampas, devido principalmente ao eficiente motor série 3500 de 16 cilindros e à sua transmissão mecânica. A sua carga útil nominal é de 181 a 194 toneladas e sua capacidade do tanque de combustível é 2082 litros no padrão de fábrica ou 3785 litros, caso seja personalizado (CATERPILLAR, 2012).

Figura 4 - Caminhão Fora de Estrada – 789D



Fonte: CATERPILLAR, 2012

2.5 Melhoria Contínua

O método gerencial de melhoria contínua o qual será abordado é o PDCA, que é uma sigla do idioma inglês para *Plan, Do, Check* e *Act*, e que em português significa Planejar, Fazer, Verificar e Agir.

Em 1950 W. Edwards Deming propôs um ciclo (FIG.5) que sintetiza as fases de concepção, experimentação, comercialização e aprimoramento contínuo de produtos.

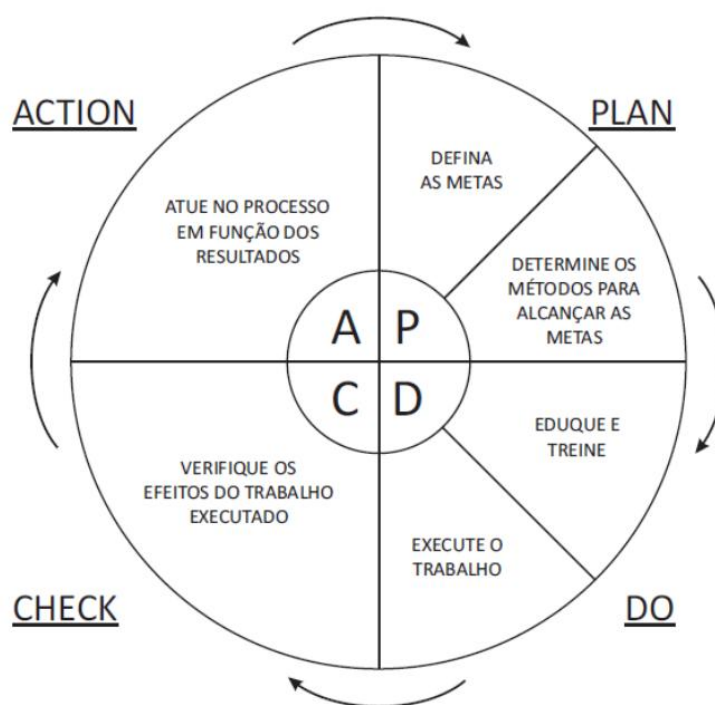
Figura 5 - Ciclo de Deming.



Fonte: MOEN, 2020

Em 1951, um grupo de executivos japoneses utilizou o ciclo de Deming como base para criação do PDCA – *Plan, Do, Check* e *Act* (FIG. 6), um ciclo de quatro passos para resolução de problemas. O ciclo PDCA destaca a prevenção de erros através de padrões e da melhoria contínua desses padrões (MOEN, 2020).

Figura 6 - Método PDCA de gerenciamento de processos.



Fonte: CAMPOS, 2014

A figura 6 destaca o ciclo PDCA proposta por Campos (2014). A primeira fase do processo é o Planejamento (*Plan*), na qual são estabelecidas as metas sobre os itens de controle, além das formas ou caminhos para chegar até as metas propostas. Esta também é uma etapa de estabelecimento de diretrizes de controle.

A segunda fase do ciclo é a da Execução (*Do*), na qual torna-se fundamental o processo educacional com o treinamento das pessoas envolvidas, para que haja a execução do que foi planejado. De forma concomitante, devem ser coletados os dados.

O terceiro estágio do ciclo é composto pela Verificação (*Check*), que se baseia em comparar os dados registrados na fase de execução com as metas planejadas.

Por fim, tem-se o quarto passo do ciclo do PDCA, que é a Agir (*Action*), que tem por objetivo observar o que não foi possível alcançar das metas e realizar as

correções, a seguir deve-se reiniciar o ciclo. Caso todas as metas sejam de fato alcançadas, deve-se padronizar o processo e garantir sua continuidade.

Ainda segundo Campos (2014), o método PDCA além do método gerencial citado anteriormente, que é amplamente difundido, pode ser utilizado para a manutenção e melhorias, portanto manter e melhorar resultados.

Para cada fase do ciclo PDCA, podem ser utilizadas ferramentas da qualidade que irão auxiliar na análise de dados, organização de ideias, prioridades no processo e tomada de decisões.

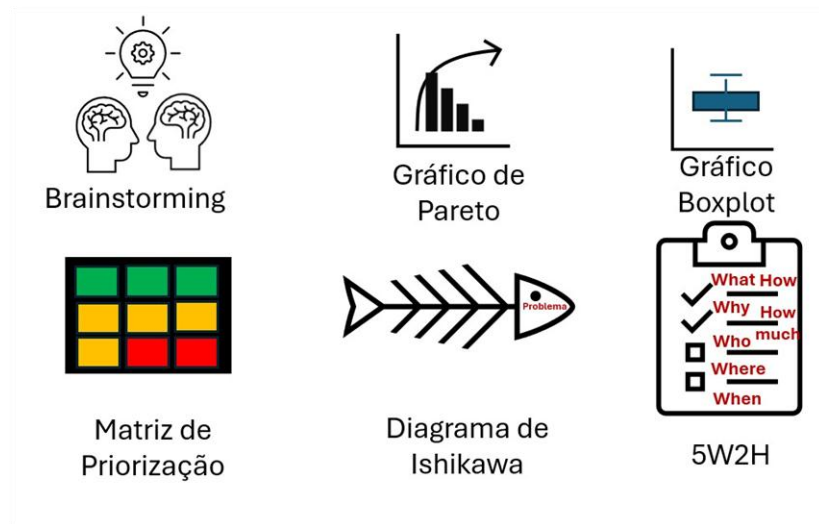
2.6 Ferramentas de Qualidade

As chamadas ferramentas de qualidade são imprescindíveis para uma adequada organização do método gerencial como um todo, permitindo maior clareza e fundamentação das informações, trazendo decisões acertadas e resultados mais tangíveis.

Desta forma, existem técnicas difundidas utilizadas para o levantamento de dados, análise e disposição das informações. Tais ferramentas da qualidade se tornam necessárias ao implantar o Método de PDCA, como formas de facilitar o processo, aumentar a qualidade e produtividade (MARIANI, 2005).

As ferramentas de qualidade (FIG.7) utilizadas no presente trabalho que contribuem para a implantação do Método PDCA, são: *brainstorming*, gráfico de Pareto, gráfico *boxplot*, diagrama de causa e efeito – Ishikawa, matriz de priorização e 5W2H.

Figura 7 - Ferramentas de Qualidade utilizadas



Fonte: Do autor

2.6.1 *Brainstorming*

Traduzida do inglês, significa chuva de ideias e foi apresentada pelo empresário Alex Osborn em 1939, trazendo uma forma criativa de resolução de problemas. Besant (2016), destaca que *Brainstorming* é a técnica de resolução de problemas coletiva a qual envolve a participação espontânea de ideias dos membros do grupo para que a reflexão de tais ideias tenha como consequência a solução de um problema. Complementa ainda que embora essa definição não considere todas as complexidades e variações do processo de *brainstorming*, conforme teorizado e praticado por Alex Osborne, tal conceito simboliza o uso popular do termo. Para o senso geral, o *brainstorming* é lembrado sinônimo do processo criativo de geração de ideias.

A Asian Productivity Organization – APO, traz em um Manual de Ferramentas e Técnicas com recomendações para a realização de um bom *brainstorming* (YOUNG, 2020):

- 1- Nomear um facilitador para a dinâmica;
- 2- Garantir que todos saibam as diretrizes básicas de um *brainstorming*;
- 3- Se possível, fornecer blocos de nota adesivos e canetas;
- 4- Escrever o problema em um lugar visível a todos;
- 5- Questionar se todos entenderam bem o problema;

- 6- Discutir em grupo os critérios para a seleção de ideias;
- 7- Pedir que cada um anote suas ideias nas notas adesivas e as entregue ao facilitador;
- 8- Procurar as ideias duplicas e as junte;
- 9- Votar nas melhores ideias segundos os critérios de seleção criado anteriormente.

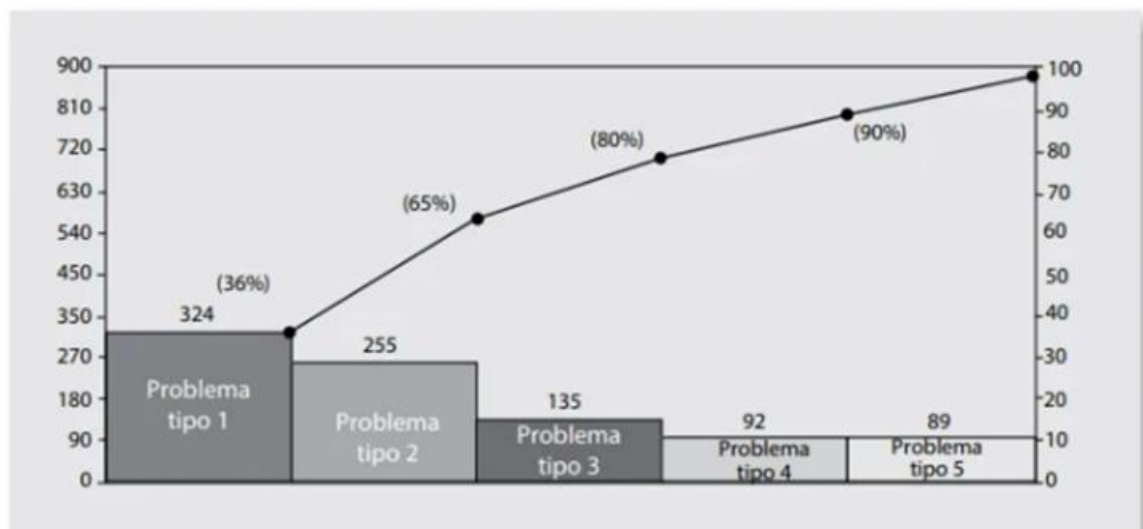
Hoje, este processo criativo de trazer soluções para os diversos problemas de empresas e da sociedade como todo, é feito de formas diferentes pelas pessoas, sempre com o objetivo final de gerar o maior número de ideias (BESANT, 2016).

