



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

CPTM

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

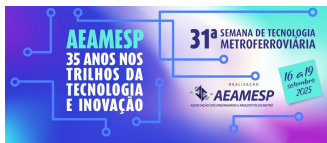
CATEGORIA 3

METODOLOGIA PARA FORMATAÇÃO E COMPACTAÇÃO DE CARGA DE VAGÕES GÔNDOLAS PARA AUMENTO DO PESO MÉDIO

SOBRE OS AUTORES

Renato de Oliveira - Engenheiro Civil pós graduado em Especialização de Transporte Ferroviário de Carga pelo IME – Instituto Militar de Engenharia com 27 anos de experiência em ferrovia nas atividades de Operação Ferroviária de Pátios e Terminais, operações de Centro de Controle Operacional, implementação e controle de indicadores de produção, de segurança e de faturamento, atividades de Infraestrutura de Via Permanente e Gestão de Faixa de Domínio com expertise em tratamento de ocupações irregulares e de impactos causados pela operação ferroviária.

Henrique Andrade - Engenheiro Civil pela UFES com Especialização em Transporte Ferroviário de Cargas pelo IME – Instituto Militar de Engenharia, MBA em Gerenciamento de Projetos pela FUCEPE com 20 anos de experiência em ferrovia nas atividades de Operação Ferroviária em Centros de Controle Operacional, Pátios e Terminais e nos últimos 15 anos na Engenharia de Operação Ferroviária com implementação de melhorias operacionais, projetos de investimento correntes e de



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

P&D dentre várias outras atividades com atuação na EFVM, EFC, FCA, Vale Colômbia e Vale Moçambique.

Elisio da Rocha Souza - Profissional com 35 anos de experiência em operação ferrovia com destaques em monitoramento e elaboração de padrões carga, descarga e vistoria de vagões em pátios e terminais, experiência em apuração de ocorrências e treinamento de equipes.

Maurício Cosme de Oliveira Teixeira - Profissional com 12 anos de experiência na área de infraestrutura de mineração, com experiência em plano de lavra, dimensionamento de equipamentos de operação e direcionamento das obras Geotécnicas com acompanhamento das correções de anomalias Geotécnicas, trincas e rupturas em taludes e bermas.

Antonio Lino Oliveira Filho - Profissional com 30 anos de experiência em operação ferrovia com destaques em monitoramento e elaboração de padrões carga, descarga e vistoria de vagões em pátios e terminais, experiência em apuração de ocorrências e treinamento de equipes.



CATEGORIA 3

METODOLOGIA PARA FORMATAÇÃO E COMPACTAÇÃO DE CARGA DE VAGÕES GÔNDOLAS PARA AUMENTO DO PESO MÉDIO

1. INTRODUÇÃO

O transporte ferroviário brasileiro passa por uma fase de significativa expansão, impulsionada por políticas públicas, concessões ferroviárias e investimentos privados voltados à melhoria da infraestrutura logística. Dados do Ministério dos Transportes (2024) indicam sinais expressivos de crescimento na movimentação de cargas impulsionados pela implementação de novos trechos concedidos por meio do programa federal Pró Trilhos, esta iniciativa já autorizou a construção de mais de 20 mil quilômetros de novas ferrovias em território nacional.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Esse cenário de crescimento, no entanto, traz consigo o desafio de compatibilizar a expansão da malha com o aumento da produtividade operacional visando reduzir o custo unitário de investimento por tonelada transportada.

A elevação da produtividade ferroviária envolve, portanto, a adoção de tecnologias, a modernização do material rodante, a reengenharia de processos operacionais e a gestão eficiente da circulação. Conforme apontado pelo estudo da Confederação Nacional do Transporte (CNT) (2022), medidas como o aumento do peso bruto por eixo, a redução do tempo de parada nos pátios e o uso de sistemas inteligentes de controle de tráfego podem elevar a eficiência do transporte em até 30%.

É importante considerar também que a Agência Nacional de Transporte Terrestre (ANTT) pretende implantar uma norma que visa atualizar o cálculo do ISF - Índice de Saturação de Ferrovias a um nível inferior a 90%. A instrução normativa propõe que sempre que este indicador atingir o gatilho de 80% as concessionárias deverão adotar ações e investimentos para aumentar a capacidade do transporte ferroviário.

Diante desses fatos, este artigo propõe apresentar uma solução viável, segura e econômica para promover o aumento da tonelagem transportada por vagão para garantir o crescimento sustentável do transporte ferroviário de cargas.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

2. PRELIMARES

As concessionárias ferroviárias transportam os mais variados tipos de produto. Dados do Anuário do Setor Ferroviário elaborado anualmente pela ANTT (2024) registram que o minério de ferro é a mercadoria com predominância na matriz de carga ferroviária transportada no Brasil, correspondendo a 72% do volume transportado no período compreendido entre os anos de 2006 e 2024.

O transporte ferroviário de minério de ferro no Brasil representa uma das principais operações logísticas do país, com destaque para corredores como a Estrada de Ferro Carajás (EFC) e a Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM) entre outros.

O gráfico demonstrado na Figura 1 registra uma tendência de crescimento do transporte de minério de ferro a partir do ano de 2023, o que indica que adotar medidas para reduzir os custos de transporte deste produto representa um ganho considerável de eficiência na matriz de transporte ferroviário, o que torna o carregamento eficiente desse produto um fator estratégico para a competitividade nacional.

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

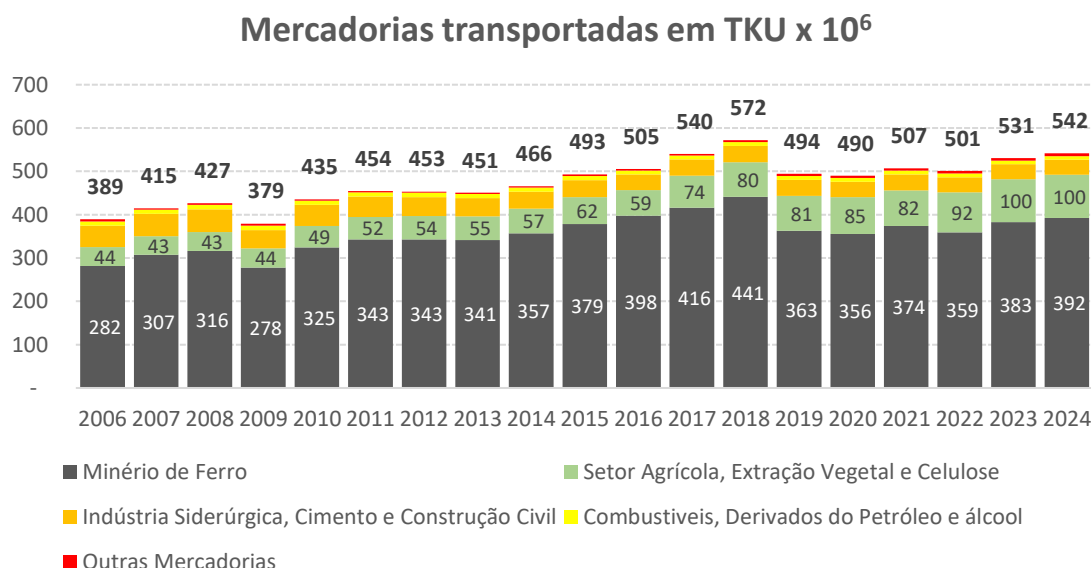


Figura 1 – Mix das cargas transportadas pelas ferrovias brasileiras. Fonte: ANTT

Segundo o Manual de Logística Aplicada ao Transporte Ferroviário (ILOS) e Pereira (2020) o carregamento de minério de ferro pode ocorrer de três formas principais, a depender da infraestrutura da mina e do terminal ferroviário:

a) Carregamento por Gravidade (Silos):

