

- Environmental Science and Biotechnology*, 1, 335-343.
28. Johnson, B. 2003. Chemical and microbiological characteristics of mineral spoil and drainage waters at abandoned coal and metal mines. *Water, Air and Soil Pollution*, 3, 47-66.
29. Mays, P.A. y Edwards, G.S. 2001. Comparison of heavy metal accumulation in a natural wetland and constructed wetlands receiving acid mine drainage. *Ecological Engineering*, 16, (4), 487-500.
30. Meruane, G. y Vargas, T. 2003. Bacterial oxidation of ferrous iron by acidithiobacillus ferrooxidans in the range 2,5-7,0. *Hydrometallurgy*, 71, 149-158.
31. McKnight, D. y Duren, S. 2004. Biogeochemical processes controlling midday ferrous iron maxima in stream waters affected by acid rock drainage. *Applied Geochemistry*, 19 (7), 1075-1084.
32. Montero, I., Brimhall, G., Alpers, C. y Swayze, G. 2005. Characterization of waste rock associated with acid drainage at the Penn mine, California, by ground-based visible to short-wave infrared reflectance spectroscopy assisted by digital mapping. *Chemical Geology*, 215, 453-472.
33. Mungur, A., Shutes, R., Revit, D. y House, M. 1997. An Assessment of metal removal by a laboratory scale wetland. *Water, Science and Technology*, 35, (5), 125-133.
34. Rensburg, L. y Morgenthal, T. 2003. Evaluation of water treatment sludge for ameliorating acid mine waste. *Journal Environmental Quality*, 32 (5), 1658-1668.
35. Skousen, J. y Ziemkiewicz, P. 2005. Performance of 116 passive treatment systems for acid drainage. *National Meeting of the American Society of Mining and Reclamation*. Breckenridge, CO. USA.
36. Stark, L. y Williams, F. 1995. Assessing the performance indices and design parameters of treatment wetlands for Fe and Mn retention. *Ecological Engineering*, 5, (4), 433-444.
37. Ziemkiewicz, P., Skousen, J. y Simmons, J. 2000. Cost benefit of passive treatment systems. *The National Mine Land Reclamation Center*, West Virginia University, 18 pp.

Artículo recibido en: 03.06.2025

Artículo aceptado: 23.06.2025

Revista de Medio Ambiente Minero y Minería 10 (2): 11 - 19, diciembre 2025. ISSN 2519-5352

LIMITES TÉCNICOS PARA INDICADORES DE DESEMPENHO NA CARGA E TRANSPORTE EM MINA DE FERRO

¹Luana Teixeira Pontara Lopes, ²Vidal Felix Navarro Torres, ²Irvyn Laurence Paniz

¹ Vale S.A.

² Instituto Tecnológico Vale

RESUMO

O presente trabalho concentra-se na elaboração de referências técnicas locais e específicas para carga e transporte na fase de mina, contemplando macro indicadores de utilização física (UF - %) no transporte e produtividade (P – t/h) na carga, assim como seus sub indicadores de desempenho chave. Levando em conta perdas, restrições, referências técnicas e bibliografia relevantes. Indicadores de referências técnicas baseiam-se no mapeamento de gargalos e restrições de cada caso para definir estratégias e decisões a serem tomadas que levam a maiores ganhos operacionais, chamado de referência local. Através de dados históricos do sistema de despacho, condições de contorno da operação e referências técnicas o trabalho estabeleceu uma abordagem para estimar a referência local. Como produto estabeleceu metas de UF e P para o caso em questão, oferecendo percepções de ganhos na eficiência operacional considerando as restrições aplicadas. As percepções foram aplicadas à operação que apresentou ganhos significativos.

Palavras-chave: carga; transporte, KPIs; operação de mina.

ABSTRACT

This work focuses on developing local and specific technical references for loading and transportation in the mine phase, including macro indicators of physical utilization (UF -%) in transportation, and productivity (P – t/h) as well as their key performance sub-indicators. Losses, constraints, technical references, and relevant literature are considered. Technical reference indicators are based on mapping bottlenecks and constraints in each case to define strategies and decisions that lead to greater operational gains, known as local references. Using historical data from the dispatch system, operational boundary conditions, and technical references, the work established an approach to estimating the local reference. The result was established UF and P targets for the case in question, offering insights into operational efficiency gains considering the constraints applied. These insights were applied to the operation, which demonstrated significant gains.

Keywords: loading; hauling; KPIs; mining.

