

CONTROLES DE CALIBRAGEM E BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO PARA A REDUÇÃO DO CUSTO DE PNEUS EM CAMINHÕES FORA-DE-ESTRADA¹

Thaís Janine Oliveira
Philippe Innecco Rosa
Anna Luiza Marques Ayres da Silva²

RESUMO

A gestão de pneus envolve uma operação em que muitas variáveis têm que ser medidas e controladas. Medir, gerir e controlar a utilização dos pneus implica dialogar com atividades e áreas que nem sempre estão em sintonia: operação, manutenção e gestão de pessoas. Através do estudo de caso na Mina de Vazante, foi avaliado o impacto que um conjunto de medidas de gestão de pneus, como manutenção de pistas, controle da carga transportada, monitoramento automatizado de pressão, redução da velocidade máxima para tráfego na mina, frequência da calibragem de pneus, e gestão de equipe teria na redução de custos. Após implantar estas ações, observou-se uma melhora significativa nos indicadores de disponibilidade e utilização dos caminhões, além da redução de custos com pneus em 21,5 % no período analisado, sem impacto na produção mensal. Tais práticas, pouco dispendiosas, eficientes e muitas vezes negligenciadas nas minas, também contribuem a minimização de seus impactos ambientais e podem ser adotadas por outros empreendimentos que utilizam caminhões fora-de-estrada como equipamentos de transporte.

Palavras-chave: Mineração. Disponibilidade. Pneus. Custos. Calibração.

CALIBRATION CONTROLS AND GOOD MINING PRACTICES FOR REDUCING THE COST OF TIRES IN OFF-ROAD TRUCKS

ABSTRACT

Tire management involves an operation in which many variables have to be measured and controlled. Measuring, managing, and controlling the use of tires implies interacting with activities and areas that are not always in harmony: operation, maintenance, and people management. Through the case study at the Vazante mine, the impact that a set of tire management measures, such as lane maintenance, control of transported cargo, automated pressure monitoring, reduction of maximum speed for traffic in the mine, frequency of calibration of tires, and team management would have on cost reduction. After implementing these actions, a significant improvement was observed in the indicators of availability and utilization of trucks, in addition to a reduction in tire costs by 21.5 % in the analyzed period, with no impact on monthly production. Such practices, inexpensive, efficient, and often

^{1 1} **Como citar este trabalho:** OLIVEIRA, T. J.; ROSA, F. I.; SILVA, A. L. M. A. Controles de calibragem e boas práticas na mineração para a redução do custo de pneus em caminhões fora-de-estrada. **ForScience**, Formiga, v. 10, n. 2, e01196, jul./dez. 2022. DOI: [10.29069/forscience.2022v10n2.e1196](https://doi.org/10.29069/forscience.2022v10n2.e1196).

² **Autor correspondente:** Ana Luiza Marques Ayres da Silva: e-mail: alayres@usp.br.

neglected in mines, also contribute to minimizing their environmental impacts and can be adopted by other enterprises that use off-road trucks as transport equipment as well.

Keywords: Mining. Availability. Tires. Costs. Calibration.

1 INTRODUÇÃO

A redução de custos é importante para qualquer empresa, ainda mais no momento que o mercado mundial vive, em que é necessário desenvolver e aperfeiçoar as ferramentas e métodos para alcançar os melhores resultados. No setor mineral não é diferente, a redução de custos em conjunto com o aumento da produtividade traz lucros para o empreendimento. De acordo com Bagherpour (2007), o setor mineral “sofre” com os recorrentes aumentos dos custos de capital e operacionais. Isso faz com que ações que visem reduzir esses custos, principalmente associados a operações mais produtivas, sejam importantes para a saúde do negócio (SILVA *et al.*, 2017). No setor mineral, para garantir a produção é necessário um conjunto de operações até o beneficiamento do minério, chamadas de operações unitárias. Faz tempo que se sabe que uma parte expressiva dos custos da organização são decorrentes das operações unitárias de lavra e desenvolvimento e que os custos dos caminhões de transporte representam um componente significativo no custo operacional total de uma mina (BONATES, 1996). De acordo com Bagherpour (2007) *apud* Silva *et al.* (2017), o ciclo de transporte, responsável por garantir que o material extraído da mina chegue até diferentes pontos de descarga, alcança 70 % dos custos operacionais de uma mina à céu aberto, seguida das atividades de desmonte de rochas e carregamento, as quais representam 12 % e 10 %, respectivamente. Esse custo está relacionado ao preço elevado dos insumos e peças que os caminhões necessitam, como diesel, pneus, componentes mecânicos e o custo de mão de obra na manutenção desses equipamentos. Assim, para uma produção com menor custo é preciso o controle do processo em todas as suas etapas, desde a lavra até a expedição do concentrado.