Utilizado em terminais fixos, é o método mais eficiente e comum em operações de grande escala, como nas minas da Vale no Pará e em Minas Gerais. O minério é armazenado em silos e despejado por chutes verticais diretamente nos vagões posicionados sob os silos.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

b) Carregamento por Correias Transportadoras:

Este modelo de carregamento é comum em operações intermediárias, o minério é transportado até os vagões por esteiras automatizadas. Embora menos ágil que o chute, permite maior controle de dosagem e é útil para diferentes tipos granulométricos.

c). Carregamento por Pá Carregadeira ou Escavadeira:

Mais comum em operações de menor escala ou em pátios de triagem e transbordo. É menos eficiente, tem menor controle de carga por vagão e maior tempo de operação, sendo pouco utilizado em rotas de exportação.

O transporte de minério de ferro exige vagões especializados, projetados para alta capacidade de carga por eixo e elevada resistência à abrasividade do produto. Os principais modelos de vagões usados no Brasil incluem:

a) Vagões Gôndolas (GDU, GDT, GFA):

Vagões sem cobertura, possuem grande capacidade cúbica (80 a 105 toneladas por vagão). São ideais para minério granulado ou pellet feed permitem a descarga por gravidade em dispositivos denominados viradores de vagões ou *cardumpers*.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

São utilizados em grandes comboios de até 360 vagões e são comuns em ferrovias como a EFC e EFVM. Podem transportar mais de 20 mil toneladas por trem com uso de locomotivas distribuídas ao longo do comboio ferroviário.

b) Vagões Hopper (HFT, HFA, HFD):

Com fundo basculante ou comportas, estes vagões permitem descarga por gravidade. Usados principalmente quando há necessidade de descarga rápida em moegas.

Diversas fontes como Painel de Desempenho Operacional das Ferrovias (ANTT), o Relatório de Sustentabilidade e Logística Integrada (Vale), o Panorama da Logística Ferroviária Brasileira (Ministério dos Transportes), o Estudo de Desempenho das Ferrovias Brasileiras (CNT) e Boletim Técnico de Transporte Ferroviário (ILOS) apontam que, apesar do elevado volume transportado, a produtividade do carregamento de minério de ferro enfrenta diversos desafios como os compilados abaixo:

a) Tempo de espera e formação do comboio ferroviário:

A logística do processamento dos comboios gera um tempo ocioso entre a chegada do vagão e o início do carregamento que impacta negativamente na produtividade da ferrovia e pode comprometer o tempo e a qualidade do carregamento.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

b) Gargalos na infraestrutura dos pátios e terminais:

Terminais mal planejados ou com layout ineficiente comprometem a fluidez do carregamento, causando acúmulo e atrasos, sobretudo em pontos de transição entre a ferrovia e mina.

c) Baixa qualidade física dos vagões:

Vagões com alto grau de desgaste na caixa ou com falhas nos mecanismos de drenagem ou sistema de freio atrasam as operações de carga e podem comprometer o tempo e a qualidade do carregamento.

d) Variedade da frota de vagões:

A variedade da frota e da capacidade volumétrica dos vagões podem confundir o operador, aumentar o tempo de carregamento e inviabilizar o máximo aproveitamento do vagão.

e) Problemas operacionais e climáticos:

Chuvas intensas podem comprometer a qualidade do minério (aumento da umidade) e inviabilizar o carregamento a céu aberto.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

f) Problemas de qualidade e do tipo do minério:

Os minérios podem apresentar diversos problemas de qualidade (como teor de sílica) e serem de diferentes especificações químicas e granulométricas, afetando diretamente o peso médio a ser carregado no vagão.

g) Padrão de carregamento:

Cargas mal distribuídas ou excedentes por eixo podem comprometer a segurança operacional e obrigar paradas para redistribuição ou descarga parcial.

Alturas variadas do coroamento também afetam o máximo aproveitamento do vagão

h) Baixa performance dos operadores:

Operadores mal treinados ou sem acompanhamento rotineiro ou ainda elevados índices de *turn over* podem interferir negativamente na produtividade do carregamento e em alguns casos o carregamento pode exceder o peso máximo autorizado comprometendo a segurança da circulação ferroviária.

i) Restrições de carregamento devido impactos ambientais e operacionais:

O risco de emissão de particulados (poeira) associado a queda de material na via permanente durante a circulação dos trens gera reclamação das comunidades



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

adjacentes a via férrea e a contaminação do lastro ferroviário afetando a vida útil dos circuitos de cruzamento de trens demandando limpezas regulares.

Estas restrições afetam diretamente a altura de coroamento dos vagões e exigem um carregamento especializado que garanta que as bordas dos vagões circulem com o mínimo de material depositado na borda (borda limpa).

j) Conflito de indicadores:

A existência de indicadores concorrentes como Peso Médio x Tempo de Carregamento x Atendimento a Programação Diária podem gerar conflitos de prioridade e levar a uma tomada de decisão equivocada de atendimento a indicadores de tempo ou produção em detrimento a qualidade da carga.

3. OBJETIVO

O artigo em questão tem como objetivo principal apresentar os resultados obtidos com a implantação de um novo modelo de carregamento de minério de ferro em vagões tipo gôndolas carregados através da utilização de pás carregadeiras associado a implantação de um dispositivo denominado Formatador de carga em Vagões (Formatador) que possibilitou maximizar o aproveitamento da capacidade volumétrica do vagão em uma concessionária ferroviária, culminando em uma melhora significativa do indicador peso médio em um determinado pátio ferroviário.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

4. DIAGNÓSTICO

Para estabelecer uma relação de ganhos de produtividade com definição do novo modelo de carregamento associada a implantação do carregador, se faz necessário realizar a coleta de dados em campo para obter valores reais que permitam uma comparação de resultados. Esta parte experimental do trabalho está estruturada da seguinte maneira:

- Definição de conceitos;
- Análise do histórico do indicador;
- Definição do local ótimo para implantação do dispositivo;
- Definição da meta a ser atingida;
- Elaboração do fluxograma do processo com identificação do ponto de causa;
- Elaboração do desenho técnico do dispositivo;
- Implantação do dispositivo com definição da rotina de manutenção;
- Definição do modelo de carregamento e capacitação da equipe envolvida;
- Validação dos métodos de coleta da altura de coroamento;
- Estatísticas utilizadas;
- Medições da grandeza Peso Médio;
- Análise e apresentação dos dados.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

4.1 Definição de conceitos

A) Peso Médio

O Peso Médio é um indicador fundamental no planejamento e dimensionamento do volume de transporte ferroviário. Ele representa a média de carga útil transportada por vagão (ou por trem, dependendo do nível de agregação da análise) e permite estimar com precisão a capacidade total de transporte da ferrovia em determinado período, servindo de base para o planejamento operacional, alocação de recursos logísticos e cálculo de demanda futura (Valente, 2015).