INTRODUÇÃO

As operações de carga e transporte concentram a maior parcela dos custos de uma mina, podendo representar até 60% do OPEX, e exercem influência direta na produtividade, sustentabilidade e competitividade do empreendimento (Quevedo, 2009; Hartman & Mutmanský, 2002). A definição de indicadores de desempenho ajustados à realidade local é, portanto, fundamental, uma vez que parâmetros técnicos de referência muitas vezes se mostram inalcançáveis em minas maduras, como a do estudo em questão (Silva, 2020; Nunes, 2021). Nesse cenário, torna-se necessário estabelecer referências técnicas próprias, que considerem gargalos, restrições e particularidades operacionais, de modo a orientar decisões estratégicas e gerar ganhos consistentes de eficiência.

Segundo Sachs (2009), a identificação de KPIs (Key Performance Indicators) para o planejamento de lavra e operação de mina deve combinar análises quantitativas e qualitativas, integrando indicadores de manutenção, planejamento, operação e beneficiamento. Mais recentemente, estudos têm destacado que a construção de métricas locais, baseadas em dados históricos e condições de contorno, potencializa os resultados de forma mais realista do que o simples uso de benchmarks globais (Costa, 2015; Pereira, 2019). Assim, a busca pela chamada referência local se apresenta como alternativa eficaz, ao permitir que as metas sejam compatíveis com as limitações da operação e, ao mesmo tempo, orientadas para ganhos mensuráveis. No setor mineral, estabelecer métricas claras para relacionar benefícios operacionais aos investimentos tem sido um desafio recorrente (Nader, Tomi & Passos, 2012; Hustrulid & Kuchta, 2013). Nunes (2021) destaca alguns dos principais KPIs utilizados, segmentados por área: Manutenção (DF, MTBF, MTTR), Planejamento de Lavra (Índice de Aderência, Índice de Cumprimento, REM),

Operação (Utilização Física, Produtividade, Movimentação Total) e Beneficiamento (Recuperação Mássica, Recuperação Metalúrgica, Taxa). A escolha de indicadores deve considerar variáveis como tipo de lavra, frota e suas produtividades (Coutinho, 2017; Chaves, 2020).

A mineração a céu aberto, amplamente empregada em depósitos de cobre, ferro, carvão e agregados, apresenta como vantagens a alta produtividade e flexibilidade operacional, embora seja limitada pela profundidade e pela relação estéril/minério (Costa, 2015; Hustrulid & Kuchta, 2013). Dentro desse método, a lavra em cava se destaca pela remoção sistemática de estéril e minério em bancadas, cuja geometria deve atender a critérios geotécnicos e de segurança, impactando diretamente a produtividade (ANM, 2001; Camus, 2019).

As operações unitárias de perfuração, desmonte, carregamento e transporte são executadas ciclicamente até a exaustão da jazida (Ricardo & Catalani, 2007; Pereira, 2019). Dentre elas, carregamento e transporte são críticos para o desempenho global, sendo majoritariamente realizados por escavadeiras, pás-carregadeiras e caminhões fora de estrada (Silva, 2016; Chaves, 2020). A eficiência dessas etapas depende do correto dimensionamento da frota, da compatibilidade entre equipamentos e da gestão de indicadores de desempenho.

Atualmente, a busca por maior competitividade no setor mineral envolve redução de custos operacionais, aumento da produtividade, inovação tecnológica e qualidade do produto (Piana, 2012; World Bank, 2020). Esses fatores tornam a gestão de desempenho e a definição de limites técnicos adaptados uma estratégia essencial para prolongar a vida útil das minas e manter viabilidade em cenários de oscilação de preços de commodities.

O custo é reflexo de uma operação estável, otimizada e com bom aproveitamento de seus ativos, desta

forma, o melhor caminho para uma organização competitiva é buscar a melhor eficiência dos seus equipamentos e operações.

Com base nesse entendimento, o presente trabalho concentra-se na elaboração de referências técnicas locais e específicas para carga e transporte na fase de mina, fundamentadas em dados históricos de despacho, restrições operacionais e bibliografia especializada. A proposta consiste em estabelecer metas ajustadas de UF e P para o caso estudado, permitindo avaliar o potencial de ganhos na eficiência operacional sob restrições reais. O resultado esperado é a geração de percepções aplicáveis que não apenas demonstrem melhorias imediatas na produtividade, mas também sirvam de guia estratégico para a gestão operacional em cenários de alta competitividade e oscilação de preços de commodities.

METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como aplicada, pois busca gerar conhecimento com aplicação prática, definindo limites técnicos (referências locais) para indicadores de desempenho operacional em atividades de carga e transporte. O método proposto foi desenvolvido a partir de dados históricos de operação e posteriormente aplicado como estudo de caso em mina, com o objetivo de validar sua aplicabilidade em ambiente real.