O transporte de material utilizando caminhões fora-de-estrada ou articulados é o método mais tradicionalmente usado na maioria das minas a céu aberto ou subterrâneas de grande porte para o transporte de toneladas de minério e estéril até os pontos de descarga. Esses caminhões apresentam vantagens aos tradicionais por operarem bem em condições de terreno irregular, proporcionando ciclos rápidos e uma boa vida útil, porém apresentam um elevado custo de manutenção, devido aos números de falhas altos e ao valor de seus componentes (LEAL; ANDRADE, 2018). O gasto com os pneus da frota de veículos ajuda a

tornar esse custo mais alto, representando uma lacuna relevante na receita da empresa quando não controlado de forma efetiva.

Segundo Amorim *et al.* (2011a), é possível afirmar que numa frota de veículos, os pneus são um dos elementos que mais interfere no aumento dos custos, embora os dados variem de uma fonte para outra, eles respondem por cerca de 20 % a 30 % dos custos operacionais. Livato e Souza (2010) afirmam que, aproximadamente, 18,7 % do custo operacional de uma frota de caminhões, por exemplo, estão relacionados aos gastos com pneus, perdendo apenas para os custos com combustível (cerca de 34,4 %).

Além disso, a redução da vida útil dos pneus favorece o aumento do seu descarte como resíduo. Embora existam atualmente técnicas eficientes para a reforma ou o conserto de pneus fora-de-estrada, em muitas situações essas intervenções são inviáveis, como por exemplo, quando o desgaste excede uma determinada espessura, comprometendo a carcaça (AMORIM *et al.*, 2011b). De acordo com Silva Neto *et al.* (2021) os resíduos de pneus ainda são globalmente um sério problema ambiental, sendo todos os anos, descartados quase 1 bilhão de pneus e apenas 50 % deles reciclados.

Assim, baseado na representatividade dos custos de pneus e seu potencial impacto ambiental como resíduo, é preciso aplicar controles com a finalidade de aumentar a vida útil destes ativos, realizando as manutenções e monitoramentos necessários para maximização da sua performance. Portanto, deve ser um foco de atenção de todos os gestores, quando estiverem elaborando um planejamento estratégico que vislumbre redução e corte de custos (AMORIM *et al.*, 2011a), ou até a minimização dos impactos ambientais relacionados ao empreendimento.

2 DESENVOLVIMENTO

Este trabalho foi realizado na Mina de Vazante, que atua na extração de minério de zinco no município de Vazante, no estado de Minas Gerais. Nesse trabalho foram utilizados caminhões articulados Volvo A30G e pneus fora-de-estrada 23.50 ARO 25POL. A mina conta com 16 unidades de caminhões para a produção de mais de 1.2 Mton de minério anualmente e, para movimentação do estéril.

Durante o ano de 2018, os custos relativos a pneus aumentaram. Junto a isso, os registros de acidentes envolvendo a falha prematura desse ativo se intensificaram. Diante desse cenário, a equipe de Operações de Mina realizou um estudo para identificar as causas que poderiam estar associadas à equipe de motoristas de A30G ou às condições da mina, uma

vez que o ambiente da Mina de Vazante tem a presença constante de água no piso, que além de erodir as pistas com maior velocidade, contribui para o rasgo de pneus. Após essa etapa, foi elaborado um plano de ação para a adoção de um conjunto de novas medidas referentes à gestão de pneus. Por fim, buscou-se medir seus alcances pelos principais indicadores, como a disponibilidade física, a utilização global, as horas produtivas e improdutivas, a produtividade efetiva e o custo de pneus.

2.1 Conscientização dos operadores e condições de pistas e praças

O início do programa de redução de custos com pneus consistiu na etapa de busca de informações com a equipe operacional e, na sequência, na sua conscientização. Essa busca de informações se baseou em ouvir as percepções e as possíveis soluções vislumbradas por aqueles que estão no centro da atividade e, que são os operadores da frota. Era de suma importância que todos entendessem o problema e, estivessem envolvidos no processo. Um problema frequente reportado pela equipe era a má condição das praças de serviço e vias de acesso.

Para evitar o risco de cortes e outros danos nos pneus, as vias e praças de serviço devem estar livres de blocos e matacões. Assim, a coleta de materiais nas pistas foi tratada com toda a equipe de operação de minas e, orientada às equipes das demais áreas que acessavam a mina, sobre a importância de se retirar todo material encontrado durante o trajeto ou visita ao subsolo e que pudesse provocar os cortes de pneus, como tirantes, ponta de cabos, ferramental da equipagem, rochas, vergalhões e outros. Realizou-se uma campanha, em que eles eram motivados a compartilhar os materiais que recolhiam durante o turno e, eram reconhecidos por isso, a fim de gerar hábitos positivos, praticando o “senso de dono” e o “ver e agir” da equipe (Figura 1).



Figura 1- Campanha de conscientização com a equipe que acessa a mina
Fonte: Autores (2022).

Para uma condição adequada da pista é preciso a sua manutenção periódica e a ausência de materiais. A manutenção da superfície das estradas é muito importante para garantir a velocidade de transporte e reduzir os danos aos pneus. A pista deve ser nivelada, seca, firme, lisa e com boa drenagem para que não se acumule água provocando erosões. Como a mina em estudo encontra-se em uma região com elevados volumes de água, essa manutenção necessita ocorrer em uma frequência maior quando comparado a uma mina seca. A água causa a erosão das pistas, gerando ondulações. Essas ondulações podem provocar uma sobrecarga dinâmica nos pneus, levando-os ao desgaste prematuro.