2.6.2 Gráfico de Pareto

De acordo com Alkaiyat (2021), o princípio de Pareto foi criado pelo economista Vilfredo Pareto, o qual, através de um estudo, observou que 80% do território da Itália pertencia a apenas 20% da população. Pareto concluiu ainda que 80% da produção na maioria das vezes vinha de apenas 20% das empresas. Tais constatações foram base para a hipótese geral de que 80% dos resultados se originam de 20% dos fatores ou causas que influenciam os resultados. Foi então que o gráfico de Pareto, que também é chamado de regra 20/80, tornou-se uma importante ferramenta de qualidade, fundamental para a melhoria de processos.

Por definição, tem-se que o Gráfico de Pareto é essencialmente um gráfico de barras que dispõe em ordem os eventos de maior frequência para os de menor frequência e tem o objetivo de priorizar os poucos problemas que possuem grande repercussão nos resultados (SILVEIRA, 2013). O gráfico de Pareto (FIG. 8) permite uma melhor visão das prioridades em uma gestão de problemas.

Figura 8 - Exemplo de Gráfico de Pareto



Fonte: OLIVEIRA, 2014

No meio corporativo, esta ferramenta é amplamente utilizada principalmente quando se tem uma gama de variáveis em questão e existe uma dificuldade de encontrar as prioridades, causas-raiz de problemas que causam perdas, prejuízos etc.

2.6.3 Gráfico *Boxplot*

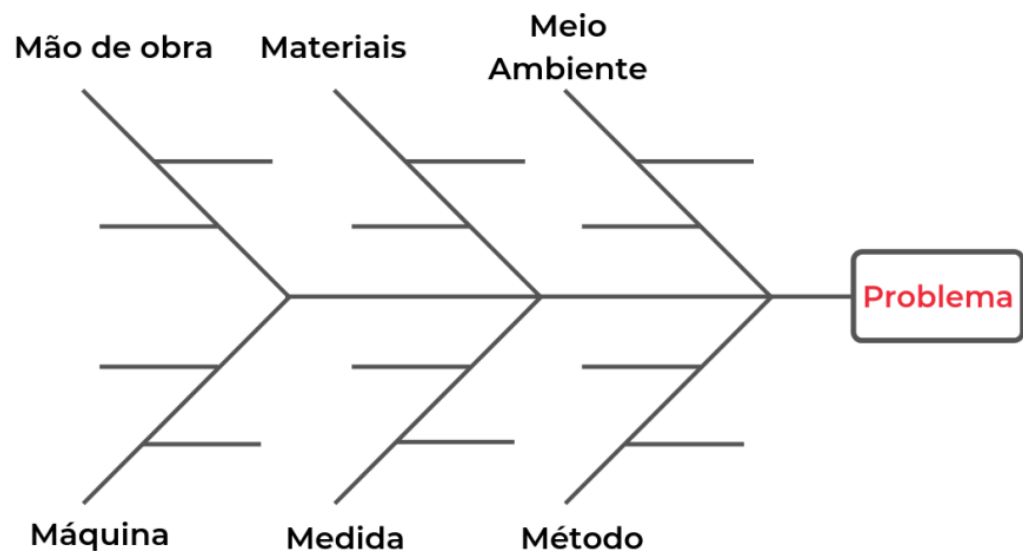
Ferramenta gráfica utilizada na pesquisa científica para sintetizar e analisar dados quantitativos, oferecendo uma visão clara de medidas de tendência central não paramétricas, como a mediana, além de índices de dispersão e simetria da amostra. Sua estrutura visual, composta por uma caixa e hastes, permite identificar os quartis (25% e 75%), os valores mínimos e máximos, bem como a presença de valores atípicos (*outliers*) e extremos que poderiam distorcer a análise. De acordo com Valladares Neto *et al.* (2017), esse recurso atua como um substituto aperfeiçoado para as tabelas em casos específicos, sendo fundamental para a análise exploratória de dados e a comparação entre diferentes grupos amostrais.

2.6.4 Diagrama de Causa e Efeito - Ishikawa

Como pilar do controle de processos observa-se a importância de se entender o relacionamento de causa e efeito. Segundo Campos (2014), quando algum evento fim acontece, diversos motivos ou causas podem ter condicionado tal resultado. De

origem japonesa, o diagrama de Ishikawa ou espinha de peixe (FIG.9) foi criado justamente para a adequada separação de causas e efeitos, uma vez que existe grande tendência em confundi-los.

Figura 9 - Modelo de Diagrama de Ishikawa



Fonte: EGESTOR, 2013

As causas são agrupadas em tópicos de mão de obra, materiais, meio ambiente, máquina, medida e método, com o objetivo de facilitar a análise.

2.6.5 Matriz de Priorização

A Matriz de Priorização, também conhecida como Matriz GUT, classifica os problemas elencados em três pontos principais: gravidade, urgência e tendência. Segundo Napoleão (2019), na Matriz GUT a “gravidade” indica o impacto que o problema pode causar à área caso de fato aconteça; já a “urgência” reforça o prazo necessário para solucionar o problema e quanto maior a urgência, menos tempo disponível para a ação sobre o problema; por fim, a “tendência” retrata a probabilidade daquele problema piorar caso nenhuma medida seja tomada.

A Matriz GUT (FIG.10) é construída através de uma tabela, na qual lista-se em itens os problemas sobre os quais se deseja avaliar. E então, deve-se atribuir notas

de 1 a 5 (1 menos grave e 5 mais grave), posteriormente, realizar a multiplicação das notas $G \times U \times T$ e por fim, ordenar de forma decrescente para criar a lista de prioridades (NAPOLEÃO, 2019).

Figura 10 - Exemplo de Matriz GUT

Matriz GUT

	Gravidade	x	Urgência	x	Tendência		Grau Crítico		Sequência
Problema 1	5		3		2		30		2°
Problema 2	5		5		3		75		1°
Problema 3	4		2		3		24		3°

*situação hipotética

Fonte: SILVA, 2023

2.6.6 5W2H

A ferramenta 5W2H (FIG.11) é descrita como um método administrativo utilizado para o registro organizado, claro e planejado de como as ações de um projeto devem ser executadas. De acordo com Melônio (2024), essa técnica consiste em um plano de ação estruturado em torno de sete perguntas fundamentais cujas iniciais em inglês dão nome ao método: *What* (o quê?), *When* (quando?), *Where* (onde?), *Why* (por quê?), *Who* (quem?), *How* (como?) e *How much* (quanto custa?). A aplicação dessa ferramenta permite que os envolvidos em um projeto tenham conhecimento exato de suas responsabilidades e prazos, resultando não apenas no aumento da produtividade, mas também na criação de uma sinergia que serve como diferencial estratégico para a tomada de decisões.

Figura 11 - Ferramenta 5W2H



Fonte: KUSTRO, 2022

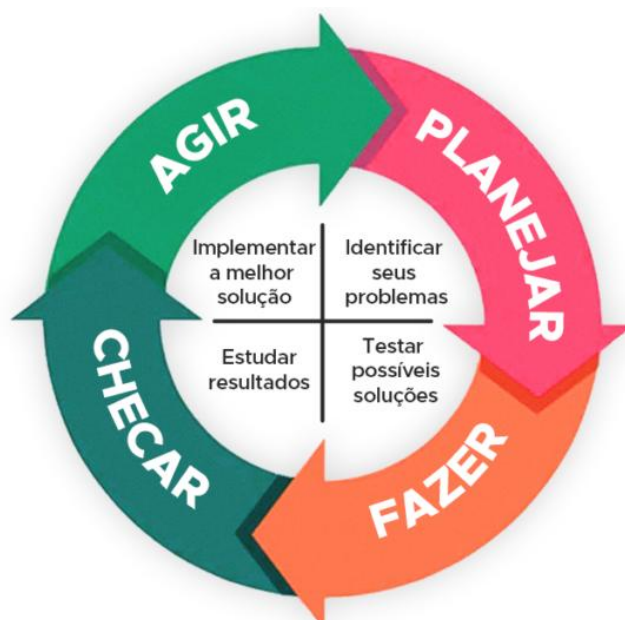
3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada no presente trabalho se baseia principalmente em um estudo analítico no qual foi possível unir um viés quantitativo e outro qualitativo, com dados reais da unidade da mineradora estudada, buscando descrever situações e problemas, com o fim de se chegar em uma melhoria. Para alcançar o objetivo principal de otimizar o processo de abastecimento como um todo, foi empregado o ciclo do PDCA. Em cada etapa do ciclo, algumas ferramentas da qualidade foram utilizadas com o objetivo de trazer maior clareza dos aspectos envolvidos e possíveis ações para melhoria.

3.1 PDCA (*Plan, Do, Check and Act*)

O ciclo PDCA organiza a melhoria contínua em quatro etapas: planejar, fazer, checar e agir. A figura 12 ilustra esse processo de forma simplificada.