Além disso, esse indicador está diretamente relacionado à eficiência da operação. Um peso médio abaixo da capacidade nominal dos vagões pode indicar falhas na consolidação de carga, limitações da infraestrutura (como pontes e rampas), problemas operacionais ou exigências regulatórias que limitam a carga por eixo e um peso médio acima da capacidade nominal dos vagões podem indicar falhas no carregamento ou alocação dos vagões e podem comprometer a segurança ferroviária durante a circulação do comboio com risco potencial de gerar acidentes ferroviários de elevada gravidade.

O peso médio (PM) pode ser calculado utilizando a seguinte fórmula:



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

$$PM = \frac{C}{N}$$

Fórmula 1 – Cálculo do peso médio por vagão. Fonte: Valente, 2015

Onde:

PM = Peso médio por vagão (em toneladas)

C = Carga útil total transportada (em toneladas)

N = Número de vagões carregados utilizados no transporte (em quantidade)

Se o cálculo for feito por composição (trem), também pode ser expressa como:

$$PM = \frac{C_T}{N}$$

Fórmula 2 – Cálculo do peso médio por trem. Fonte: Valente, 2015

Onde:

PM = Peso médio por vagão (em toneladas)

C_T = Carga útil total transportada por trem (em toneladas)

T = Número de trens carregados (em quantidade)



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A adoção dessas fórmulas permite uma análise detalhada da eficiência operacional da ferrovia e contribui para o planejamento do uso da capacidade da malha e dos terminais (MOURA, 2021).

Segundo Valente (2015) este indicador também pode ser desdobrado em análises mais complexas como o cálculo da produtividade do vagão por ciclo logístico (quando associado ao tempo de retorno e à disponibilidade da frota), integrando-se a modelos de volume transportado total (VT), conforme a equação:

$$V_T = N_v \times PM \times D$$

Fórmula 3 – Cálculo do Volume a ser transporta por uma ferrovia. Fonte: Valente, 2015

Onde:

V_T = Volume total transportado (em toneladas)

N_v = Número de vagões disponíveis (em quantidades)

PM = Peso médio por vagão (em toneladas)

D = Número de dias ou ciclos operacionais no período analisado



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

O indicador Peso Médio é adotado em diversas aplicações práticas, tais como:

- Planejamento de demanda: Auxilia na definição do número de trens necessários para atender uma meta de transporte.
- Cálculo de capacidade operacional: Permite avaliar se a ferrovia está operando próxima de sua capacidade ou subutilizada.
- Gestão de frota e carregamento: Indica a necessidade de ajustes no processo de alocação de vagões e planejamento de carga.
- Comparação de *benchmarking* entre corredores ferroviários: Comparações entre corredores ajudam a identificar oportunidades de ganhos de eficiência.
- Comparação de performance de carregamentos entre equipamentos e/ou operadores.

B) Coroamento

Para garantir o máximo aproveitamento do vagão este artigo foca no processo denominado "coroamento" ou "altura" da carga do vagão, a "coroa" é a parte visível da carga que fica acima da borda dos vagões e pode apresentar diversos níveis de altura a depender da expertise do operador da pá carregadeira, do tipo e qualidade do minério, dos procedimentos adotados como compactação da carga entre outros fatores.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

Um coroamento eficiente melhora a produtividade pois representa até vinte por cento do peso líquido da carga no vagão. O coroamento correto minimiza as emissões de particulados, a queda de material que gera a contaminação do lastro ferroviário e os riscos operacionais devido ao desequilíbrio de carga.

Existe uma correlação entre a eficiência do coroamento e o método de carregamento: O carregamento através da utilização de silo possibilita melhores resultados do que o carregamento realizado com pá carregadeira (método abordado neste artigo).

4.2 Análise do histórico do indicador

Os dados de Peso Médio foram coletados na EFVM, operada pela Vale S.A. em concessão com o governo federal. A EFVM possui aproximadamente 906 km de extensão, ligando o porto de Tubarão, em Vitória / ES a Belo Horizonte / MG e transporta cargas, como minério de ferro, grãos, produtos siderúrgicos e passageiros.

No ano de 2023 a EFVM transportou cerca de 90,9 milhões de toneladas, deste total 80,7 milhões de toneladas (89%) correspondem ao transporte de minério de ferro. Neste ano a EFVM transportou cerca de 17% de todo o volume transportado pelas ferrovias brasileiras.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

A expedição de minério de ferro no ano de 2023 foi cerca de 85,6 milhões de toneladas, deste total 30% foram carregados utilizando pás carregadeiras.

Para o período compreendido entre janeiro e agosto de 2024 o peso médio do minério destinado ao mercado externo (MFe) expedido no modelo de carregamento via silo apresentava uma meta orçada de 81,59 t e um realizado de 82,56 t com um gap positivo de 0,97 t, o modelo de carregamento via pá carregadeira apresentava uma meta orçada de 76,13 toneladas e um realizado de 74,16 toneladas, com um gap negativo de 1,97 t.

4.3 Definição do local ótimo para implantação do dispositivo

Para identificar o melhor local da instalação do dispositivo foram analisados os volumes carregados nos pontos de carga da EFVM que resultou na priorização do ponto de carga de VFZ – Fazendão, localizado no município de Catas Altas / MG. Este ponto foi priorizado por carregar 60% do volume de carregamento utilizando pás carregadeiras.

**Distribuição do volume de MFe carregado com pá mecânica
nos pontos de carga da EFVM - jan a ago/2024**

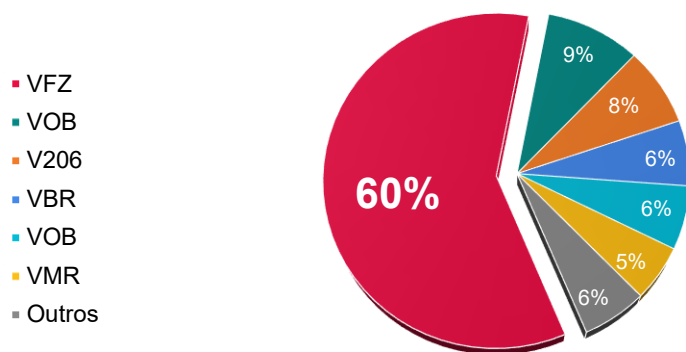


Figura 2 – Distribuição do volume de MFe carregado com pá mecânica nos pontos de carga. Fonte: Vale

Foi analisado o cenário de carregamento plurianual para o ponto de carga de VFZ e foi identificado um aumento de 17% do volume carregado para o período compreendido entre os anos de 2025 a 2026.