2.2 Limites de carga e velocidade

A condução dos equipamentos de forma adequada é um fator que interfere na durabilidade dos pneus. Os motoristas de caminhões fora-de-estrada foram treinados para a utilização correta dos caminhões, para evitar as freadas bruscas, responsáveis pelo desgaste acelerado da banda de rodagem e por patinagens. Também receberam treinamento para não realizar curvas em alta velocidade (aquecimento dos pneus), dirigir com atenção e cuidado, evitar a condução do caminhão próximo às canaletas devido ao risco de cortes e avarias, entre outros fatores que permitem o desgaste prematuro dos pneus e que foram tratados com os operadores.

Em conjunto, iniciou-se o controle dos limites de carga estabelecidos pelo fabricante. O excesso de carga ocasiona um superaquecimento dos pneus e uma fadiga prematura das carcaças, diminuindo o rendimento e influenciando diretamente no índice de TPKH (tonelada por quilômetro/hora) (AMORIM *et al.*, 2011a), uma característica da capacidade de trabalho de um pneu, que representa a carga máxima recomendada que o pneu pode transportar a uma determinada velocidade. Para a gestão de cargas, a mineradora segue a política 10/10/20 da Caterpillar (CATERPILLAR, 2012) (Figura 2).

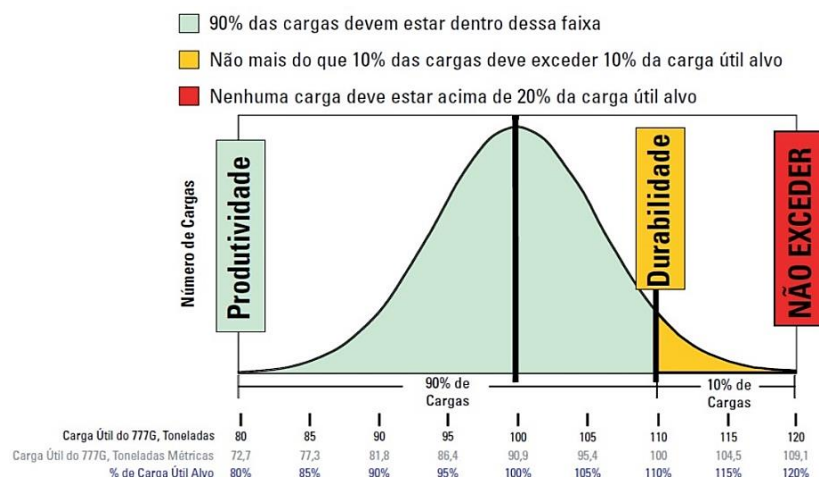


Figura 2 - Política de carga útil 10/10/20

Fonte: Caterpillar (2012).

Segundo a Caterpillar (2012), recomenda-se que 110 % das cargas úteis ocorram não mais que 10 % do tempo e que a média de todas as cargas seja igual à carga útil nominal. A carga útil nunca deve exceder 120 % da nominal. Uma sobrecarga de 20 %, por exemplo, reduz o rendimento do pneu em 30 % nas aplicações de transporte de carga.

Realizou-se o controle dessas cargas durante todo o ano de 2019 a fim de gerenciar e por consequência reduzir o sobrepeso recorrente, principalmente o acima a 20 % da carga útil. As ações para garantir esse controle foram:

- Garantir o bom funcionamento das balanças instaladas na entrada da mina subterrânea (Figura 3).
- Limpeza periódica das balanças, impedindo a acumulação de material sobre sua superfície.
- Cronograma para atualização da tara dos caminhões quinzenalmente (antes não havia controle desse item).
- Garantia do uso do transponder (*tag* de identificação dos caminhões nas balanças) em 100 % da frota.



Figura 3 - a) Balança localizada na saída de uma das rampas da mina subterrânea, b) Transponder utilizado na comunicação entre os caminhões e as balanças

Fonte: Autores (2022).

Com relação à velocidade, o operador não pode exceder à velocidade máxima determinada pelos fabricantes, sob pena de impactar o índice TPKH. Veloso (2015) explica que a condução do veículo em alta velocidade causa flexão excessiva da carcaça, o aquecimento acima do limite especificado dos pneus do caminhão e o desgaste acelerado, diminuindo a sua vida útil. Além disso, fazer curvas em alta velocidade força o arraste dos pneus e ainda causa um desgaste maior até nos ombros do motorista que conduz. Observou-se que a adoção de uma velocidade menor na mina, traria menos danos aos pneus, assim ela foi reduzida de 30 km h⁻¹ para 20 km h⁻¹ (Figura 4), o que auxiliou na identificação das irregularidades das pistas e no cuidado com o equipamento.