Figura 12 - Ciclo PDCA



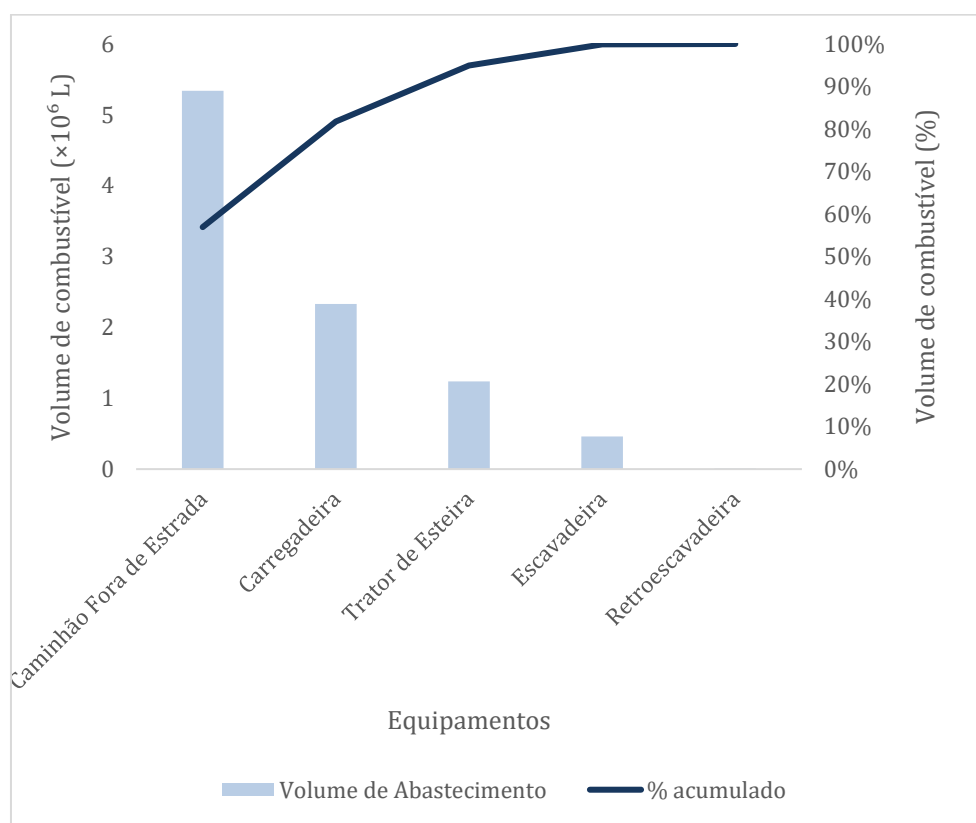
Fonte: ROHR, 2025

3.1.1 Seleção do problema e Diagnóstico

Para um diagnóstico da situação atual, coletou-se um banco de dados do posto de combustível e do sistema de despacho de mina, foram feitas visitas técnicas ao posto, observação do fluxo operacional e levantamento de dados técnicos dos equipamentos, para a compreensão detalhada do processo de abastecimento e suas nuances.

Através de dados operacionais de abastecimento de uma mina de ferro, realizou-se a primeira análise com gráfico de Pareto (GRAF. 1).

Gráfico 1 - Pareto de consumo de abastecimento em 2025

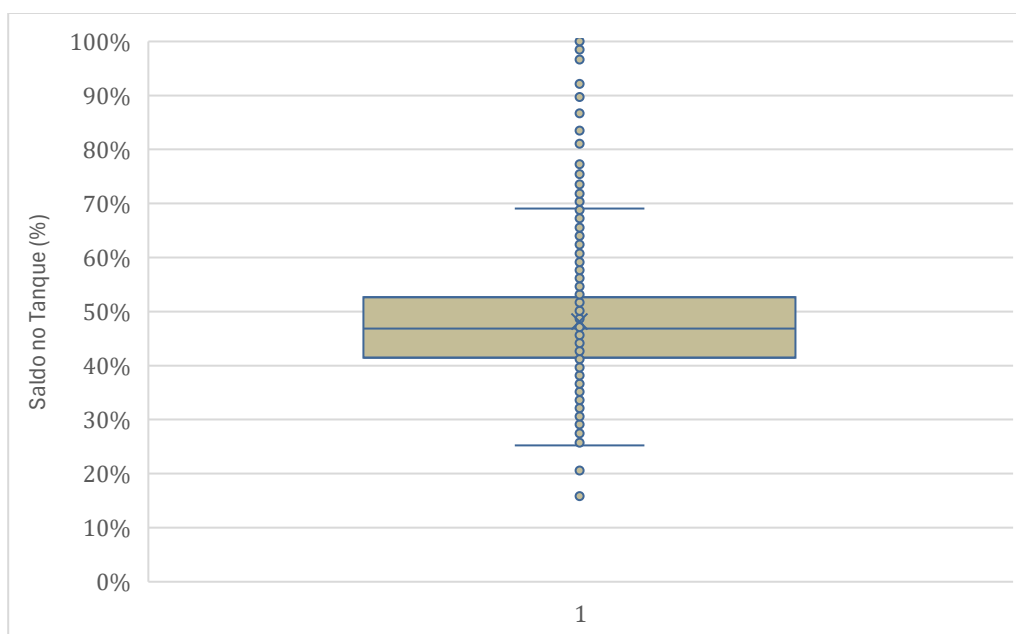


Fonte: Do autor

Em 2025, a análise do consumo de combustível por equipamento demonstra uma concentração significativa nos caminhões fora de estrada, que representam 56,93% do volume total abastecido.

O gráfico de *boxplot* (GRAF. 2) foi construído para verificar as distribuições dos saldos de combustível dos caminhões da mina no momento do abastecimento.

Gráfico 2 - Nível de Tanque na Hora do Abastecimento



Fonte: Do autor

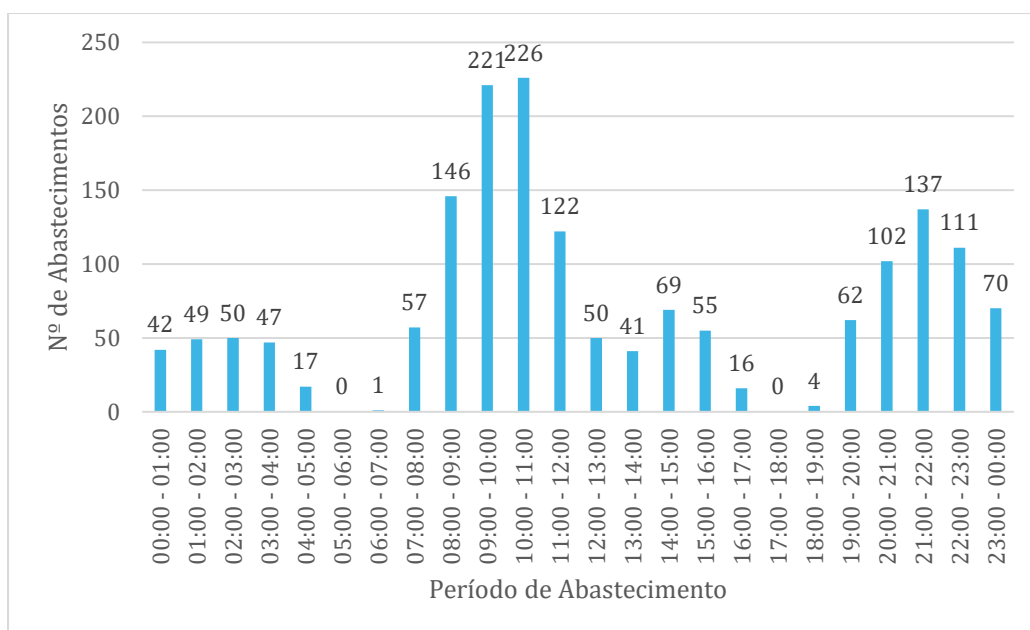
O gráfico 2 demonstra que a maioria dos abastecimentos acontece com saldo de combustível no tanque entre 41,5% e 52,6%, o que pode indicar uma política de abastecimento preventiva.

É possível verificar um *outlier* baixo (<16%), o qual pode indicar risco operacional, de tanque quase vazio, o que poderia levar a pane seca, condição em que o equipamento deixa de operar por falta de combustível. E observa-se a presença de *outliers* altos (>90%), os quais podem indicar abastecimentos desnecessários ou ajustes operacionais.

A mediana de aproximadamente 47% indica que, caminhões estavam sendo abastecidos com o tanque quase pela metade. Verifica-se que o abastecimento ocorria de forma ineficiente, aumentando a frequência de deslocamentos ao posto e reduzindo o tempo produtivo do equipamento.

O gráfico 3 representa um histograma que tem por objetivo entender se havia algum comportamento ou tendência de abastecimento dos caminhões em horários e turnos.

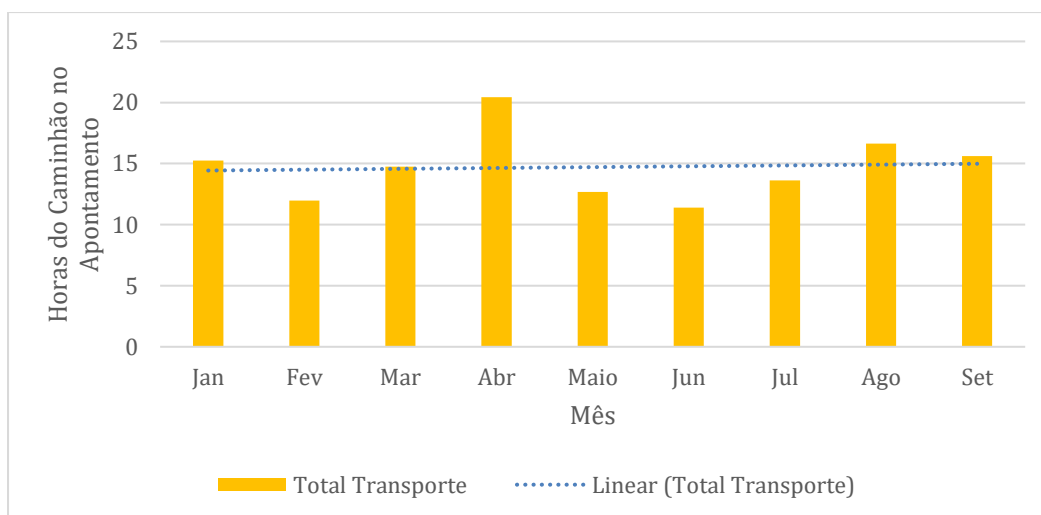
Gráfico 3 - Contagem de Abastecimentos por hora



Fonte: Do autor

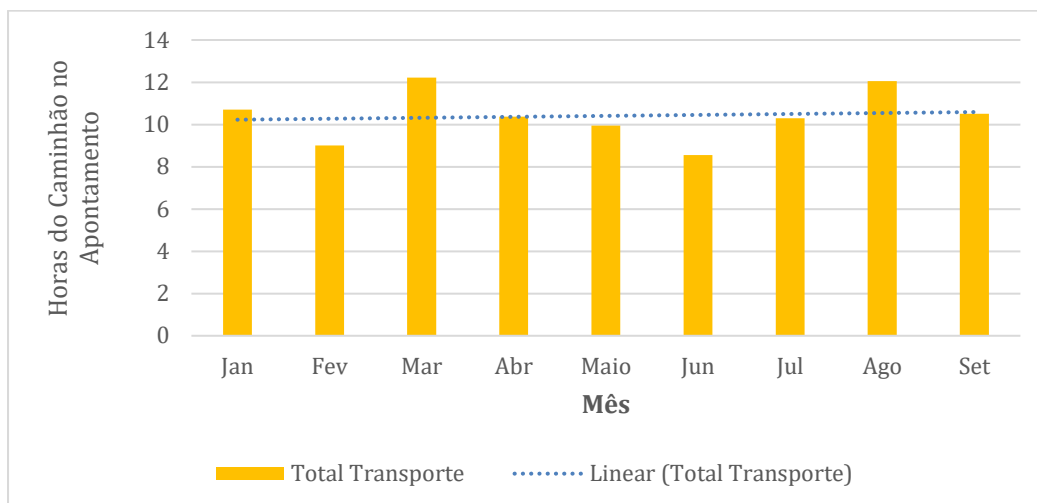
Dois horários foram considerados de pico de abastecimento, manhã (09:00–11:00) e noite (20:00–23:00), períodos estes que geram filas no posto. Em contrapartida, verificou-se um menor volume de abastecimentos entre 17:00–19:00, o que pode indicar troca de turno ou pausa operacional. Nos horários de 05:00–06:00 O despacho de mina apontava um número de horas ociosas dos caminhões, o que levou a análise de dois indicadores “Aguardando para Abastecer” (GRAF. 4) e o “Abastecimento Encerrado” (GRAF. 5).