Tabela 1 – Volumes de MFe a serem carregados no Pátio de Fazendão. Fonte: Vale

Ano	Toneladas x 10 ³
2025	12,13
2026	14,14

4.4 Definição da meta a ser atingida

Para definição da meta foram analisados os resultados do PM realizados entre janeiro24 e agosto de24 e realizada uma comparação com o PM orçado no ano de 2024 para o ponto de carga.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Os resultados obtidos foram um PM orçado no valor de 74,21 t e o PM realizado de 72,36 t, sendo calculado um gap em relação ao orçamento de 1,85 t, valor este adotado como meta para incremento do PM no ponto de carga a ser atingida com a instalação do implemento.

O gráfico abaixo compara os valores Orçados x Real de PM no ponto de carga, pode ser percebida uma queda acentuada no PM realizado, fato que demanda solução urgente para garantir a aderência ao indicador ao orçamento visando garantir o cumprimento dos volumes orçados para o biênio 2025/2026.

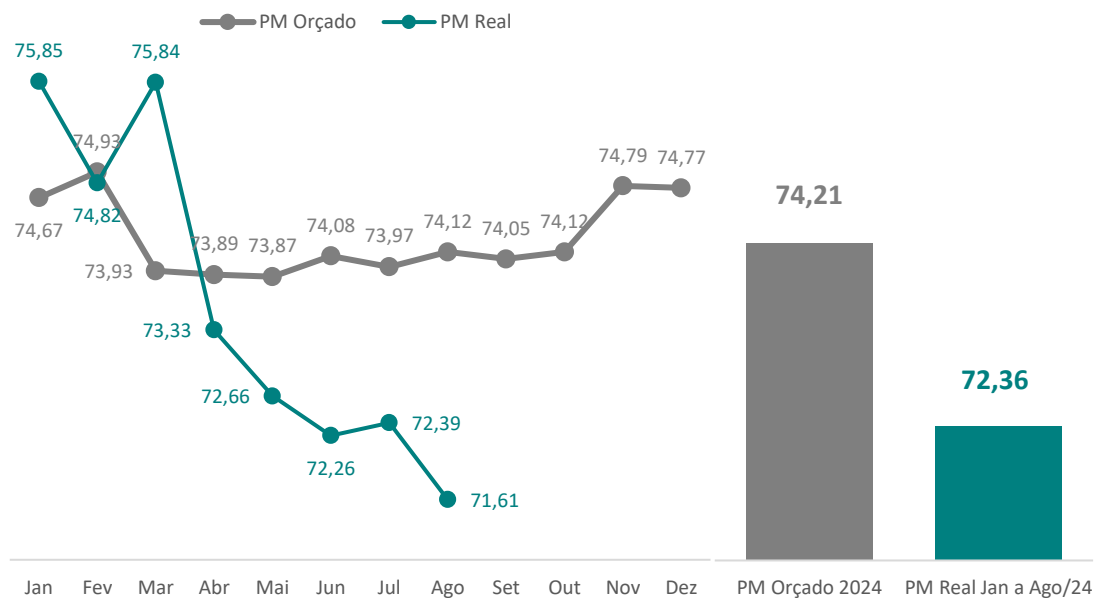


Figura 3 – Resultados do Peso Médio de Fazendão no ano de 2024. Fonte: Autores

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

4.5 Elaboração do fluxograma do processo com identificação do ponto de causa

Nesta fase elaboramos o fluxograma do processo e identificamos que o ponto de causa se dá na Etapa 4, momento no qual o carregamento com pá carregadeira é finalizado.



Figura 4 – Fluxograma simplificado do processo de carregamento. Fonte: Autores

Após a etapa de carregamento foram realizadas várias inspeções a fim de identificar as oportunidades de aumentar o coroamento e o aproveitamento da capacidade volumétrica do vagão, situação representada nos esquemas e registros fotográficos abaixo.

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

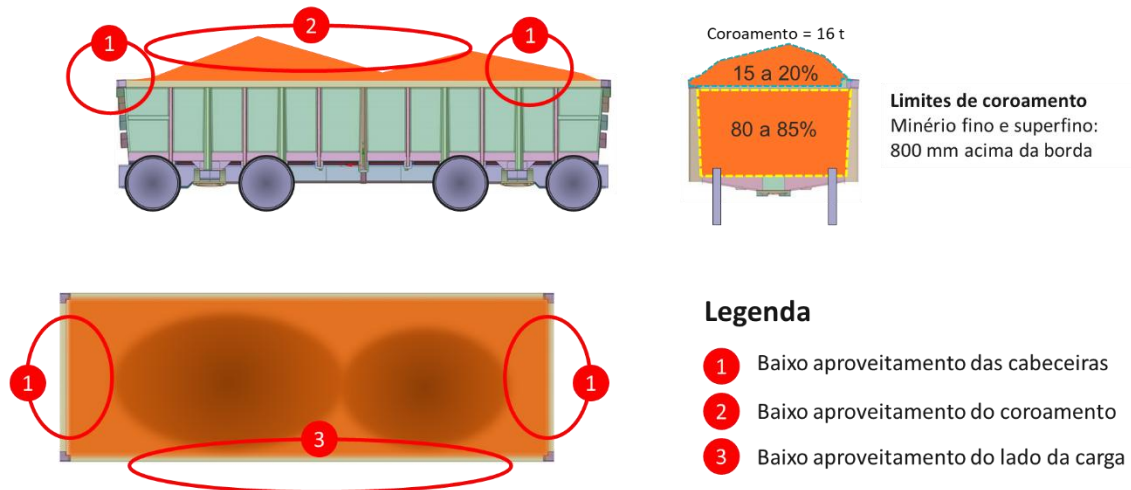


Figura 5 – Esquema da distribuição da carga no vagão. Fonte: Autores



Figura 6 – Registro fotográfico da distribuição da carga no vagão. Fonte: Autores

Foi identificado que os carregamentos com pá carregadeira apresentam baixo aproveitamento das cabeceiras, do coroamento e das laterais do vagão, foi constatado também uma dificuldade de aproveitamento da lateral do vagão oposta ao operador da pá carregadeira.



Figura 7 – Registro fotográfico da visão do operador durante o carregamento do vagão.
Fonte: Autores

4.6 Elaboração do desenho técnico do dispositivo

Identificada a causa raiz da baixa performance do Peso Médio, que se traduz na dificuldade do operador em realizar o carregamento ocupando toda a capacidade volumétrica do vagão, foram avaliadas soluções que se baseiam na implementação de dispositivo que permita distribuir a carga no vagão aumentando a utilização da sua capacidade volumétrica e consequentemente o peso médio carregado.

A compactação de carga em vagões tipo gôndola é uma etapa crucial para garantir a eficiência logística no transporte ferroviário de granéis sólidos como minério de ferro, carvão, cavaco de madeira e sucata metálica. A prática mais avançada e amplamente utilizada no mundo atual é o uso de sistemas hidráulicos integrados de compactação,



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

acoplados a carregadeiras frontais ou escavadeiras. Esses sistemas são reconhecidos como o estado da arte por promoverem elevada densidade de carga e segurança operacional (Garcia e Santos, 2021).