Os dados utilizados foram obtidos a partir do sistema de despacho, que registra em detalhe as operações de carga e transporte. Para garantir consistência estatística e contemplar variações sazonais, adotou-se um horizonte temporal de 24 meses. Inicialmente, os registros de paradas operacionais foram estratificados em diferentes níveis: por código de evento, por mês do ano e por supervisão. Essa segmentação também possibilitou identificar padrões de sazonalidade (períodos chuvosos e secos), diferenças de desempenho entre equipes e oportunidades de *benchmarking* interno.

O conjunto de dados foi submetido a tratamento estatístico, incluindo remoção de outliers e verificação de consistência temporal. Em seguida, foram aplicadas análises descritivas — médias, medianas, quartis, desvios-padrão e variâncias — tanto no período completo quanto em subconjuntos sazonais. Para cada código de parada, foi estabelecido se a perda correspondente deveria ser considerada como inerente ao processo (portanto não eliminável) ou se representava ineficiência operacional, caso em que deveria ser zerada. A soma das perdas válidas e sua diferença em relação ao tempo total disponível permitiram determinar o valor

de referência de utilização física (UF) para o período anual e para cada sazonalidade.

A utilização física de um equipamento é definida como a razão entre as horas efetivamente trabalhadas e a diferença entre as horas calendário e as horas de manutenção, expressa pela Equação (1), em que UF representa as horas trabalhadas, HC as horas calendário e HM as horas de manutenção preventiva e corretiva (Racia, 2016).

$$UF = \frac{HT}{HC-HM} \quad (1)$$

Além da UF, o estudo também considerou a Produtividade de Carga (P_c), definida como a razão entre a carga média movimentada e o tempo de ciclo de carga, conforme a Equação (2), sendo CM a carga média e T_c o tempo de ciclo.

$$P_c = \frac{CM}{T_c} \quad (2)$$

Para obter estimativas consistentes de produtividade, a equação foi decomposta em subindicadores (tempo de manobra, tempo de carga, densidade e carga média), os quais foram analisados de forma isolada. A metodologia considerou ainda a heterogeneidade de frotas e os diferentes *matchings* entre equipamentos de carga e transporte, já que tais combinações influenciam diretamente parâmetros como número de passes e volume da caçamba (Quevedo, 2009).

De modo análogo, a Produtividade de Transporte foi calculada a partir do tempo de ciclo, formado por componentes fixos e variáveis. O tempo variável é função da distância média de transporte (DMT) e das velocidades médias de ida e volta, expressa pela Equação (3), onde D_c e D_v correspondem às distâncias percorridas carregado e vazio, V_c e V_v às respectivas velocidades e V_m à velocidade média (Coutinho, 2017). Assim, a produtividade horária de transporte pode ser estimada pela Equação (4):

$$T_v = \frac{D_c}{V_c} + \frac{D_v}{V_v} = \frac{2DMT}{V_m} \quad (3)$$

$$P_t = U_t \frac{60CMT}{T_c q + t_d + t_e + \frac{2DMT}{V_m}} \quad (4)$$

Por fim, a metodologia foi validada por meio da aplicação em estudo de caso, com cálculo dos limites técnicos de UF e de produtividade de carga e transporte. Os resultados foram comparados com os valores históricos observados, permitindo verificar a aderência dos indicadores definidos às condições reais de operação e apontar potenciais ganhos de eficiência.

No cenário de utilização física de transporte, o complexo minerador possui a referência técnica estabelecida dentro das condicionantes da operação,

as condições ótimas, suas faixas e a praticada na mina são dispostas na Tabela 1.

Tabela 1: Referência Técnica Utilização Física de Transporte.

Ref. Téc.	Baixa	Média	Alta	Atual do caso
UF Transporte	83%	85%	87%	59,3%

As parcelas que compõem as perdas de utilização, chamadas de horas ociosas foram agrupadas em categorias e para cada uma possui um percentual de perda em relação as horas disponíveis, diante disso foi realizado o diagnóstico das perdas reais da mina com as perdas inferidas pela referência técnica, os resultados são apresentados na Tabela 2.

Com base na Tabela 2, percebe-se que os números reais estão distantes dos definidos pelo RT. Algumas categorias não refletem as condições de todas as minas, devido a restrições específicas de cada site.

Destaca-se que fatores ligados a pessoas consideram revezamentos não aplicados em todas as minas, em alguns casos inexistentes, o que gera perdas maiores que as previstas. Outro ponto é a diferença de escala: o RT considera 8h, enquanto a prática atual é 12h (3x3), afetando perdas por pausas obrigatórias a legislação trabalhista. Também se observa maior impacto por paradas de equipamentos de carga, já que no Complexo Paraopeba eles apresentam utilização avançada e menor confiabilidade.