Gráfico 4 - Aguardando para Abastecer - Jan a Set/25



Fonte: Do autor

Gráfico 5 - Abastecimento Encerrado - Jan a Set/25



Fonte: Do autor

Ambos os gráficos indicaram um número alto de horas ociosas, levando em consideração outros anos, de acordo com a operação de mina, 116,5 horas de “Aguardando para Abastecer” e 83,16 horas de “Abastecimento Encerrado” de janeiro a setembro.

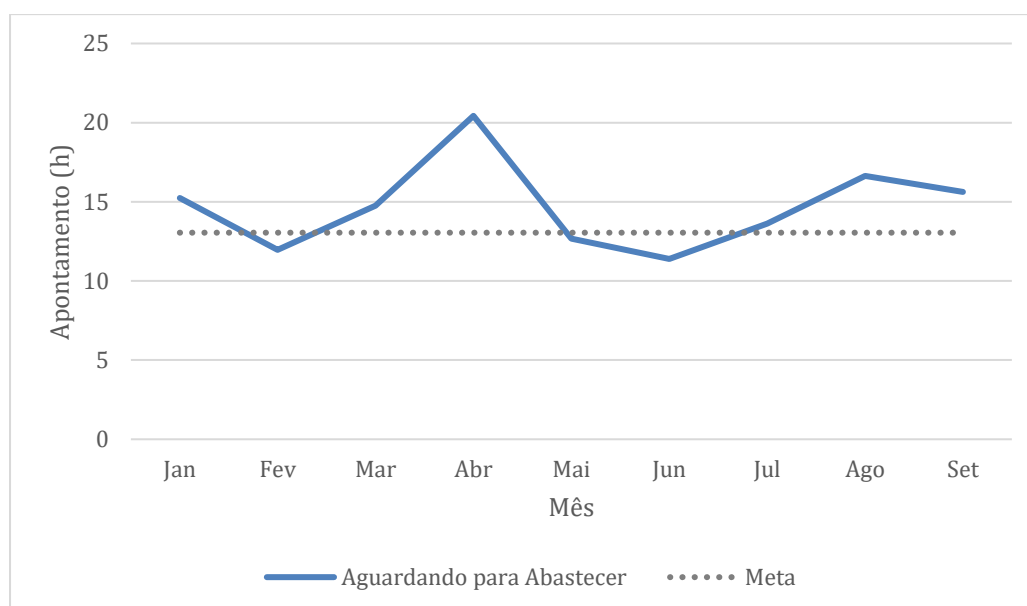
A partir da análise dos dados, das observações em campo e das reuniões com a equipe operacional, identificou-se como problema central a ineficiência no abastecimento dos equipamentos de transporte, refletida no alto consumo de combustível, falhas no despacho de mina e horas de apontamento acima da meta.

Nesta etapa, decidiu-se que o trabalho seria focado nos equipamentos 785C e 789D, uma vez que os dois modelos compõem a maior parcela da frota. Além disso, concentram a maior demanda de abastecimento e possuem participação significativa no ciclo operacional. Assim, a concentração nestes equipamentos permite obter uma avaliação fiel, além de uma possibilidade maior de ganho financeiro. A etapa de seleção do problema e compreensão da situação atual permitiu delimitar com clareza o escopo do estudo e validar sua relevância operacional na mina.

3.1.2 Definição de meta

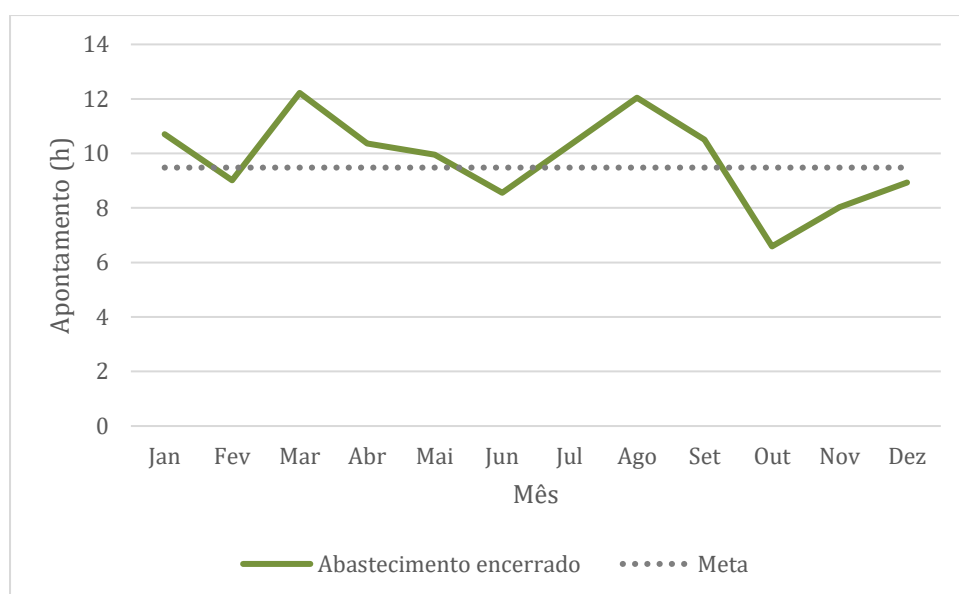
Na sequência do trabalho, foi realizada a definição de metas a partir da análise dos dados no tópico anterior. Visando um alinhamento com os objetivos operacionais de otimização de abastecimento, foram calculadas metas de redução de horas apontadas no despacho de mina de 13,05h para “aguardando para abastecer” (GRAF.6) e 9,48h para “abastecimento encerrado” (GRAF.7), através do método da Lacuna. Este método consiste em identificar a diferença entre o desempenho atual e o nível desejado, permitindo reconhecer deficiências e orientar ações para eliminar ou reduzir essa discrepância. Assim, foi possível através de um comportamento, verificar um potencial de melhoria.

Gráfico 6 - Meta Aguardando para Abastecer



Fonte: Do autor

Gráfico 7 - Meta Abastecimento Encerrado



Fonte: Do autor

Com as metas definidas para redução de horas ociosas dos caminhões, através dos apontamentos, haverá uma diminuição de tempo do ciclo como um todo, contribuindo diretamente para o aumento da utilização física dos equipamentos de transporte, tendo como consequência a redução de possíveis perdas operacionais e aumento da eficiência da frota.

A meta de redução de horas ociosas baseada nos apontamentos dos operadores, otimiza o ciclo operacional e aumenta a utilização da frota. Esse controle reduz perdas e eleva a eficiência global. Para garantir resultados sustentáveis é fundamental uma orientação com o PDCA, de forma que contribua para uma boa priorização das ações, o acompanhamento contínuo do processo e que os ganhos operacionais sejam sustentáveis a longo prazo.

3.1.3 Causas

Neste estágio do ciclo do PDCA, utilizou-se das ferramentas da qualidade para maior entendimento das causas raízes do problema selecionado. Assim,

primeiramente a classificação via Matriz de Priorização e posteriormente o Diagrama de Ishikawa com a comprovação das causas.

Tais ferramentas permitiram uma análise detalhada e estruturada dos elementos que contribuíram para ineficiências no processo de abastecimento, os quais serão elencados no plano de ação para as devidas tratativas.

3.1.3.1 Diagrama de Ishikawa e Comprovação das Causas

O Diagrama de Ishikawa (FIG. 13) foi construído categorizando os problemas segundo as premissas de medida, máquina, mão de obra, material, meio ambiente e método.

Figura 13 - Diagrama de Ishikawa de Ineficiência de Abastecimento



Fonte: Do autor

Para fundamentar as causas prováveis, utilizou-se de entrevistas com funcionários, reuniões com diversas áreas e estudos com o objetivo de justificar as causas elencadas no Diagrama de Ishikawa, surgindo então, a tabela de Comprovação das Causas Fundamentais (TAB. 2).

Tabela 2 - Comprovação das Causas Fundamentais

Comprovação das Causas Fundamentais		
Causa Provável	Validada?	Justificativa
Falta de alinhamento entre áreas	Sim	Entrevistas com a equipe do posto confirmam que Infraestrutura e Operação enviam equipamentos para abastecimento muitas vezes no mesmo horário, ou seja, comunicação falha.
Módulo de despacho do abastecimento não é utilizado, gera filas e concentração em alguns horários	Sim	Apesar de existir, não estava ativado para envio de equipamento ao Posto com uma lógica de prioridade. Relatos dos colaboradores indicam concentração de equipamentos no mesmo horário.
Deslocamentos desnecessários	Sim	Viagens ao posto com tanque acima de 50% ou próximo de cheio, de forma inadequada. Nesta análise não foram consideradas as janelas de oportunidade.
Caminhões sem tampa no bico de abastecimento precisam de lavagem	Sim	Através de inspeção visual, verificou-se a ausência dessas tampas.
Apenas um box de abastecimento em funcionamento	Não	Pela regra atual de trabalho do posto não é permitido o operar em dois box.
Informações de capacidade do tanque desconhecidas	Sim	Comparação entre dados do posto, dados do despacho e dados da engenharia, concluiu-se que para os mesmos equipamentos há informação de capacidade do tanque diferentes entre si.
Horário de abertura do posto / Falta de padronização de transporte do funcionário ao Posto	Sim	O transporte do operador de posto até o posto não é bem definido, por vezes dependendo de um ônibus ou que alguém disponível possa levá-lo, o que gera uma variação no horário de início do funcionamento do posto.
Operador aguarda o abastecimento em local específico e não vê quando encerrou o abastecimento	Sim	Por norma de procedimento interno, o operador do caminhão deve aguardar em abrigo adequado até que o abastecimento finalize. Não há sinal sonoro ou visual indicando o término do abastecimento.