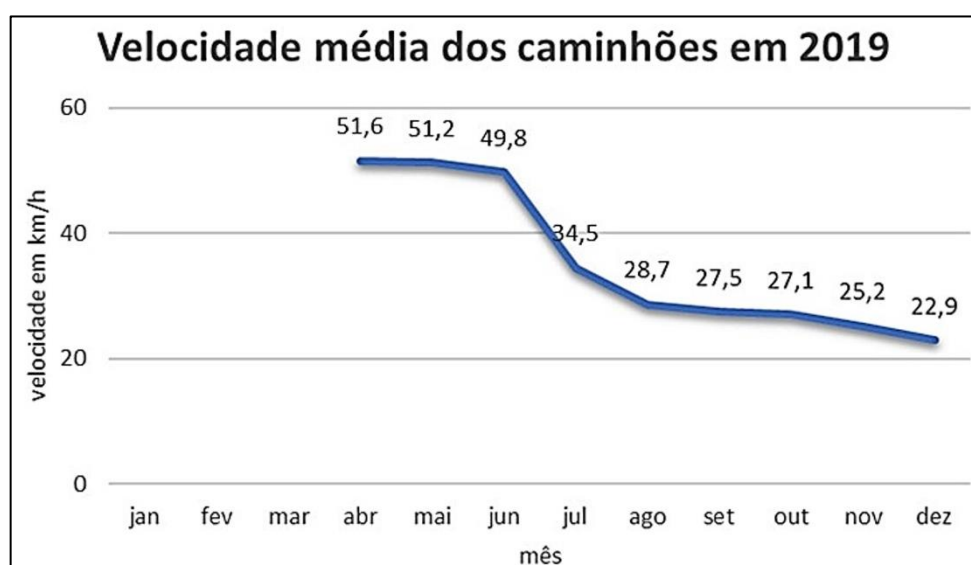


Figura 2- Evolução das velocidades médias praticadas na mina em 2019
Fonte: Autores (2022).

2.3 Calibração de pneus

O último ponto de gerenciamento e, não menos importante, é a questão da calibração. Vale ressaltar que pneus vazios podem causar diversos problemas que podem levar à insegurança; consumo extra de combustível; desgaste excessivo dos pneus; redução da vida útil dos pneus; maior resistência ao rolamento; emissões de ruído e aumento das emissões de CO₂ (KUBBA; JIANG, 2014). Assim, na elaboração do plano de ação para gerenciamento dos custos de pneus, a questão da calibração chamou a atenção, sobretudo pelo fato de não estar sendo realizada conforme a necessidade dos pneus, ou seja, os pneus estavam rodando com a pressão incorreta.

De acordo com Kubba e Jiang (2014) a manutenção dos níveis de pressão dos pneus é particularmente vital para evitar acidentes e desperdício de combustível quando os níveis de pressão de ar dos pneus estão defeituosos; o que contribui, portanto, para a redução das emissões de carbono.

A falta de um cronograma de calibragem transferia ao operador a responsabilidade de fazer a aferição dos pneus. Os operadores, por sua vez, se esqueciam de fazer a checagem, ou muitas vezes, se deparavam com a borracharia cheia ou fechada. Isso porque a borracharia funciona em horário administrativo, diferente da mina que possui o regime por turnos. E, a demanda da borracharia agregava a manutenção dos pneus de todas as frotas da mina, o que tornava o processo de calibragem demorado, causando perda de produtividade para os caminhões.

Para orientar os operadores sobre o momento certo de realizar a calibragem, foi instalado em todos os caminhões o TPMS, do inglês *Tire Pressure Monitoring System*. O TPMS é um dispositivo eletrônico pelo qual vários parâmetros dos pneus, como pressão, temperatura do ar da cavidade, carga, força de tração, aceleração, desgaste dos pneus, entre outros, são medidos. Caso houver alguma condição insegura em qualquer um dos valores medidos, por exemplo, baixa pressão de inflação, o motorista do veículo é notificado. Esse dispositivo é composto por sensores de pressão e temperatura. Esse sensor é instalado no bico do pneu e além de mostrar a carga, também alerta quando ela está fora do mínimo recomendado em tempo real.

Dessa maneira, concluiu-se que rodar com a pressão abaixo do que é recomendado pelo fabricante era uma das situações mais corriqueiras que ocorriam na mina, colocando o operador em risco e trazendo danos aos ativos (perda dos pneus e necessidade de manutenção no equipamento), como mostra o reporte de falha emitido pela equipe de manutenção na Figura 5.



Figura 3 - Exemplo do relato de acidentes com pneus realizado pela equipe de manutenção
 Fonte: Autores (2022).

A pressão baixa nos pneus causa maior fadiga da carcaça, gerando desgaste prematuro, e na maioria das vezes, impossibilitando até mesmo a recapagem. Por outro lado, a pressão alta diminui aderência do pneu ao chão, o que resulta em patinagens. Em ambos os casos a segurança da operação é comprometida. De acordo com Craighead (1997) uma redução de 20 % na pressão recomendada dos pneus resulta em uma diminuição de aproximadamente 30 a 40 % na vida útil dos pneus. Segundo Amorim *et al.* (2011a), uma sobrepressão de 20 % resulta em perda de 15 % no rendimento do pneu.