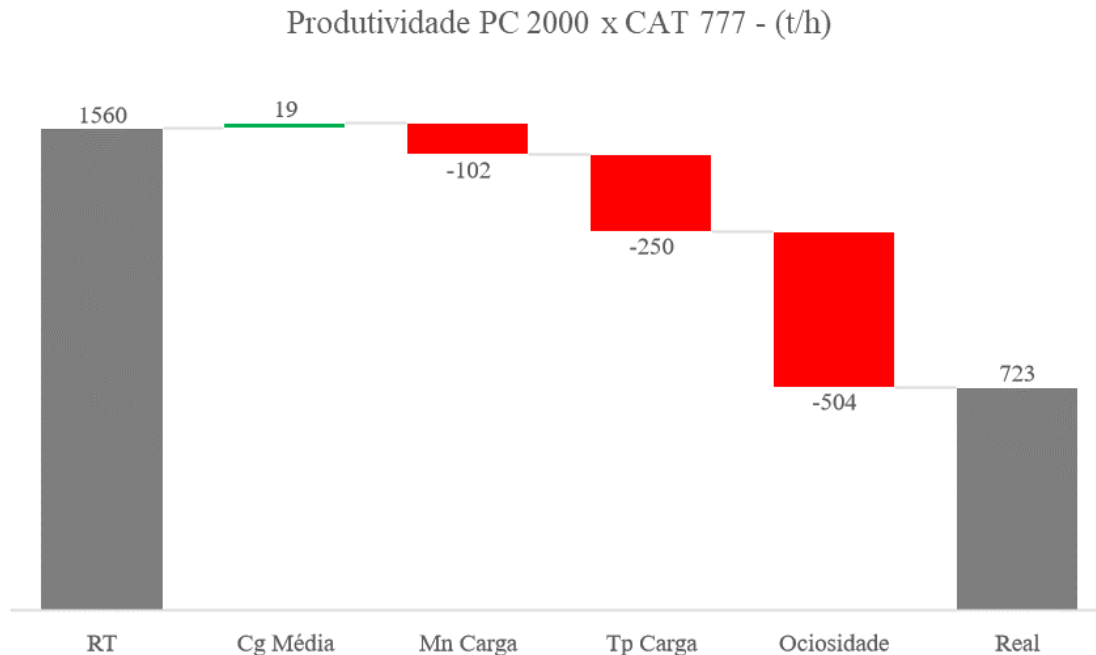
Assim, evidencia-se a necessidade de uma referência local, chamada Limite Técnico. Para isso, utilizaram-se dados de 2022 e 2023 do sistema de despacho, organizados em planilhas dinâmicas de horas calendário, manutenção, ociosas e trabalhadas.

Essas planilhas permitiram estratificações mensais e por turno, gerando análises mais robustas. Foram avaliados 42 códigos de apontamento, aplicando estatística descritiva (média, desvio padrão, Q1, mediana, Q3). Em seguida, cada código foi classificado quanto à variabilidade e sazonalidade para definir a métrica final da utilização física (Tabela 3).

Tabela 2: Diagnóstico de perdas pela RT e caso histórico real de mina.

Classe da perda	Impacto na UF (%)	Impacto real caso (%)
Abastecimento	1,8	0,8
Acerto de Praça	0,2	0,4
Condição de acesso	0,0	1,8
Clima/Mau tempo	2,6	2,4
Disponível para operar	0,0	3,0
Estrada Bloqueada	0,1	0,9
Falta de Operador	0,0	2,4
Falta Equipamento de Carga	0,0	2,3
Pausa Ergonômica	0,0	1,7
Operação/Limpeza	1,0	1,6
Outros	2,0	3,2
Planejamento/Definição	1,0	1,5
Refeição	0,0	5,3
Saúde e Segurança	0,5	1,1
Sistema Anterior	0,5	0,7
Sistema Posterior	0,5	1,7
Treinamento	0,5	1,0
Troca de Turno	4,3	1,4
Troca de Operador	0,0	0,2
Lanche	0,0	0,0
TOTAL	15,0	33,5

No indicador de produtividade de carga, observa-se que os valores reais estão bem abaixo da Referência Técnica. Isso ocorre porque a referência considera o matching ideal entre carga e transporte, adota o payload nominal dos caminhões, desconsidera variações litológicas e assume baixa ociosidade, o que exige mais unidades de transporte por escavadeira — condição nem sempre viável frente ao parque disponível. Além disso, fatores como a necessidade de blend e a operação em múltiplas frentes aumentam a ociosidade dos equipamentos de carga. Foi realizado um diagnóstico comparativo entre a Referência Técnica e a prática operacional, avaliando todos os pares de carga e transporte, inclusive fora do matching ideal, conforme exemplificado na Figuras 1.