Fonte: Do autor

3.1.3.2 Matriz de Priorização

Após a análise das causas, utilizou-se da Matriz de Priorização (TAB. 3), também conhecida como Matriz GUT, foi utilizada, porém com uma adaptação na qual adicionou-se a coluna A, que diz respeito ao tópico Autonomia (a dependência ou não de um terceiro para implementar tal ação). A prioridade a ser tratada aqui foi sobre o problema de transporte do frentista ao posto de combustível, o qual dependia de algum transporte que estivesse disponível no momento, o que gerava variação na abertura do posto, com atrasos e filas de abastecimento.

Tabela 3 - Matriz de Priorização

Nº	Problemas	G	U	T	A	(GxUxTxA)
1	Falta de padronização na troca de turno para frentistas chegarem até o Posto	5	5	3	5	375
2	Falta de priorização de equipamentos entre áreas no abastecimento	5	5	3	3	225
3	Horários de pico de abastecimento	5	5	3	3	225
4	Deslocamentos desnecessários para abastecimento	5	5	3	3	225
5	Falta de direcionamento do caminhão ao posto em % adequada de combustível no tanque	5	5	5	1	125
6	Falta de proteção do bico abastecimento dos caminhões fora de estrada	3	5	3	1	45
7	Falta de padronização no tamanho dos tanques dos caminhões	5	5	3	1	75

Fonte: Do autor

3.2 Plano de Ação

O Plano de Ação foi desenvolvido de acordo com o que foi levantado e priorizado nas causas, levando em consideração as metas estabelecidas. Para isso, utilizou-se da ferramenta de *Brainstorming* para coletar o maior número de ideias de soluções, além do 5W2H para a execução do plano de ação.

3.2.1 Elaboração

Na elaboração, o *brainstorming* (TAB.4) foi realizado em grupo específico, gerando ideias possíveis de serem aplicadas ao processo e validadas pelos supervisores, engenheiros e operadores envolvidos na operação e abastecimento dos caminhões fora de estrada, para que houvesse viabilidade técnica e operacional, visando uma melhoria.

Tabela 4 - *Brainstorming*

Brainstorming	
1	Implantar o alerta automático no Módulo de despacho, reforçar a padronização do início de turno, meta de cumprimento de horário de abertura do posto
2	Avaliar readequação física para liberar o 2º box, criar regra de priorização por tipo de equipamento, avaliar possibilidade de treinamento do operador do posto

3	Reunião sucinta diária, comunicação direta, definição de papéis e responsabilidades
4	Avaliar a programação, fila virtual, revisão de trocas de turno, revisão de critérios de envio ao posto
5	<i>Checklist</i> obrigatório, reposição das tampas danificadas e compra de novas tampas pela manutenção
6	Indicador de fila, ajuste de layout, abastecimento móvel, campainha que indica que o abastecimento foi encerrado

Fonte: Do autor

3.2.2 Execução

As ações elencadas foram executadas de forma monitorada, de forma que proporcionou mensurar a repercussão das melhorias no processo de abastecimento. Foi utilizada a ferramenta 5W2H (TAB. 5), na qual implementou-se as ações, com responsáveis definidos, prazos para conclusão e acompanhamento do status da atividade. Para melhorar a comunicação, utilizou-se da ferramenta de FMDS (*Floor Management Development System*), a qual é uma padronização de comunicação focado na operação, para alcançar excelência operacional e monitorar indicadores, através de quadros e reuniões diárias.

Tabela 5 - Ferramenta 5W2H

Causa a ser tratada	O que	Quem	Quando	Realizado	Status
Falta de padronização no início do turno para frentistas chegarem até o Posto	Definição e divulgação de logística dos frentistas do Posto	Planejamento e Operação	25/11/2025	SIM	Concluído
Horários de pico de abastecimento	Alinhamento com despachante para melhor distribuição dos abastecimentos	Planejamento e Operação	25/10/2025	SIM	Concluído
Falta de direcionamento do caminhão ao Posto em porcentagem adequada de combustível no tanque	Elaboração de planilha para gestão de abastecimento no turno, fluxograma de tomada de decisão e parametrização do módulo de alerta do despacho	Planejamento e Operação	01/10/2025	SIM	Concluído
Falta de antecipação de informação sobre necessidade de abastecimento	Alerta de abastecimento no modular dos caminhões	Planejamento e Operação	20/11/2025	SIM	Concluído
Descobrir o que pode ser um abastecimento de janela de oportunidade e não uma hora ociosa	Criação do código de Janela de Oportunidade no Despacho	Planejamento e Operação	4/11/2025	SIM	Concluído
Caminhões sem tampa no bico de abastecimento precisam de lavagem	Compra de tampas para o bico de abastecimento	Manutenção	7/11/2025	SIM	Concluído

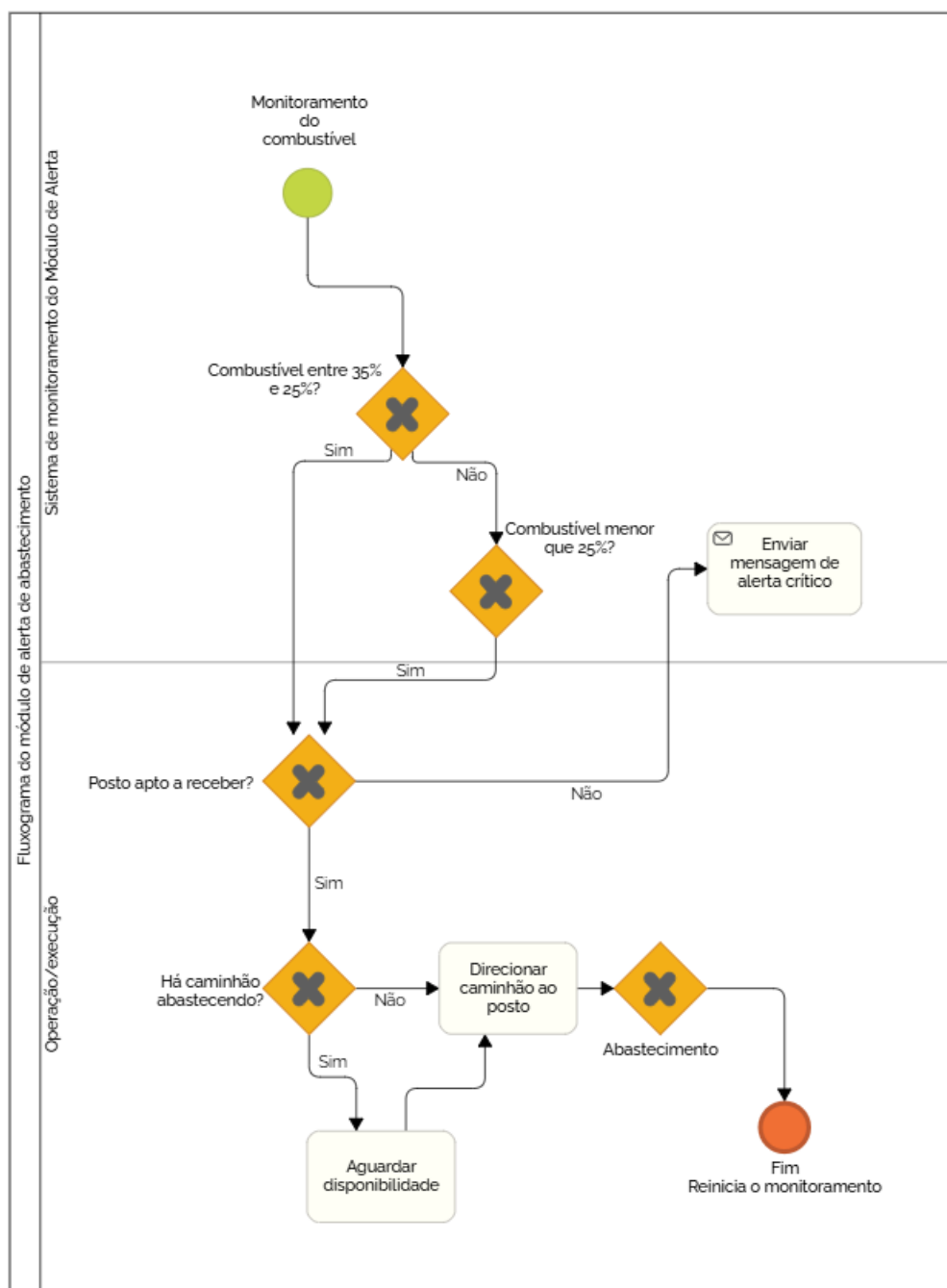
Fonte: Do autor

Em relação ao horário de início de turno dos frentistas do posto, verificou-se que eles dependiam de terceiros para que os levassem ao posto e iniciassem os

abastecimentos, gerando uma falta de padrão nos horários de abertura do posto, causando filas para abastecer durante o dia todo. E então, definiu-se um veículo específico para levar os frentistas ao posto para que não houvesse atraso no horário de abertura do posto.

Para o problema de direcionamento do equipamento ao Posto em porcentagem adequada de combustível no tanque, foi realizada uma reunião com os profissionais da área de despacho de mina para que o módulo de alerta de abastecimento fosse ligado. Ele já fazia parte do contrato e não teve custo algum de implantação, apenas não era utilizado. Anteriormente, o envio do equipamento ao posto dependia da percepção do operador ou de solicitação via rádio, o que causava abastecimentos prematuros e formação de filas. A criação de um procedimento padrão (FIG. 14) permite o monitoramento de quando o tanque de combustível aproxima da porcentagem de 25 a 35% (considerada a faixa ideal segundo a manutenção), o equipamento pode ser direcionado ao posto caso esteja apto a recebê-lo e caso não tenha equipamento abastecendo no momento. Caso a porcentagem esteja abaixo de 25% e o posto não puder receber o equipamento, o sistema irá emitir uma mensagem de alerta crítico.