Como ação, criou-se um pátio de calibração (Figura 6), exclusivo para o uso dos caminhões, que proporcionasse ao operador autonomia para realizar essa atividade, com todos os procedimentos de segurança e riscos conhecidos. Esse pátio foi construído próximo à área da manutenção, numa parte que ficavam veículos de descarte. O local foi reestruturado para receber o novo projeto, composto por duas baias, e com funcionamento de 24 horas por dia.

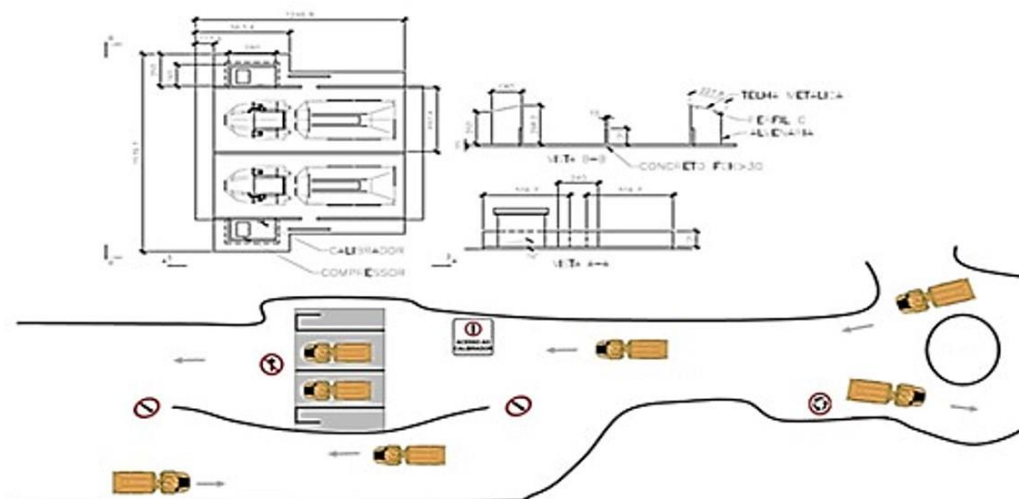


Figura 4 - Croqui para construção do pátio de calibração
Fonte: Autores (2022).

Como a sobrepressão e a subpressão comprometem a durabilidade dos pneus, é recomendado o monitoramento da pressão de operação em períodos pré-estabelecidos. Assim, foi feito adicionalmente um cronograma semanal, em que obrigatoriamente, o caminhão tem que se dirigir ao pátio de calibração duas vezes por semana, para aferir todos os pneus, na pressão de 70 bar. Além dessa obrigatoriedade semanal, o operador é livre para se dirigir sempre que houver necessidade. Normalmente a calibragem é feita no final dos turnos, nos quais não há sobreposição de turnos (“banco quente”) e, os caminhões são alocados durante cada dia da semana, de forma que não se façam filas nos boxes, evitando impactos na produtividade.

Para execução da atividade de calibração, todos os operadores de caminhão foram treinados para o procedimento (Figura 7). Durante a calibração, o operador tem um lugar

específico para aguardar o final da inflagem de cada pneu, evitando que em caso de estouro ele esteja no raio de ação, seguindo assim todos os procedimentos de segurança que garantam sua integridade. Vale ressaltar, que por ser uma nova tarefa e uma nova rotina, a parte de gerenciamento e conscientização da equipe tem que ser diária. Os resultados têm que ser compartilhados, as atividades têm que ser monitoradas para garantir que ocorram adequadamente.



Figura 5: Treinamento e capacitação da equipe operacional na atividade de calibração
Fonte: Autores (2022).

Após fornecer à equipe condições para realizar a atividade de calibração, os danos de pneus começaram a ser categorizados como acidentes materiais, já que anteriormente o operador não precisava passar por uma análise de acidentes para justificar essas perdas. A equipe de manutenção apenas emitia um reporte de falha como mostrado na Figura 5.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os caminhões utilizados no transporte de minério na empresa possuem 28 toneladas de capacidade de carga útil. Com dados internos de pesagem, analisaram-se os resultados das cargas dentro da política 10/10/20. A Figura 8 representa a porcentagem das pesagens que são menores que 110 % da carga útil alvo do caminhão (<30,8 toneladas), aquelas que estão entre

110 e 120 % da carga útil alvo (30,8 a 33,6 toneladas) e as que são superiores a 120 % da carga útil alvo (>33,6 toneladas). As ações visando o controle de sobrecarga iniciaram em julho de 2019 e, pelo comportamento da linha de tendência em conjunto com as equações de regressão, tem-se o aumento do percentual de pesagens menor que 30,8 toneladas a partir do segundo semestre de 2019, juntamente com uma diminuição do percentual de pesagens acima de 33,6 toneladas (120 % da carga útil alvo de 28 toneladas). Já, o percentual de pesagens entre 30,8 e 33,6 toneladas manteve uma tendência constante ao longo do ano.