Figura 1: Produtividade de Carga RT x Real para a frota de PC2000 x CAT 777

Percebe-se que o maior ofensor entre RT e o que é realizado é a ociosidade de carga seguido pelo tempo de carga; sendo a ociosidade na referência técnica de 0,93 minutos para o caminhão CAT 777 em match com a escavadeira PC2000, que em prática pode chegar em média a 3,75 minutos de tempo de espera. Para definir a produtividade ideal de cada equipamento de carga, foram considerados históricos de tempos de manobra e ociosidade, bem como fatores que influenciam o tempo de carga, como litologia, capacidade da caçamba e frota de transporte. Os dados, referentes aos anos de 2022 e 2023, foram extraídos do sistema de despacho, complementados por informações de litologias fornecidas pelas equipes de Geologia e Planejamento de Lavra. A produtividade foi calculada a partir de quatro sub indicadores: manobra na carga, tempo de carga, ociosidade e carga média. Os dois primeiros basearam-se em históricos operacionais; a carga média, na litologia e porte dos caminhões; e o tempo de carga, no número de passes estimado a partir da litologia, capacidade e frota utilizada, considerando a frota de matching já mencionada, temos o histórico de estimativa na Tabela 3.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O Limite Técnico é um indicador vivo, e conforme a melhoria de performance e mudanças de cenários/restrições é necessária a atualização do indicador utilizando a mesma metodologia. Tendo a

possibilidade de ser mais assertivo no direcionamento dos esforços para sanar as ineficiências e otimizar a performance dos ativos. São definidos os indicadores, bem como a evolução dos resultados após o acompanhamento baseado no Limite Técnico em que foi desenvolvido o trabalho de melhoria focado nos maiores ofensores dos KPIs. O gráfico da Figura 2 mostra que os resultados de UF em 2022 e 2023 ficaram abaixo do esperado. Os limites definidos para cada site são desafiadores, mas servem como Referência Local, buscando a melhor performance possível. Foram calculados valores para três condições: acumulado do ano, período seco e período chuvoso, sendo este último crítico devido à maior diferença de performance e paradas dos ativos, exigindo acompanhamento específico.

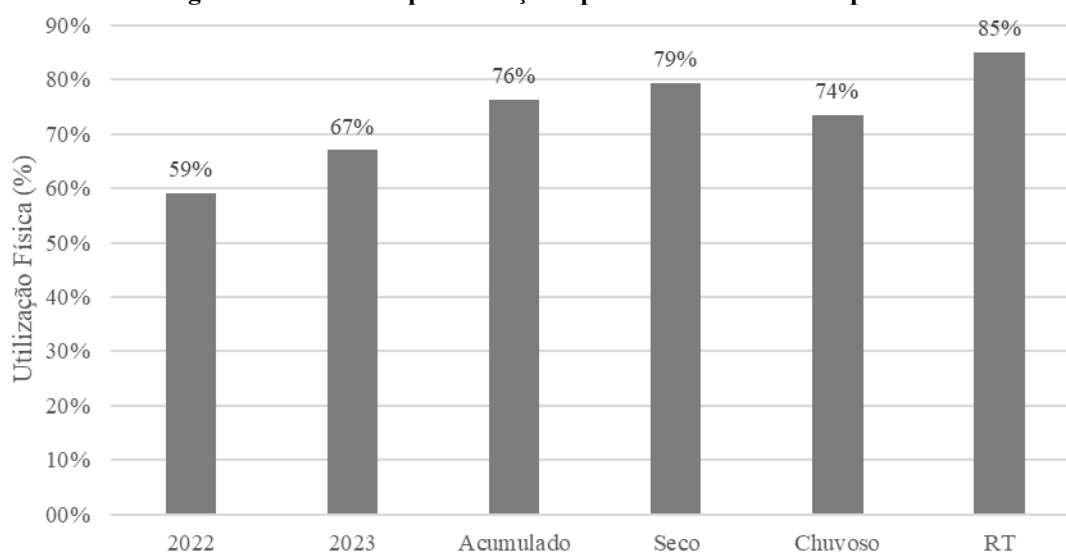
Os principais fatores que impactaram a Utilização Física (UF) do site estão relacionados ao quadro de pessoal e à disponibilidade de equipamentos. A ausência do fator de revezamento de refeições no dimensionamento de operadores, devido a restrições orçamentárias, afetou tanto o código refeição quanto o código disponível para operar, resultando em um impacto de quase 13 pontos percentuais no resultado de UF.

Outro ponto crítico foi a falta de equipamento de carga, ocorrendo quando a Disponibilidade Física dos equipamentos não permite absorver toda a frota de transporte, obrigando paradas operacionais.