Figura 14 - Fluxograma do Módulo de Alerta de Abastecimento



Fonte: Do autor

Com o objetivo de identificar as viagens ao posto de combustível que são consideradas “janela de oportunidade”, ou seja, quando existe uma situação de baixa disponibilidade física de equipamento de carga para aquele transporte ou então o equipamento está saindo da manutenção, foi criado um apontamento específico para essas situações. Assim, aparece como oportunidade de abastecimento (FIG. 15) no

despacho e são tratadas de forma diferente, podendo ser expurgadas sem interferir em análises de horas ociosas.

Figura 15 - Adição do código de Abastecimento por Janela de Oportunidade no Despacho.

Exceções! (2)

Aceitar (F3) Rejeitar (F4)

- D E Z - 2 5 Exceções! (2) 1 0 : 5 4 : 5 1

Peça ao operador para entrar MATRÍCULA primeiro. 10:54:18

#Caminhao CA5414 apertou um botão antes da MATRÍCULA. 10:54:20

Peça ao operador para entrar MATRÍCULA primeiro.

!Caminhao CA5495 está Parado devido a ABASTECENDO.

Entre Código de Motivo para a Parada: 3000

Entre Hora Esperada: 9.00

Entre Observação sobre Parada:

Entre Hora de Início de Parada: 0067 - JANELA DE OPORTUNIDADE

Fonte: Do autor

Para o acompanhamento do abastecimento, foi criada uma planilha (FIG. 16) para que os operadores colocassem o nível de combustível no abastecimento. Esse registro permitiu validar os dados exportados dos bancos de dados e, simultaneamente, estimulou o engajamento dos operadores na rotina de monitoramento, controle e otimização do processo.

Figura 16 - Planilha de Excel para acompanhamento de Status de Autonomia dos Equipamentos

PLANILHA DE ACOMPANHAMENTO ROTINA								
29/10/2025								
Abastecido			Abastecer			Acompanhar		
PROGRAMA DE ABASTECIMENTO			MC - Manut. Corretiva			MP - Manut. Preventiva		
CARGA			TRANSPORTE			AUXILIAR		
TAG	% COMBUSTÍVEL / AUTONOMIA	ABASTECIMENTO	TAG	% COMBUSTÍVEL / AUTONOMIA	ABASTECIMENTO	TAG	% COMBUSTÍVEL / AUTONOMIA	
PE1701	18hs	OK	PE1701	90%		PE1701	60%	OK
PE1701	70%	OK	PE1701	50%	OK	PE1701	90%	OK
PE1701	60%	OK	PE1701	85%		PE1701	90%	
PE1701	50%	OK	PE1701	75%		PE1701	90%	
EM1018	40%	OK	EM1018	85%		EM1018	90%	
EM1018	02hs		EM1018	65%		EM1018	50%	OK
			EM1018	80%		EM1018	70%	OK
			EM1018	30%	OK			
			EM1018	35%	OK			
			EM1018	80%				
			EM1018	45%	OK			
			EM1018	70%				
			EM1018	85%				
			EM1018	MP	95%			
			EM1018	HIBERNADO				
			EM1018	85%				
			EM1018	14hs				
			EM1018	MC	70%			
			EM1018	50%	OK			
			EM1018	60%				
			EM1018	35%	OK			
			EM1018	65%				

Fonte: Do autor

Uma das ações realizadas foi a de mostrar à área de manutenção a importância do bico de abastecimento (FIG.17) dos caminhões fora de estrada para a operação. Anteriormente, alguns caminhões estavam sem a tampa, e o frentista antes de iniciar o abastecimento, precisava realizar a lavagem deste bico, o que atrasava ainda mais a operação. A área de manutenção então, ciente da importância e do tempo gasto com esta lavagem, realizou a compra das tampas para evitar ainda mais atrasos no processo de abastecimento.

Figura 17 - Bico de abastecimento do Caminhão

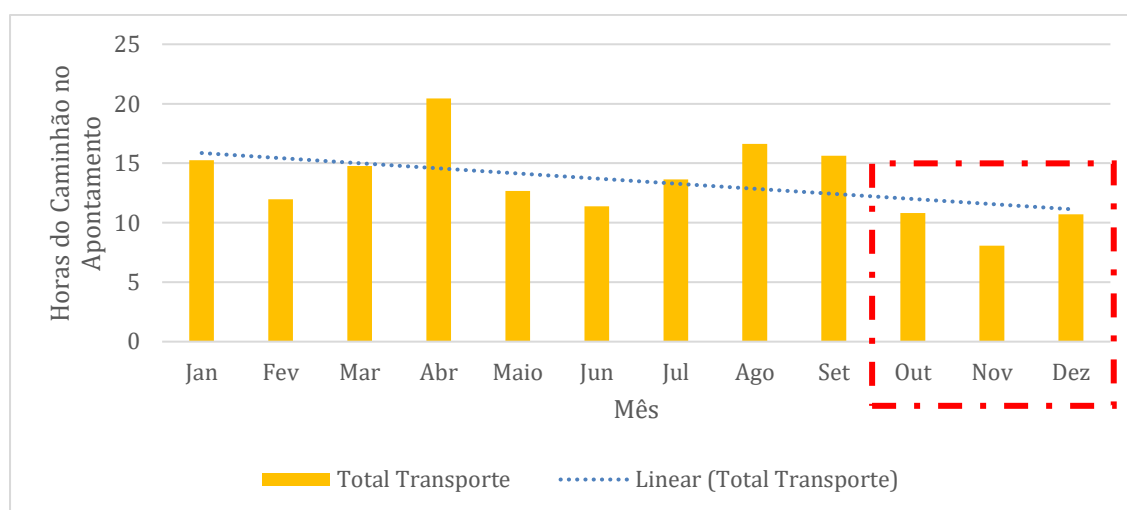


Fonte: Do autor

3.3 Resultados PDCA

Ao coletar novos dados operacionais de outubro a dezembro de 2025, foi possível fazer uma comparação do histórico com o cenário atual. O mês de setembro foi considerado um mês de transição, com o início da implementação das ações. Os apontamentos do despacho de mina tiveram um resultado satisfatório no que diz respeito ao número de horas ociosas. É importante ressaltar que após visitas à operação observou-se um grande engajamento dos funcionários envolvidos, principalmente após saberem que as mudanças trouxeram resultados positivos.

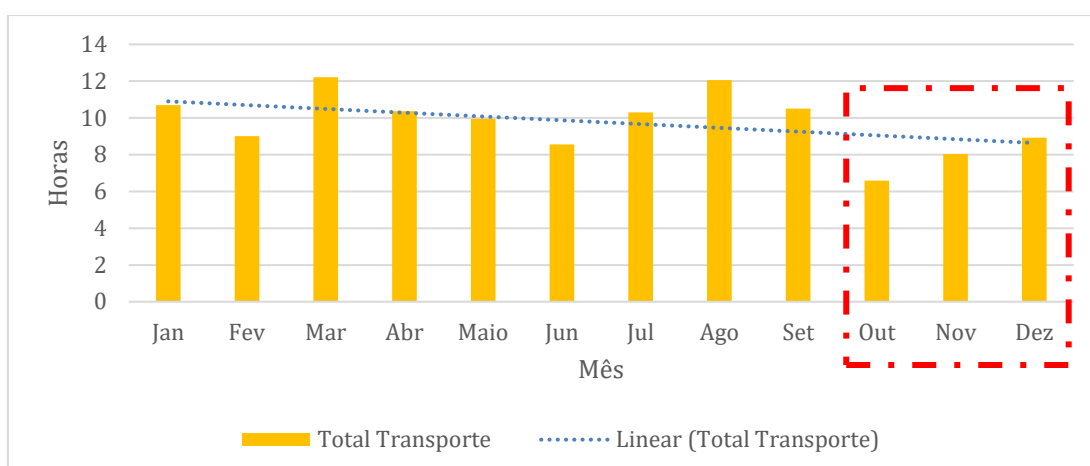
Gráfico 8 - Aguardando para Abastecer - 2025



Fonte: Do autor

Sobre o apontamento “aguardando para abastecer” (GRAF.8) foi possível observar uma redução em média de 4,84 horas por mês, equivalente a 32,94% em relação ao período anterior de janeiro a setembro.

Gráfico 9 - Abastecimento Encerrado - 2025

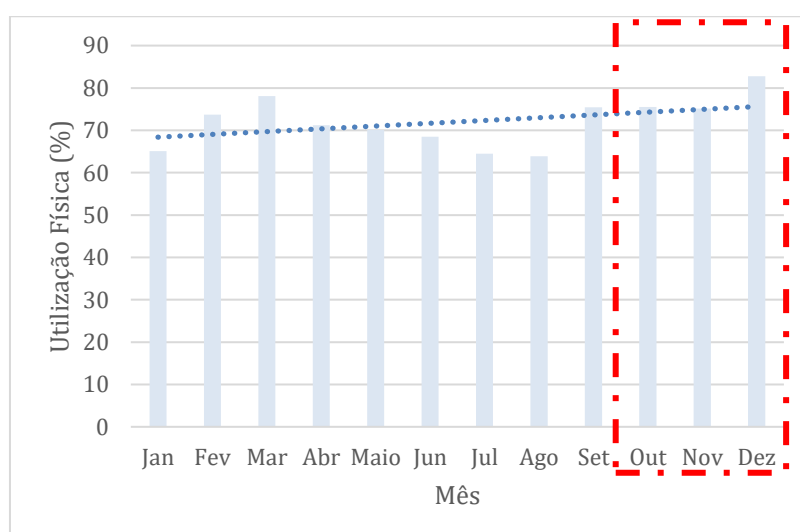


Fonte: Do autor

Já o apontamento de “abastecimento encerrado” (GRAF. 9), apresentou uma redução em média de 2,55 horas por mês, representando 24,54% de ganho em relação ao período anterior de janeiro a setembro. Mostra maior eficiência e menor tempo de conclusão do processo.