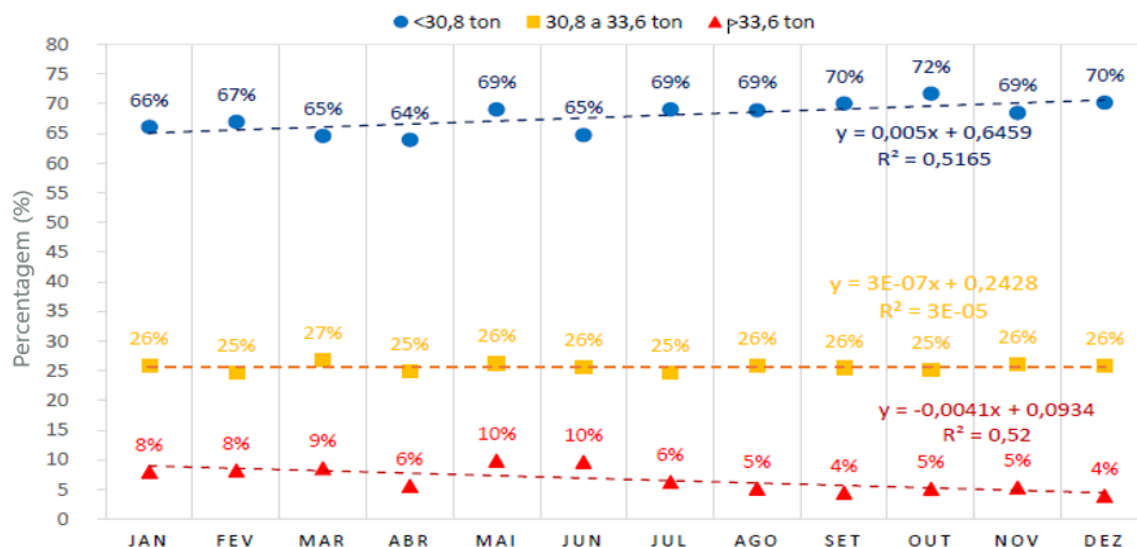


Figura 6 - Percentuais das pesagens médias mensais dentro da política 10/10/20 para caminhões com carga útil de 28 toneladas
 Fonte: Autores (2022).

Na parte de custos, em 2018 foi gasto R\$ 2,9 milhões com pneus de caminhões Volvo A30G. Para o ano de 2019, o orçamento era de R\$3,2 milhões, e no mês de junho, havia uma previsão de estourar esse orçamento e os gastos serem totalizados em cerca de R\$3,4 milhões com base na tendência linear (equação 1) apresentada na Figura 9.

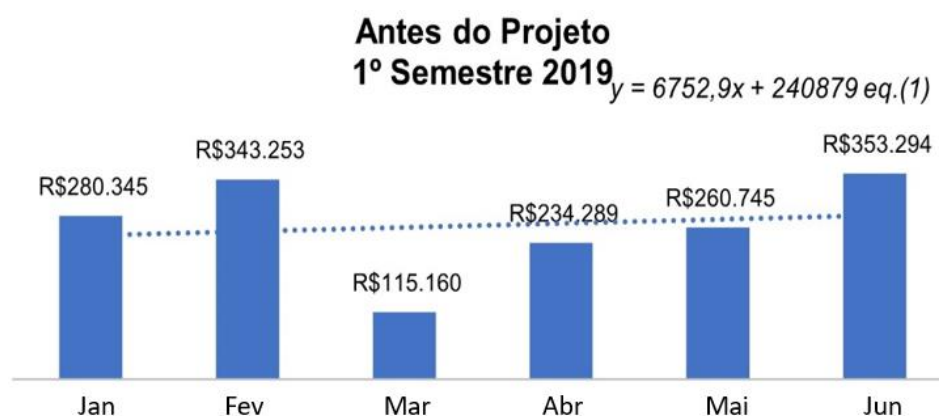


Figura 7 - Gastos com Pneus de A30G entre jan/2019 e jun/2019
 Fonte: Autores (2022).

Após a implementação das ações discutidas nesse estudo de caso, observou-se a diminuição dos custos. A Figura 10 traz os resultados do segundo semestre de 2019, que mostra uma linha de tendência descendente (equação 2).