Tabela 3: Memorial de cálculo, exemplo frota de carga PC2000 com a frota de transporte CAT 777 na mina.

Vol. Caçamba (m³)	Sigla Litologia	Compacidade	Peso Médio (t)	Densidade Empolada (t/m³)	Passes Final	Tempo Carregamento (min)
9	AG	Friável	91	1,49	8	3,38
9	CG	Friável/Compacto	91	2,34	5	1,93
9	CH	Friável	91	2,15	5	1,93
9	CO	Friável	91	2,42	5	1,93
9	DO	Compacto	91	2,03	6	2,42
9	FL	Friável/Compacto	91	1,68	7	2,90
9	FMO	Friável/Compacto	91	1,94	6	2,42
9	HC	Compacto	91	2,9	5	1,93
9	HF	Friável	91	2,59	5	1,93
9	HGO	Friável/Compacto	91	2,4	5	1,93
9	HMN	Friável/Compacto	91	2,49	5	1,93
9	IC	Compacto	91	2,09	6	2,42
9	IDO	Compacto	91	2,35	5	1,93
9	IF	Friável	91	2,18	5	1,93
9	IFR	Friável	91	2,24	5	1,93
9	IGO	Friável/Compacto	91	1,94	6	2,42
9	IMN	Friável	91	2,28	5	1,93
9	IN	Friável/Compacto	91	1,6	7	2,90
9	LT	Friável	91	1,88	6	2,42
9	QF	Friável	91	1,83	6	2,42
9	TXI	Friável/Compacto	91	1,62	7	2,90
9	GLOBAL	Friável/Compacto	91	2,24	5	1,93

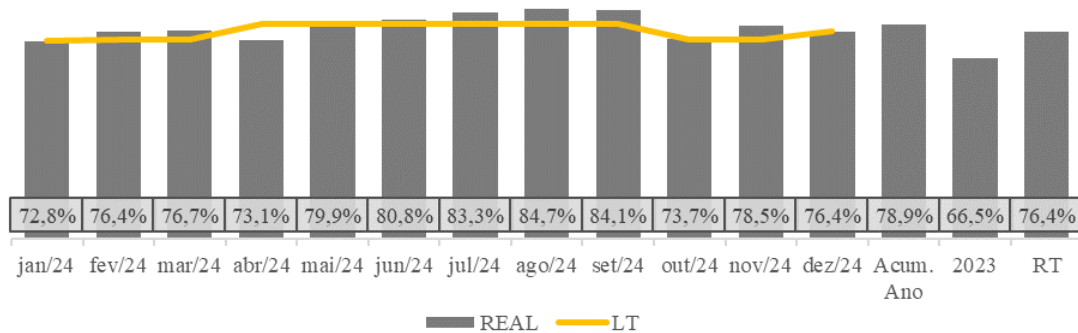
Figura 2: Resultados por condição e período em UF de transporte.



Com base nesses impactos, foi elaborado um plano de ação visando otimizar o indicador, incluindo: avaliação do revezamento de operadores, redução de ineficiências pontuais e ações junto à manutenção para melhorar a disponibilidade dos equipamentos de carga. Foram simulados cenários de revezamento de 10, 15 e 25%, considerando horas trabalhadas,

movimentação e custos, permitindo validar economicamente o benefício de aumentar o quadro de operadores. Testes realizados entre maio e setembro de 2024, com transferência de operadores entre sites, mostraram ganhos significativos, refletidos na evolução do indicador, segundo a Figura 3.

Figura 3: Evolução UF no Transporte - 2024



Esses ganhos permitiram movimentar cerca de 2 milhões de toneladas acima do previsto, superar a produção orçada e reduzir o backlog do complexo. Além disso, possibilitaram a redução de três equipamentos de transporte no último trimestre de 2024, diminuindo custos e aumentando a margem de lucro.

Ao final de 2024, o valor acumulado de UF superou em 13,3 pontos percentuais o resultado de 2023, permitindo aprovar o fator de revezamento no orçamento de 2025. As demais ineficiências estão sendo tratadas pontualmente, apresentando resultados positivos em diversos códigos na Tabela 4

Tabela 4: Evolução das perdas antes e depois do LT.