Com o objetivo de entender o comportamento do indicador de utilização física, o qual retrata a porcentagem de tempo em que os equipamentos de transporte foram efetivamente utilizados na operação, observou-se uma melhora nos indicadores de outubro a dezembro (GRAF. 10).

Gráfico 10 - Utilização Física - Transporte - 2025



Fonte: Do autor

Portanto, é possível perceber que ao aumentar a eficiência do abastecimento, de forma que se reduza o número de horas ociosas, indicadas pelos apontamentos, irá haver uma maior utilização dos equipamentos, gerando mais produtividade.

Para a estimativa financeira dos ganhos, aplicou-se a metodologia que visa quantificar os ganhos decorrentes da otimização do processo de abastecimento da frota, considerando a redução do tempo improdutivo e o consequente aumento da produtividade.

Os ganhos apurados em horas foram convertidos em aumento de massa transportada, utilizando como referência a produtividade média do transporte de 2025, registrada como 408,53 t/h. A partir dos ganhos incrementais medidos entre os cenários, foi calculada a massa adicional produzida ao longo do período considerado. Somando-se as projeções de produção, obteve-se uma massa total adicional de 41 mil toneladas.

Para fins de valoração econômica, adotou-se o parâmetro de mercado de US\$ 100 por tonelada do minério de ferro, convertido para real pelo câmbio de referência utilizado no estudo (R\$ 5,20 por dólar). Assim, a valoração da massa adicional foi calculada conforme a equação:

$$\text{Ganho apurado (R\$)} = \text{Massa produzida total (t)} \times 100 \text{ USD/t} \times 5,20 \text{ R\$/USD}$$

Portanto, a melhoria no processo de abastecimento, somada ao aumento da eficiência operacional, resultou em um impacto econômico estimado R\$ 20 milhões, reforçando a relevância da intervenção realizada e seu efeito direto sobre o desempenho da mina. Esse resultado reforça que intervenções estruturadas, mesmo de baixo custo, podem gerar benefícios econômicos substanciais para a operação.

3.4 Padronização

Como os resultados apresentados foram considerados satisfatórios, o último passo do ciclo PDCA iniciou-se um movimento de garantir que os resultados fossem mantidos a longo prazo, estabelecendo novos padrões operacionais. Dentre as ações realizadas, pode-se citar a criação de novos procedimentos operacionais padrão, estruturação de treinamento regular aos operadores e frentistas, monitoramento dos indicadores de abastecimento e comunicação das mudanças e resultados a gestão.

Alguns operadores demonstraram resistência inicial devido à mudança da rotina de abastecimento. Os despachantes, por sua vez, destacaram a necessidade de adaptação ao novo fluxo de comunicação gerado pelo sistema.

A gerência percebeu uma curva de aprendizado gradual, que se estabilizou nas primeiras semanas após treinamentos direcionados. O alinhamento entre Planejamento, Operação e Despacho de mina exigiu reuniões semanais para definição de responsabilidades e ajustes no processo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do ciclo PDCA alcançados e apresentados no tópico 3.3, mostraram o quanto as ações de melhoria contínua impactaram positivamente evidenciando que o trabalho atendeu plenamente ao objetivo geral proposto: implementar um projeto estruturado de melhoria contínua no processo de abastecimento, capaz de elevar a eficiência operacional, reduzir desperdícios de combustível, minimizar deslocamentos e horas improdutivas e, consequentemente, gerar reflexos financeiros favoráveis para a operação. Tais ganhos registrados foram analisados também levando em conta os objetivos específicos mencionados no item 1.3.2, proporcionando uma visão geral sobre o que era intenção e o que de fato foi concebido.

O primeiro objetivo específico consistia em desenvolver formas de otimizar o envio dos caminhões ao posto, reduzindo filas e evitando envios simultâneos. Os dados mostraram que o problema estava ligado à ausência de priorização no despacho e ao direcionamento inadequado dos equipamentos. Com as intervenções, principalmente a reorganização do início das atividades no posto e o alinhamento de comunicação entre operadores, abastecedores e despachantes, houve melhor distribuição dos abastecimentos ao longo do dia. Consequentemente, observou-se redução significativa das filas e maior fluidez no processo, atendendo ao objetivo estabelecido.

Outro objetivo específico era efetivar a utilização do módulo de alerta do despacho, que até então permanecia inativo e avaliar os impactos da sua implementação. A ativação e calibragem do módulo, com lógica operacional ajustada para o intervalo de 25% a 35% de nível de combustível, representaram um avanço

fundamental. Esta criação de um procedimento operacional padrão permitiu que o envio ao posto deixasse de depender de decisões reativas dos operadores, passando a ser orientado por critérios técnicos e consistentes. O resultado foi a redução de deslocamentos desnecessários, menor concentração de caminhões fora de estrada indo abastecer nos mesmos horários e maior previsibilidade operacional.

O terceiro objetivo específico buscava diminuir as horas ociosas computadas em “aguardando para abastecer” e “abastecimento encerrado”. Após a implementação das ações, os indicadores mostraram reduções de 32,94% e 24,54%, respectivamente. Essas quedas revelam que melhorias aparentemente simples — como padronizar horários, ajustar rotinas de transporte do frentista, eliminar atrasos ligados a tampas inexistentes nos bicos de abastecimento e reforçar procedimentos — foram suficientes para impactar diretamente o tempo improdutivo da frota. Com isso, aumentou a disponibilidade operacional dos caminhões e consequentemente a produtividade.

Por fim, o objetivo específico de quantificar as horas improdutivas e relacionar os ganhos operacionais a uma análise financeira também foi alcançado. A redução das horas improdutivas e o aumento da utilização da frota resultaram em uma economia anual estimada de 20 milhões de reais por ano. Esse valor reforça que intervenções estruturadas, mesmo sem grandes investimentos, podem gerar retornos significativos para a operação.

A redução anual de horas improdutivas nos apontamentos “Aguardando abastecer” e “Abastecimento encerrado” permite estimar a diminuição das emissões diretas de CO₂ associadas ao funcionamento dos caminhões. Com base na massa adicional movimentada ao longo de um ano (108.783 t) e na produtividade média registrada (408,53 t/h), obtêm-se aproximadamente 266 horas anuais de operação recuperada. Para caminhões diesel de grande porte, a conversão das horas de marcha lenta em emissões evitadas utiliza fatores consolidados de emissão, adotando-se 2,68 kg CO₂/L como fator *tank-to-wheel*, conforme dados da U.S. *Energy Information Administration* (2024) e do *GLEC Framework* (2019). Para estimativas de ciclo completo (*well-to-wheel*), considera-se o valor médio de 3,2 kg CO₂e/L, conforme o *Network for Transport Measures* (2025). Com esses parâmetros, a redução anual estimada é de aproximadamente 12,8 toneladas de CO₂ ou 15,3 toneladas de CO₂e,

reforçando o alinhamento da melhoria do processo de abastecimento às práticas de eficiência energética.

De forma geral, os resultados apresentados no presente estudo demonstram que o processo de abastecimento evidenciava lacunas consideráveis antes da intervenção e que as ações propostas contribuíram para avanços mensuráveis na fluidez da operação, na organização do fluxo de abastecimento e na redução de tempos improdutivos. As discussões apresentadas destacam ainda que, embora haja lastro para outras melhorias, as iniciativas implementadas representam um passo concreto em direção à construção de um processo mais eficiente, seguro e alinhado às metas estratégicas da operação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção deste trabalho permitiu transformar desafios operacionais em resultados mensuráveis, destacando que a eficiência na mineração não depende apenas de grandes investimentos em frota, mas da otimização dos processos já existentes. Através da aplicação do ciclo PDCA, foi possível sair de um cenário de decisões consideradas reativas para um modelo de gestão baseado em dados e padrões.

A situação inicial, compreendida através de acompanhamento da operação, visitas aos postos, entrevista com os colaboradores e análise de dados, revelou que a ausência de um critério claro para o envio de equipamentos ao posto gerava um "efeito cascata", resultando em ociosidade e custos evitáveis. A efetivação estratégica do módulo de alerta de abastecimento e a recalibragem dos níveis de combustível para o intervalo de 25% a 35%, a operação ganhou agilidade. O impacto na operação ocorreu de imediato: as filas no posto (indicadas pelo tempo "aguardando para abastecer") caíram 32,94%, enquanto a finalização do processo tornou-se 24,54% mais rápido.

Essas melhorias não ficaram apenas aos relatórios de despacho; elas se revelaram em um aumento real na Utilização Física (UF) dos caminhões 785C e 789D. Do ponto de vista financeiro, a economia estimada de aproximadamente 20 milhões de reais por ano valida a relevância deste projeto para a competitividade desta mina. Além dos números, as intervenções trouxeram maior organização para o dia a dia dos operadores e frentistas, mitigando riscos de segurança e falhas de comunicação. O projeto também promoveu um benefício ambiental, ao reduzir emissões anuais de CO₂ decorrentes de horas improdutivas da frota, reforçando o alinhamento da operação às práticas de eficiência energética e sustentabilidade.

Portanto, este estudo deixa um legado de padronização para a operação mineira, a qual pode acontecer de forma mais econômica e ágil. Como proposta de trabalho para o futuro da unidade, recomenda-se a expansão ou ativação deste modelo de alerta para outros equipamentos auxiliares, garantindo que a cultura de melhoria contínua estabelecida no trabalho seja sustentável a longo prazo e evolua conforme as novas demandas da indústria mineral. A melhoria contínua deve ser monitorada, estudada e sempre aprimorada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALKAIYAT, M. **A practical guide to creating a Pareto chart as a quality improvement tool.** *Global Journal on Quality and Safety in Healthcare*, 2021. DOI: 10.36401/JQSH-21-X1. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/351182630_A_Practical_Guide_to_Creating_a_Pareto_Chart_as_a_Quality_Improvement_Tool>. Acesso em: 25 jan. 2026.

BESANT, H. **Alex Osborn and the Journey of Brainstorming.** *Journal of Transformative Innovation*, v. 2, n. 1, 2016. Disponível em: <<https://www.regent.edu/journal/journal-of-transformative-innovation/the-history-of-brainstorming-alex-osborn/>>. Acesso em: 25 jan. 2026.