Os Sistemas Integrados de Compactação Hidráulica (IHCS – Integrated Hydraulic Compaction Systems) consistem em atuadores hidráulicos montados em braços articulados que operam placas compactadoras ou rolos vibratórios. Após o despejo da carga no vagão, o sistema realiza movimentos verticais ou vibratórios para redistribuir e densificar o material. Isso reduz o volume aparente, melhora o fator de enchimento dos vagões e minimiza perdas por derramamento durante o transporte (Forsythe, 2022).

Empresas como a Vale S.A. no Brasil implementaram esse tipo de sistema em suas unidades de carregamento em Carajás e Itabira, utilizando carregadeiras Caterpillar 988K adaptadas com kits de compactação (Vale, 2022). Nos Estados Unidos, a BNSF Railway aplica cabeçotes compactadores hidráulicos em suas operações com carvão (AAR, 2020). Já as Ferrovias Russas (RZD) desenvolveram sistemas automatizados com braços robóticos para compactação de sucata metálica (Forsythe, 2022).

Entre os principais equipamentos empregados destacam-se os compactadores hidráulicos acopláveis, como o modelo HAMMEL VB Compact, os rolos compactadores



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

móveis vibratórios com controle remoto, e sistemas especializados da Caterpillar Inc., voltados para operações de alta intensidade e ambiente severo (Caterpillar, 2023).

A adoção desses sistemas traz ganhos significativos de produtividade, como o aumento da tonelage por vagão, redução do número de viagens, menor custo logístico por tonelada transportada, além de contribuir para a estabilidade da carga e a segurança da composição ferroviária (Garcia e Santos, 2021).

Foram desenhados e testados vários protótipos de dispositivos que viabilizariam a distribuição da carga, após a realização de uma pesquisa de mercado, foi definido o desenvolvimento de um equipamento para melhorar a qualidade do coroamento dos vagões. Assim, em parceria com um fornecedor local, foi desenvolvido um dispositivo para formatação, compactação e limpeza das bordas de vagões tipo gôndolas carregados com minério por carregadeira.

O dispositivo final, denominado Formatador de carga de Vagões, foi confeccionado conforme croqui abaixo:

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

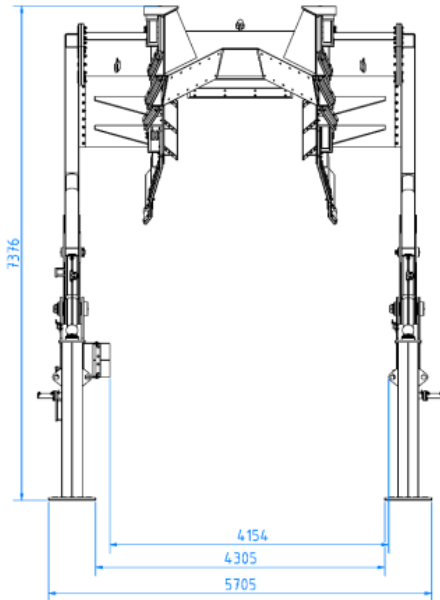


Figura 8 – Desenho Técnico do formatador, vista de frente, em repouso: Vale

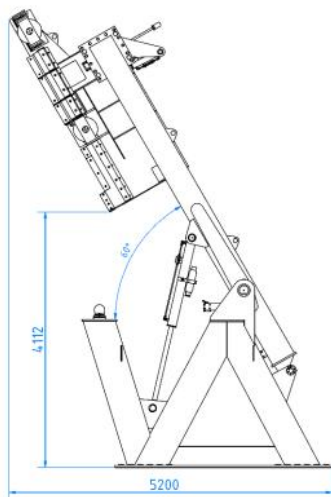


Figura 9 – Desenho Técnico do Formatador, vista lateral, em movimento angular: Vale

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

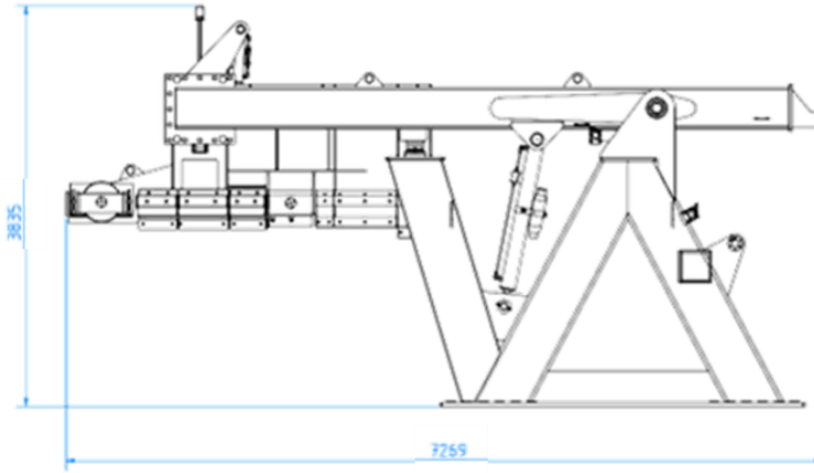


Figura 10 – Desenho Técnico do Formatador, vista lateral, em posição de trabalho: Vale

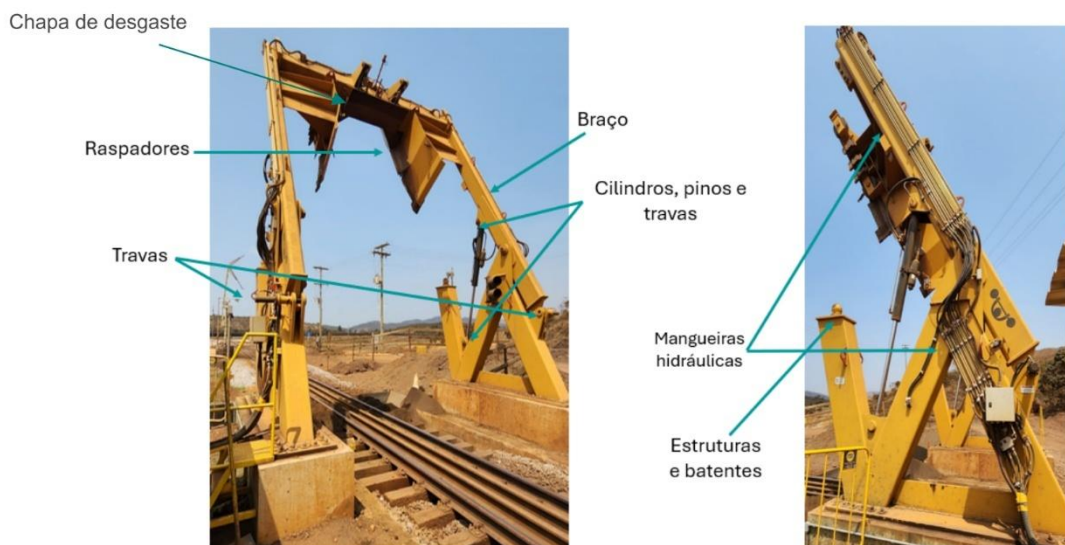


Figura 11 – Componentes do Formatador de Carga de Vagões. Fonte: Vale

O formatado é basicamente formado por dois braços mecânicos articulados por dois pistões acoplados a raspadores montados sobre um batente posicionados sobre a linha férrea que funciona da seguinte maneira:

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

- a) No momento em que não há carregamento ou há a necessidade de passagem de locomotivas ele se encontra na posição vertical conforme figuras 8 e 11.
- b) No momento da passagem dos vagões o formatador se abaixa ficando na posição horizontal indicada nas figuras 10, 12, 14 e 15 promovendo uma raspagem e distribuição da carga sobre o vagão.