Categoria	LT	UF Antes	UF Depois
Abastecimento	0,44	0,8	1,15
Ag. Acerto de Praça	0,41	0,41	0,25
Ag. Condição de acesso	2,19	1,84	0,03
Clima/Mau tempo	3,76	2,42	0,93
Disponível para operar	2,61	2,98	0,72
Estrada Bloqueada	0,3	0,93	0,37
Falta de Operador	0	2,39	0,35
Falta Equipamento de Carga	0,63	2,34	3,36
Pausa Ergonômica	0	1,68	1,42
Ins. Operação/Limpeza	1,37	1,6	2,29
Outros	2,86	3,24	1,03
Planejamento/Definição	0	1,53	0,02
Refeição	5,4	5,26	3,06
Saúde e Segurança	0,37	1,13	0,47
Sistema Anterior	0,32	0,67	0,1
Sistema Posterior	0,53	1,65	0,72
Treinamento	0,81	1,01	0,06
Troca de Turno	1,22	1,38	0,6
Troca de Operador	0,32	0,2	1,46

Para definição da produtividade de carga se deu a partir dos valores encontrados para seus sub-kpis, que são: manobra na carga, tempo de carga, ociosidade e carga média, considerando as

particularidades de cada mina. Foram estabelecidos os valores para cada sub-kpis considerando os pares de carga e transporte, conforme Tabela 5.

Tabela 5: Comparativo RT x LT - PC2000 com CAT 777.

PC2000 x CAT 777		
	RT	LT
Passes (qnt.)	5,0	6,0
Tempo de Carga (min)	1,9	2,4
Ociosidade (min)	0,9	2,5
Carga média (t)	91,0	92,9
Manobra na Carga (min)	0,6	0,8
Produtividade (t/h)	1545,0	990,0

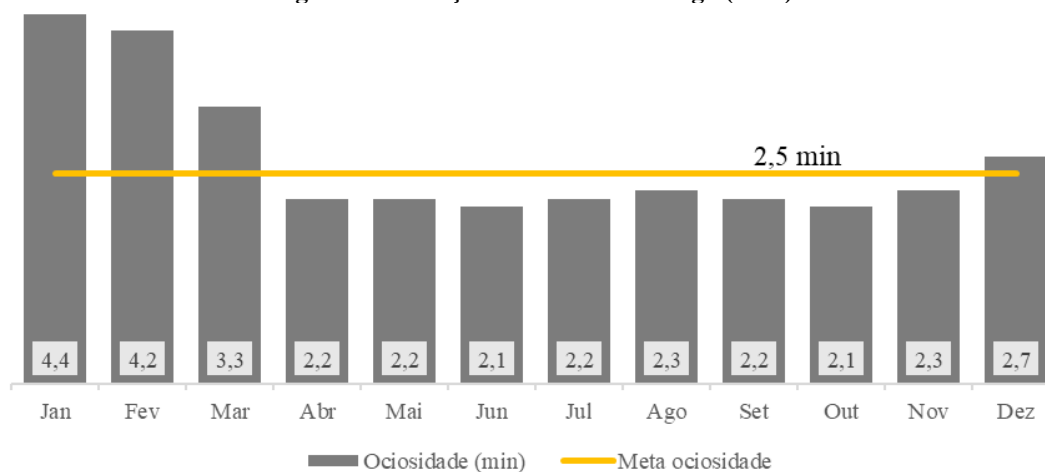
Os limites técnicos foram definidos considerando variações litológicas, geometrias de frentes e estratégias operacionais, inclusive operações com matching inadequado, para gerar números mais realistas e balizar métricas de acompanhamento das ineficiências. Com os novos valores de referência local (LT – Limite Técnico), foi realizado um diagnóstico para avaliar a situação atual e direcionar ações aos maiores ofensores. Apesar do aumento geral da ociosidade, ela continua sendo o principal fator que impacta a produtividade, seguida pelo tempo de carga.

O primeiro passo para melhorar o indicador de produtividade foi reduzir a ociosidade. Um estudo de fila ótima versus ociosidade indicou que aumentar a

fila e reduzir a ociosidade era mais eficiente, considerando que o custo horário de um equipamento de carga é maior que o de transporte. Para isso, adotou-se a lavra por batelada, viabilizada pela formação de pilhas para homogeneização. Assim, o blend que antes era feito diretamente no britador passou a ser realizado nos estoques. Os resultados foram positivos, com redução da ociosidade, aumento da fila e, conseqüentemente, maior produtividade de carga.

A ociosidade saiu de patamares de 4 minutos para valores abaixo do definido no limite técnico (2,5 minutos), aumentando levemente o tempo de fila de 1 para 2 minutos, que não comprometeu a produtividade de transporte, conforme Figura 4.