Bozorgebrahimi E., Hall RA, Blackwell GH. **Sizing equipment for open pit mining – a review of critical parameters.** *Mining Technology*. 2003;112:A171-A179.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução ANP nº 939, de 5 de outubro de 2023.** Regulamenta a autorização e operação de pontos de abastecimento de combustíveis. Disponível em: <https://www.normasbrasil.com.br/norma/resolucao-939-2023_458537.html>. Acesso em: 12 jan. 2026.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 20 – Segurança e Saúde no Trabalho com Inflamáveis e Combustíveis.** Atualizada pela Portaria MTE nº 60, de 21 de janeiro de 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/nr-20-atualizada-2025.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2026.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 22 – Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração.** Atualizada pela Portaria MTE nº 225, de 26 de fevereiro de 2024. 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/nr-22-atualizada-2024-2-arq-temporario.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2026.

CAMPOS, V. F. **TQC: Controle da qualidade total (no estilo japonês)**. 9. ed. Nova Lima: Editora FALCONI, 2014.

CATERPILLAR. **785C Off-Highway Truck: Specifications**. [S.l.]: Caterpillar, [2012]. Disponível em: <https://www.kellytractor.com/eng/images/pdf/earthmoving/offhighway_trucks/785c.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2026.

CATERPILLAR. **789D Off-Highway Truck: Specifications**. [S.l.]: Caterpillar, [2012]. Disponível em: <<https://www.teknoxgroup.com/attachment/3103/789D.pdf>>. Acesso em: 27 jan. 2026.

CATERPILLAR. **Operation & Maintenance Manual – Off-Highway Truck (ex. 777 / 775)**. Peoria, IL: Caterpillar Inc., ano. Disponível em: <https://www.cat.com/en_US/support/maintenance/service-manuals.html>. Acesso em: 12 jan. 2026.

CLIMATIQ. *Emission Factor: Diesel (Tank-to-Wheel)*. 2019. Disponível em: <https://www.climatiq.io/data/emission-factor/0aaa115f-e55f-4576-9063d5dad94725c3>. Acesso em: 27 fev. 2026.

EGESTOR. **Diagrama de Ishikawa: o que é, como montar e vantagens de usar**. *Blog eGestor*. Disponível em: <<https://blog.egestor.com.br/diagrama-de-ishikawa/>>. Acesso em: 25 jan. 2026.

FELSCH, W.; SOUZA, G.; PEREIRA, M.; RAGGI, R.; MARTINS, F. **Utilização da telemetria embarcada para gerenciamento do abastecimento de caminhões de grande porte na mineração**. *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*, v. 16, n. 4, 2019. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Walter-Felsch-2/publication/333987752_UTILIZACAO_DA_TELEMETRIA_EMBARCADA_PARA_GERENCIAMENTO_DO_ABASTECIMENTO_DE_CAMINHOES_DE_GRANDE_PORTE_NA_MINERACAO/links/5d1f7da2458515c11c1520c4/UTILIZACAO-DA-TELEMETRIA-EMBARCADA-PARA-GERENCIAMENTO-DO-ABASTECIMENTO-DE-CAMINHOES-DE-GRANDE-PORTE-NA-MINERACAO.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2026.

GARIBA, G. B.; SILVA, R. P. S. **Otimização do sistema de despacho por meio de simulação no Arena**. 2019. Dissertação de Conclusão de Curso

(Bacharelado em Engenharia de Minas) – Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

HARTMAN, Howard L. **Introductory mining engineering**. 1. ed. New York: Wiley-Interscience, 1987. Available at: <https://www.researchgate.net/profile/Azamat-Umirzoqov/publication/358235819_Hartman_Introductory_mining_engineering_toliq_talqini/links/61f7cc20007fb50447291fe7/Hartman-Introductory-mining-engineering-toliq-talqini.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). **Guia Eficiência Energética**. Brasília: IBRAM, 2024. 176 p. ISBN 978-85-61993-21-4. Disponível em: <https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2024/09/IBRAM_Guia-Eficiencia-Energetica_2024.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2026.

KAUL, A., SOOFASTAEI, A. (2022a). **Advanced Analytics for Mine Materials Transportation**. In: Soofastaei, A. (eds) *Advanced Analytics in Mining Engineering*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91589-6_19

KOMATSU. **830E-1AT Haul Truck Owner's Manual**. [S.l.]: Komatsu, 2023. Disponível em: <<https://manuals.plus/komatsu/830e-1at-haul-truck-manual>>. Acesso em: 12 jan. 2026.

KOMATSU. **Komatsu reduces environmental impact with fuel optimisation system**. 2019. Disponível em: <<https://www.komatsu.com/en-za/newsroom/2019/komatsu-reduces-environmental-impact-fuel-optimisation-system>>. Acesso em: 21 jan. 2026.

KUSTRO, G. **5W2H: O que é, como implementar e exemplos de uso**. *Automação Industrial*, 15 mar. 2023. Disponível em: <<https://www.automacaoindustrial.info/5w2h/>>. Acesso em: 11 fev. 2026.

LAMDARI, S.; BASIRI, M. H.; MOUSAVI, A.; SOOFASTAEI, A. **Application of Machine Learning Techniques to Predict Haul Truck Fuel Consumption in Open-Pit Mines**. *Journal of Mining and Environment*, v. 13, n. 1, p. 69–85, 2022. Disponível em: <<https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=4120310>>. Acesso em: 05 jan. 2026.

MARIANI, C. A. **Método PDCA e ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos industriais: um estudo de caso**. *RAI – Revista de Administração e Inovação*, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 110-126, 2005. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/973/97317090009.pdf>>. Acesso em: 25 jan. 2026.

MINETTO NAPOLEÃO, B. **Matriz GUT (Matriz de Priorização)**. Ferramentas da Qualidade, 17 abr. 2019. Disponível em: <https://ferramentasdaqualidade.org/matriz-gut-matriz-de-priorizacao/>. Acesso em: 26 jan. 2026.

MOEN, R. **The history of the PDCA cycle**. 2020. Disponível em: https://deming.org/wp-content/uploads/2020/06/PDSA_History_Ron_Moen.pdf. Acesso em: 22 jan. 2026.

NETWORK FOR TRANSPORT MEASURES (NTM). TN 13 — Fossil Diesel Fuel Baselines. 2025. Disponível em: <https://www.transportmeasures.org/en/wiki/manuals/16-technical-notations/tn-13-ntm-overview-of-diesel-emission-factors/>. Acesso em: 27 fev. 2026.

NEW SOUTH WALES RESOURCES REGULATOR. **Safety Bulletin SB21-01: Fires occur while refuelling plant**. 2021. Disponível em: <<https://www.resources.nsw.gov.au/sites/default/files/documents/sb21-01-refuelling-fires.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2026.

OLIVEIRA, O. J. **Curso básico de Gestão da Qualidade**. São Paulo: Cengage Learning, 2014. 182 p. ISBN 978-85-221-1797-0.

RODRIGUES, L. F.; PINTO, L. R. **Análise comparativa de metodologias utilizadas no despacho de caminhões em minas a céu aberto**. *Rem: Revista Escola de Minas*, v. 65, n. 3, p. 377–384, set. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0370-44672012000300015>. Acesso em: 24 out. 2025.

SANTOS, A. C.; OLIVEIRA, J. P.; SILVA, L. H. **Análise das operações do sistema logístico de uma empresa de mineração**. In: ENCONTRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO APLICADA, 10., 2020, Campo Mourão. *Anais [...]*. Campo Mourão: FECILCAM, 2020. Disponível em:

<https://www.fecilcam.br/anais/x_eepa/data/uploads/2-logistica/2-02.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2026.

SILVA, J. V. **Matriz GUT: o que é, como aplicar, vantagens e exemplos práticos**. Hackr Brasil, 2023. Disponível em: <<https://blog.hackr.com.br/matriz-gut/>>. Acesso em: 10 fev. 2026.

SILVEIRA, C. B. **7 ferramentas da qualidade**. *Citisystems*, 23 jan. 2013. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/7-ferramentas-da-qualidade/>>. Acesso em: 25 jan. 2026.

SOOFASTAEI, A.; DAVIES, J.; FARIA, E. R. S.; ANTONIO, E.; FONSECA, D. S. **An Innovative Method to Decrease Fuel Consumption of Haul Trucks in Surface Mines**. 2022b. Disponível em: <<https://soofastaei-publications.com/wp-content/uploads/2022/08/An-Innovative-Method-to-Decrease-Fuel-Consumption-of-Haul-Trucks-in-Surface-Mines.pdf>>. Acesso em: 05 jan. 2026.

SOUZA, M. J. F., COELHO, I. M., RIBAS, S., SANTOS, H. G., MERSCHMANN, L. H. C. **A hybrid heuristic algorithm for the open-pit-mining operational planning problem**. *European Journal of Operational Research*, v. 207, p. 1041-1051, 2010.

SOUZA, R. P. de. **Roteamento de comboios de combustível para abastecimento de equipamentos de mina**. 2023. 44 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Instrumentação, Controle e Automação de Processos de Mineração) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/17478>>. Acesso em: 12 jan. 2026.

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA). **Carbon Dioxide Emissions Coefficients**. 2024. Disponível em: https://www.eia.gov/environment/emissions/co2_vol_mass.php. Acesso em: 27 fev. 2026.

VALLADARES, J.; SANTOS, C. B.; TORRES, É. M.; ESTRELA, C. **Boxplot: um recurso gráfico para a análise e interpretação de dados quantitativos**. Disponível em: <<https://docs.bvsalud.org/biblioref/2017/11/875289/1132-6472-2-pb.pdf>>. Acesso em: 05 jan. 2026.

WHITE, J. W.; OLSON, J. P. **Computer-based dispatching in mines with concurrent operating objectives**. Min. Eng. (Littleton, Colo.), v. 38, n. 11, 1986. [osti.gov]

YAO, J.; WANG, Z.; CHEN, H.; HOU, W.; ZHANG, X.; LI, X.; YUAN, W. **Open-Pit Mine Truck Dispatching System Based on Dynamic Ore Blending Decisions**. *Sustainability*, v. 15, n. 4, p. 1-12, 2023. DOI: 10.3390/su15043399.

YOUNG, R. (Ed.). **Knowledge Management Tools and Techniques Manual**. Tokyo: Asian Productivity Organization, 2010. Disponível em: <https://www.apo-tokyo.org/wp-content/uploads/2014/07/ind-43-km_tt-2010.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2026.