Figura 12 – Imagem ilustrativa do Formatador em operação. Fonte: Vale

4.7 Implantação do dispositivo com definição da rotina de manutenção

O dispositivo denominado Formatador foi instalado em dezembro de 2023 e passou por testes de comissionamento, sendo oficialmente inaugurado em agosto de 2024 e entrando operacionalmente no processo em setembro de 2024

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**



Figura 13 – Instalação da base para implantação do Formatador. Fonte: Vale



Figura 14 – Foto do Formatador em atividade. Fonte: Vale

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 15 – Detalhe do Formatador em atividade. Fonte: Vale

A rotina de manutenção foi baseada em rotinas periódicas de inspeção e manutenções preventivas considerando que o Formatador está no início de sua vida útil e que os dados dos testes de comissionamento não registraram nenhuma anomalia ou modo de falha de equipamentos e componentes.

Tabela 2 – Rotina de Inspeção e Manutenção Preventiva do Formatador. Fonte: Vale

Plano	Descrição	Periodicidade (dias)
1500949	MP Lubrificar o Formatador	30
1500950	MP Troca de filtro UH Formatador	180
1501001	MP Mecânica Formatador	90
1501002	MP Coleta de óleo do Formatador	180
1501003	MP Elétrica do Formatador	180
1501004	MP Inspeção do Formatador	7
1504098	Troca de óleo da unidade hidráulica	360

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

4.8 Definição do modelo de carregamento e capacitação da equipe envolvida

O modelo de carregamento foi dimensionado de modo a ocupar toda a capacidade volumétrica do vagão com definição das seguintes premissas:

- a) Altura do 1º Coroamento - Extremidade voltada para o formatador: 1.200 mm;
- b) Altura do 2º Coroamento - Extremidade oposta ao formatador: 500 mm;
- c) Altura do Coroamento Final - Após formatação: 800 mm.

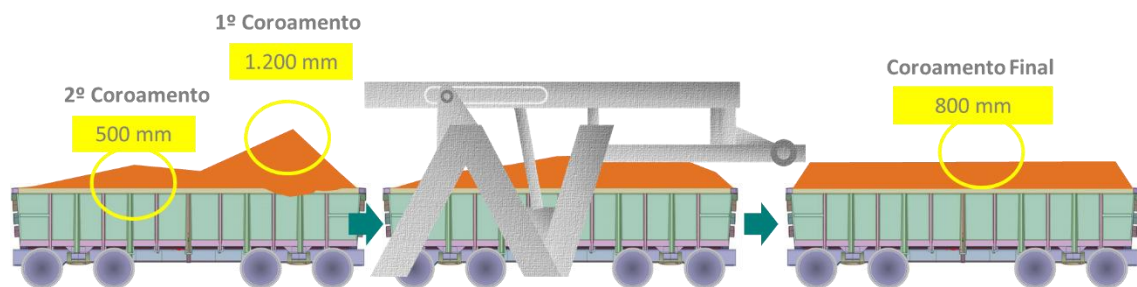


Figura 16 – Premissas de coroamento. Fonte: Autores

Para capacitação dos envolvidos foi elaborado um Procedimento Operacional e realizados treinamentos teóricos e de operação em campo.

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

ASPERSÃO E FORMATAÇÃO DE CARGA COMPLEXO MARIANA

PRO-902027, Rev.: 11- 07/10/2024



- Durante aspersão de vagões observar na tela do supervisor/IHM se a bomba de polímero está funcionando. A quantidade mínima de polímero no reservatório não poderá ser inferior a 20%.



- O sistema de aspersão possui uma bomba reserva tanto de água quanto de polímero. Caso a bomba que estiver sendo utilizada apresente falhas, clique dentro da bomba e REARME. Caso o problema persista, clique na bomba desejada e posteriormente selecioná-la na tela do supervisor/IHM onde aparecerá na cor amarela como status "pronta para partir".
- Observar vazamentos em tubos, bombas e conexões, bicos, mangueiras de ar, pressão dos compressores, sensores, cabos de sustentação dos braços. Em caso de anomalias acionar equipe da manutenção de usina.

11. AQUISIÇÃO DE NOVO POLÍMERO PARA ASPERSÃO DE VAGÕES

- ✓ Toda vez que se fizer necessário a aquisição de um novo polímero para aspersão de vagões primeiramente deverá ser apresentado pelo fornecedor a FISPQ do respectivo produto. A equipe multidisciplinar composta por membros das áreas de Meio ambiente, Manutenção e Operação avaliará a respectiva FISPQ, caso as especificações técnicas atendam aos requisitos legais o produto estará apto a ser adquirido junto ao fornecedor. Cabe ao fornecedor acompanhar a implementação e os testes junto a área responsável.
- ✓ Para utilização e ou teste, os requisitos da FISPQ devem ser observados em sua totalidade.

7 de 10

ASPERSÃO E FORMATAÇÃO DE CARGA COMPLEXO MARIANA

PRO-902027, Rev.: 11- 07/10/2024

12. Operação do formatador de cargas Complexo Mariana

12.1 Inspeção no formatador de cargas.

- Antes de iniciar a atividade realizar inspeção nos seguintes itens:
- Inspeção na área de trabalho (acúmulo de material na linha, acúmulo de material nos dormentes da linha e acúmulo de material no fosso).
- Realizar inspeção visual no início/fim de turno na estrutura e no painel de comando do formatador (vidros, botoeiras, cadeado, mangueira e conexões) conforme imagens abaixo, caso identificar alguma anomalia informar ao supervisor/técnico do turno.







12.2 Operação do formatador de cargas.

- Abaixar o braço do formatador após ter posicionado a locomotiva no aspersor.
- Em caso de locotrol (remota/258) solicitar a parada da mesma faltando 4 (quatro) vagões e elevar o braço do formatador, em seguida realizar o posicionamento no aspersor e abaixar o braço para formatação.
- Realizar operação do formatador seguindo o passo a passo conforme imagem abaixo:

8 de 10

Figura 17 – Procedimento Operacional. Fonte: Vale

4.9 Validação dos métodos de coleta da altura de coroamento

Foram definidos os seguintes métodos para coleta de dados

- Altura do 1º Coroamento: Medição visual em campo e check eventual com réguas;
- Altura do 2º Coroamento: Medição visual em campo e check eventual com réguas;
- Altura do Coroamento Final: O coroamento final é limitado pela altura regular dos raspadores e check eventual com réguas;



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

4.10 Estatística utilizada

A ferramenta estatística adotada para quantificar o aumento do Peso Médio foi a Carta de Controle X que permite calcular média e desvio padrão da variável contínua Peso Médio, esta é carta utilizada no controle estatístico de processos industriais e administrativos. Segundo Shewhart (1931) seu principal objetivo é monitorar a variabilidade de um processo ao longo do tempo, distinguindo causas comuns (naturais) de variação das causas especiais (anômalas), permitindo ações corretivas rápidas e precisas.