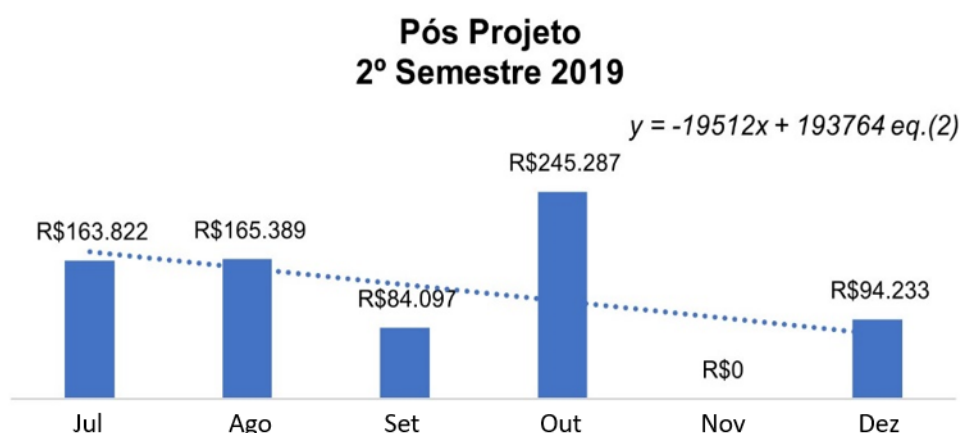


Figura 8 - Gastos com Pneus de A30G entre jul-19 e dez-19
Fonte: Autores (2022).

Analisando a Figura 11, tem-se os custos ao longo dos meses nos anos de 2019 e 2020. Observa-se uma leve oscilação entre um mês e outro no ano. Isso se deve a data em que os pedidos são feitos, faturados e pagos, que podem ocorrer em meses distintos.

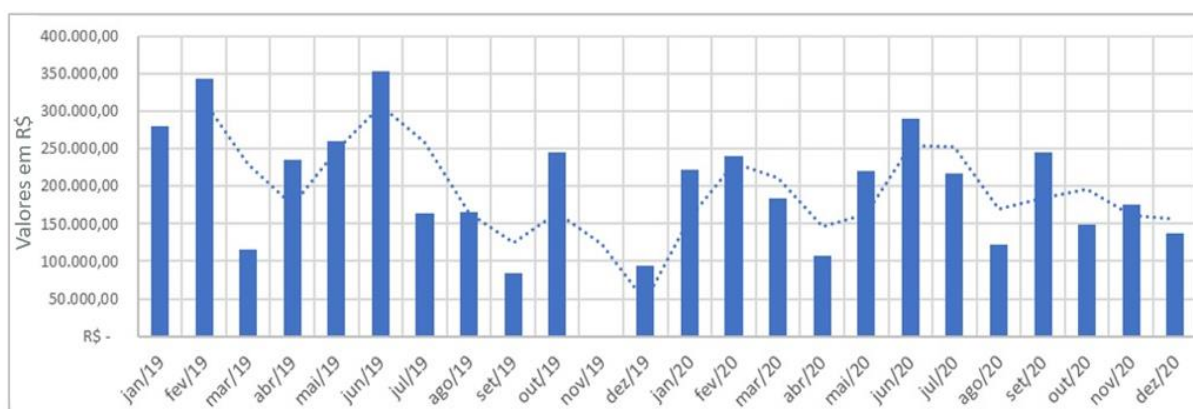


Figura 9 - Custo mensal com pneus no período de 2019 – 2020
Fonte: Autores (2022).

Observando o resultado últimos 3 anos, vemos que a tendência negativa dos custos se mantém (Figura 12).

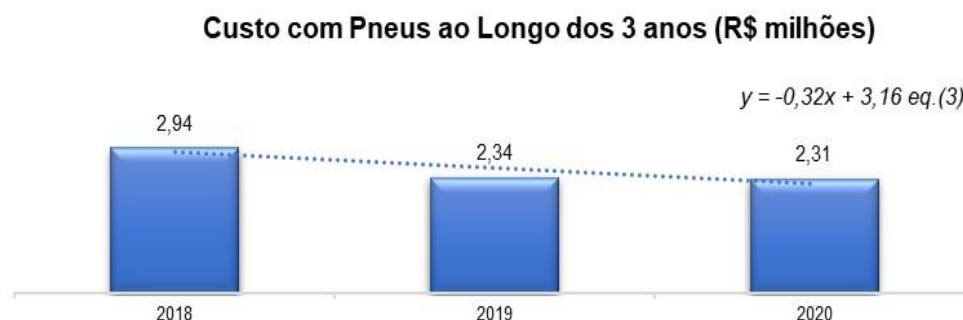


Figura 10 - Comparativo dos gastos com pneus de A30 nos anos 2018, 2019 e 2020
Fonte: Autores (2022).

Entre 2018 e 2019 houve uma redução de 20,4 % nos custos de pneus, e de 21,5 % entre 2018 e 2020 (Tabela 1). Já o comparativo entre 2019 e 2020 não apresentou grandes ganhos, muito se deve ao fato de as frentes de lavras estarem em sua maior parte localizadas nos níveis mais profundos, quando comparado a 2018, ocasionando uma maior DMT (distância média de transporte). Em conjunto, houve o acréscimo de 2 caminhões à frota, logo maior necessidade de consumo de pneus.

Tabela 1: Percentual de redução de custos realizado entre os anos

Ano	Ganhos entre os anos	Ganho total do projeto
2018		
2019	20,4%	21,5%
2020	1,4%	

Fonte: Autores (2022).

Outro ponto importante é que no ano de 2018 a mina em questão trabalhavam com 3 turnos, que gerava uma hora trabalhada diária de caminhão de 12 ht dia⁻¹, a partir de outubro de 2018 foi implementado um novo turno, fazendo a hora trabalhada subir para 15,3 ht dia⁻¹ (Figura 13).