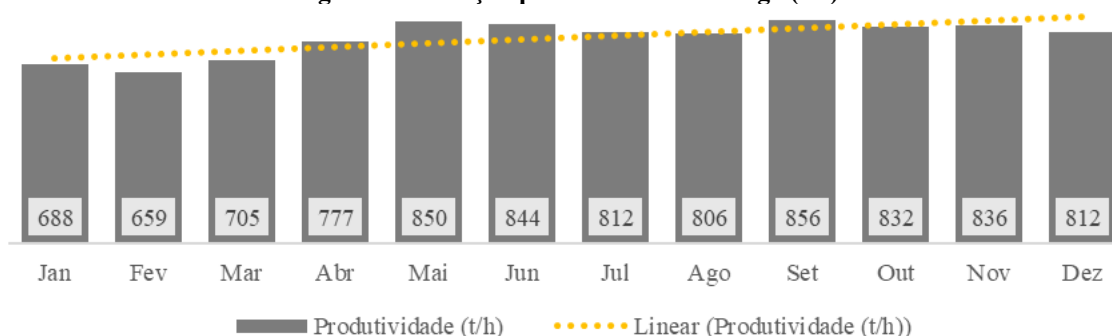
Figura 4: Evolução ociosidade de carga (min.).



A redução da ociosidade resultou em aumento imediato e contínuo da produtividade, passando de cerca de 700 t/h para mais de 800 t/h, conforme Figura 5. Os próximos passos incluem avaliar a produtividade de cada equipamento isoladamente e redirecionar ações para os novos ofensores

identificados. Esse ganho de produtividade foi essencial para atender ao aumento de movimentação decorrente da melhoria na UF de transporte, gerando resultados significativos para o site, com aumento de margem e competitividade.

Figura 5: Evolução produtividade de carga (t/h).



CONCLUSÕES

Este trabalho estabeleceu a metodologia para definição dos Limites Técnicos (LT) de Utilização Física e Produtividade de Carga a partir dos sub-KPIs do indicador, permitindo que as operações concentrem esforços na redução de ineficiências dentro das possibilidades reais de cada mina.

Com a metodologia, foram calculados os valores de Utilização Física de Transporte, considerando perdas por código de parada para as três minas do Complexo Paraopeba. Na mina de Capão Xavier, os trabalhos já iniciados resultaram em ganho de 13 pontos percentuais na UF acumulada no ano, equivalente a aproximadamente 2 milhões de toneladas a mais movimentadas.

O Limite Técnico de Produtividade de Carga também foi calculado para cada par de equipamentos de carga e transporte, possibilitando identificar os principais ofensores do indicador. O primeiro foco foi a redução da ociosidade, principal fator de perda na frota, resultando em ganho de produtividade de cerca de 100 t/h.

Em geral, os Limites Técnicos se mostram mais efetivos que as Referências Técnicas para direcionar esforços operacionais, tratando de forma realista as características e restrições de cada mina e fornecendo uma referência local atingível de forma eficiente.

BIBLIOGRAFIA

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). Normas Reguladoras de Mineração – NRM. Brasília: DNPM, 2001.

CAMUS, J. P. Open Pit Mine Planning and Design: Fundamentals. 2. ed. New York: Springer, 2019.

COSTA, M. A. Métodos de Lavra a Céu Aberto. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2015.

COUTINHO, R. L. Gestão de Indicadores Operacionais na Mineração. Ouro Preto: UFOP, 2017.

CHAVES, A. P. Tratamento de Minérios. 6. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2020.

HARTMAN, H. L.; MUTMANSKY, J. M. Introductory Mining Engineering. 2. ed. Hoboken: Wiley, 2002.

HUSTRULID, W.; KUCHTA, M.; MARTIN, R. K. Open Pit Mine Planning and Design. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2013.

NADER, J. R.; TOMI, G.; PASSOS, E. Indicadores de desempenho aplicados à mineração. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, v. 65, n. 1, p. 121-129, 2012.

NUNES, A. C. Avaliação de KPIs na Indústria Mineral. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

PEREIRA, F. S. Equipamentos de Carga e Transporte na Mineração. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

PIANA, J. Competitividade Empresarial: conceitos e práticas. São Paulo: Atlas, 2012.

QUEVEDO, C. Custos Operacionais na Mineração: estudo de caso. Revista Rem: Engenharia de Minas, Ouro Preto, v. 62, n. 2, p. 245-252, 2009.

RICARDO, A. L.; CATALANI, R. Equipamentos de Mineração: Escavadeiras e Pás Carregadeiras. Revista Brasil Mineral, São Paulo, n. 263, p. 34-40, 2007.

SACHS, L. KPIs na Mineração Brasileira: um estudo exploratório. Belo Horizonte: CETEM/MCT, 2009.

SILVA, D. R. Gestão Estratégica de Indicadores na Mineração. Revista Gestão & Produção, São Carlos, v. 27, n. 4, p. 1-14, 2020.

SILVA, J. P. Transporte por Caminhões Fora de Estrada em Mineração a Céu Aberto. Ouro Preto: UFOP, 2016.

WORLD BANK. Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition. Washington, DC: World Bank, 2020.

Artículo recibido en: 07.10.2025

Artículo aceptado: 23.10.2025