4.11 Medições da grandeza Peso Médio

Os dados da grandeza Peso Médio dos vagões são gerados a partir de um processo automático que segue o seguinte fluxo:

Os vagões são carregados e passam sobre uma balança ferroviária dinâmica com trilhos instrumentados com células de carga do fabricante STA BALANÇAS. As células de carga são construídas através da implantação de extensômetros diretamente na alma do trilho. O extensômetro ou strain gage é um sensor que é colocado na superfície do trilho é responsável por medir a deformação do trilho diante da aplicação de uma força (peso + carga dinâmica).



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Os dados de pesagem são coletados automaticamente e enviados para o software de controle da balança, este software calcula o peso médio dos vagões carregados conforme a Fórmula 1 registrada no Capítulo 4.1 Definição de conceitos.

Estes dados ficam disponíveis no sistema e após a pesagem de toda a composição é realizada uma interface automática entre vários sistemas legados (PIMS, GPVM, SAP) e fica disponível no sistema GPVF [327] Consultas » Indicadores » Carga x Descarga para consulta e análise.

GPV Ferrovias

010009 - Renato Oliveira | brqsb1valeas890.valenet.valeglobal.net
 Logado desde 29/07/2025 | 172.26.127.143

Parametrização ▾ Malha ▾ Veículos ▾ Transporte ▾ Configurações ▾ Planejamento ▾ Realização ▾ Consultas ▾

[327] Consultas » Indicadores » Carga x Descarga
▼ Pesquisar

Data Início*: 01/01/2024

Ferrovia Origem: EFVM - ESTRADA DE FERRÉ ▾

Ferrovia Destino: EFVM - ESTRADA DE FERRÉ ▾

Tipo Vagão: Seleccione ▾

Grupo Controle: Seleccione ▾

Segmento Negócio: Seleccione ▾

Pátio Carga: VFZ - FAZENDÃO ▾

Data Fim*: 31/01/2024

Pátio Origem: VFZ - FAZENDÃO ▾

Pátio Destino: VTU - TUBARÃO ▾

Série: GDE, GDF ▾

Grupo Fluxo: ▾

Cliente Concentrador: ▾

Pátio Descarga: ▾

Tipo*: ☒ Carga ☐ Descarga

Setor Pátio Origem: Seleccione ▾

Setor Pátio Destino: Seleccione ▾

Fruta: ▾

Grupo Produto: MFE - MINÉRIO DE FERRO ▾

Cliente Remetente: ▾

Linha Origem: ▾

Linha Destino: ▾

Vagão: ▾

Produto: ▾

Cliente Destinatário: ▾

Pesquisar
Limpar

☐	Data ▲	Série	Vagão	Pátio Origem	Pátio Destino	Pátio Descarga	Cliente Concentrador	Cliente Destinatário	Grupo Produto	Produto	Tipo	Peso (t)
☐	01/01/2024	GDE	214689-4	VFZ	VTU		VALE	POT	MINÉRIO DE FERRO E PELOTAS	CONCENTRATION FEED FAZENDAO	Carga	75,260
☐	01/01/2024	GDE	213366-1	VFZ	VTU		VALE	POT	MINÉRIO DE FERRO E PELOTAS	CONCENTRATION FEED FAZENDAO	Carga	75,140
☐	01/01/2024	GDE	215070-1	VFZ	VTU		VALE	POT	MINÉRIO DE FERRO E PELOTAS	CONCENTRATION FEED FAZENDAO	Carga	76,490

Figura 18 – Tela de consulta do Peso Médio. Fonte: Vale

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

4.12 Análise e apresentação dos dados

Dado que o objetivo deste trabalho é garantir o incremento do Peso Médio através da aplicação de novos procedimentos de coroamento da carga com posterior formatação serão calculados os resultados comparando o período “Antes” (janeiro a agosto de 2024) e no período “Depois” (setembro a dezembro de 2024). Serão apresentados também os dados da média atingida mensalmente.

Para efeito de comparação serão avaliadas as médias, os limites superiores e inferiores da Carta de Controle X e o resultado do desvio padrão dos períodos “Antes” e “Depois”.

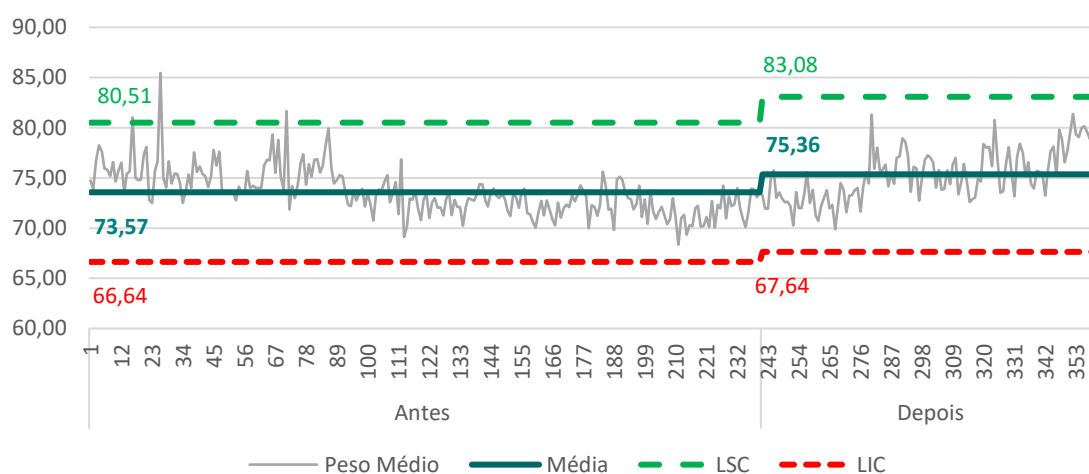
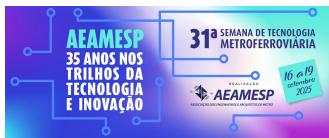


Figura 19 – Carta de Controle X do Peso Médio do MFe carregado em Fazenda Jan a dez/2024. Fonte: Autores



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

CPTM

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Tabela 3 – Resultados estatísticos do PM do MFe carregados no Pátio de Fazenda.

Fonte: Autores

Dados Estatísticos	Resultados Antes Jan a ago/24	Resultados Depois Set a dez/24	Diferença Depois - Antes
Amostras (nº)	240	121	-119
Média (t)	73,57	75,36	1,79
Desvio Padrão (t)	2,31	2,57	0,26
LSC (t)	80,51	83,08	2,58
LIC (T)	66,64	67,64	1,00

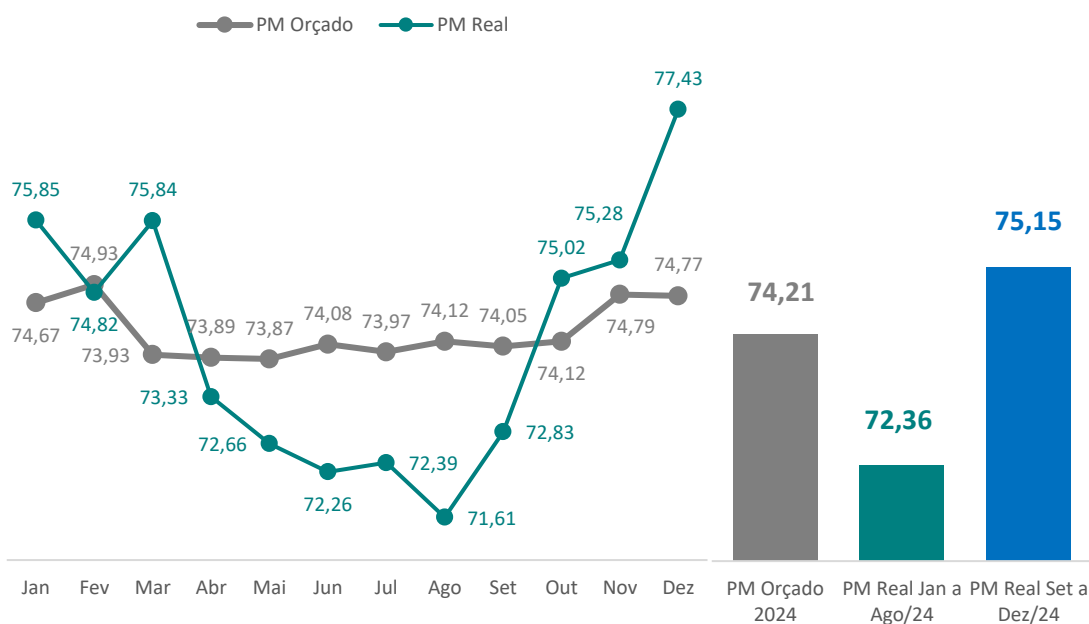


Figura 20 – Resultados do Peso Médio de Fazenda no ano de 2024. Fonte: Autores

Tabela 4 – Resultados do PM do MFe carregados no Pátio de Fazenda. Fonte: Autores

Dados Realizados	Resultados Antes Jan a ago/24	Resultados Depois Set a dez/24	Diferença Depois - Antes
Peso Médio (t)	72,36	75,15	2,78



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise do Peso Médio após a implantação do novo modelo de coroamento de minério de ferro carregado em vagões tipo gôndolas carregados através da utilização de pás carregadeiras com aplicação posterior do Formatador de Carga de Vagões permitiu maximizar o aproveitamento da capacidade volumétrica do vagão elevando o resultado do indicador Peso Médio em 2,78 toneladas, superando a meta de 1,85 toneladas estabelecida no Capítulo 4.4.

1. Os indicadores estatísticos do indicador Peso Médio registraram que:
 - a. Houve uma reversão da tendência de queda do indicador;
 - b. Houve aumento dos patamares dos limites de controle superiores e inferiores que contribuem positivamente para indicador;
 - c. Houve uma estabilidade do indicador a partir da implantação do novo modelo de coroamento
2. Foram identificados ganhos de processos relacionados a:
 - a. Redução da presença de material nas bordas dos vagões com consequente redução de queda de material na via, minimizando os eventos de contaminação do lastro;
 - b. Redução da emissão de particulados durante a circulação dos comboios;



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

- c. Eliminação do risco de acidente ferroviário devido a circulação de vagões com carga excêntrica;
 - d. Eliminação de queda de material nas rodas equalizadoras dos Viradores de Vagões no Porto de Tubarão reduzindo tempos de paradas de limpeza.
3. O custo total do projeto foi mensurado e apresentou viabilidade financeira, o projeto foi pago em 3 meses:
- a. Custo total do Projeto: R\$ 9,25 MM;
 - b. VPL R\$ 42,83 MM
 - c. Payback: 12 meses (1 ano)

Cálculo do VPL: Considerando orçamento 2022

Volume		Indicadores Financeiros	
% Volume ME EFVM total	17,4%	VPL no horizonte	R\$ 42,83 MM
Volume Expedido Fazenda/ano	13,92 Mta	WACC	11%
Acréscimo Peso Médio (ton)	1,5%	TIR	167,2%
Acréscimo Volume (ton)/Ano	0,21 Mta	VPI	7011661,90
		Eficiência (VPL / VPI)	6,11
		Payback (anos)	1
Custo			
Formatador	R\$ 4,25 MM		
Fosso de limpeza	R\$ 5,00 MM		
Total	R\$ 9,25 MM		

Figura 21 – Cálculo dos resultados financeiros. Fonte: Vale

Nota¹

¹ Considerado orçamento do ano de 2022 – Ano base de defesa do investimento



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

6. CONCLUSÕES

A eficiência do carregamento ferroviário de minério de ferro é fator-chave para a logística mineral no Brasil. Embora o país disponha de expertise e grandes corredores dedicados, gargalos estruturais e operacionais ainda limitam o ganho de produtividade. Investimentos em automação, modernização de vagões e reengenharia dos processos de formação e carregamento de trens são estratégicos para ampliar a competitividade do setor.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AAR – Association of American Railroads. Efficient Railcar Loading Practices. Technical Manual TM-2020-04. Washington, DC, 2020.

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres. Painel de Desempenho do Transporte Ferroviário. Brasília: ANTT, 2023. Disponível em: <https://www.antt.gov.br>. Acesso em: 30 jul. 2025.

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres. ANTT participa de evento para discutir estratégias sobre infraestrutura e desenvolvimento sustentável. Brasília: ANTT, 10 out. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/ultimas-noticias/antt-participa-de-evento-para-discutir-estrategias-sobre-infraestrutura-e-desenvolvimento-sustentavel>. Acesso em: 30 jul. 2025.

CATERPILLAR INC. Special Application Machines for Heavy-Duty Compacting. Cat Product Sheet, 2023.

Ministério dos Transportes (2024). Relatório de Logística e Transporte.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Ministério dos Transportes (2024). Panorama da Logística Ferroviária Brasileira.

CNT – Confederação Nacional do Transporte (2022). Pesquisa de Desempenho Operacional das Ferrovias Brasileiras

ILOS – Instituto de Logística e Supply Chain (2023). Boletim Técnico de Transporte Ferroviário.

FORSYTHE, J. D. Railcar Loading and Load Securement Practices in Bulk Freight. Railway Gazette International, v. 179, p. 45–51, 2022.

GARCIA, R. L.; **SANTOS**, M. H. Eficiência no carregamento ferroviário de granéis sólidos. Revista Engenharia Ferroviária, v. 12, n. 1, 2021.

MOURA, A. R. Gestão de Operações Ferroviárias. Rio de Janeiro: Interciência, 2021.

PEREIRA, L. A.; **OLIVEIRA**, R. S. Engenharia Ferroviária: Planejamento, Operação e Gestão. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2020.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

SHEWHART, Walter A. Economic Control of Quality of Manufactured Product. New York: D. Van Nostrand Company, 1931.

VALE. Relatório de Sustentabilidade e Inovação Operacional. Vale, 2022. Disponível em: <https://www.vale.com>. Acesso em: 30 jul. 2025.

VALE S.A. (2022). Relatório de Sustentabilidade e Logística Integrada.

VALENTE, R. G. Logística e Transporte Ferroviário de Cargas. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.