Figura 11 - Resultados da Implementação do 4º. turno no aumento de horas trabalhadas
Fonte: Autores (2022).

Somado a isso, houve o aumento do ROM (*run of mine*), resultando em uma massa transportada maior. Ou seja, mesmos com esses pontos que tenderiam a diminuir a produtividade e a aumentar os custos, o custo em reais por tonelada (R\$/t) foi menor ao longo desses 3 anos, com uma redução de 30,5 % (Tabela 2) comparando 2018 com 2020, mostrando como uma boa gestão desse componente pode trazer ganhos significativos ao negócio.

Tabela 2: Indicador de performance de R\$/t nos anos de 2018, 2019 e 2020

Ano	Custo com Pneus	ROM	Índice (R\$/ton)	Ganhos entre os anos	Ganho total do projeto
2018	R\$ 2,94 Mton	1.36 Mton	2.16 R\$/ton	24,7%	30,5%
2019	R\$ 2,34 Mton	1.44 Mton	1.63 R\$/ton	7,7%	
2020	R\$ 2,31 Mton	1.54 Mton	1.50 R\$/ton		

Fonte: Autores (2022).

Por fim, analisaram-se os indicadores de performance da frota de caminhões. Além do impacto financeiro gerado pela baixa vida útil dos pneus, indicadores como disponibilidade e utilização também eram penalizados, devido à grande quantidade de parada dos caminhões para troca de pneus, este fator reduzia a produtividade dos equipamentos e sobrecarregava a manutenção. Os gráficos a seguir mostram os índices de disponibilidade e utilização (Figura 14).

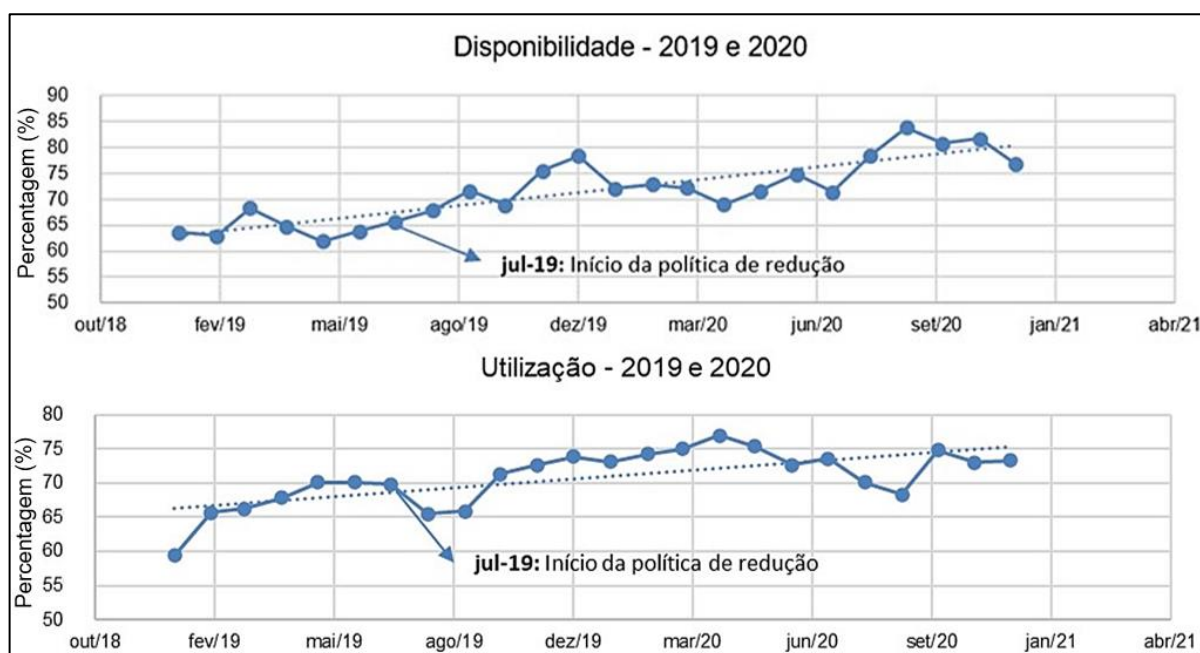


Figura 12 - Disponibilidade e Utilização ao longo de 2019 e 2020
Fonte: Autores (2022).

4 CONCLUSÕES

O estudo de caso para a redução de custos de pneus da frota de caminhões articulados obteve êxito na sua realização tornando a empresa mais competitiva. As ações de controle de redução de custo com pneus se iniciaram na empresa em julho de 2019. A construção do pátio de calibração ocorreu em agosto do mesmo ano e, foi considerado o marco inicial para as reduções esperadas. Os resultados deste processo puderam ser medidos por meio de índices operacionais, tais como a disponibilidade física, a utilização global, e pela redução de custos e a performance em reais por tonelada. Em todos esses indicadores os resultados foram positivos. No período analisado, houve uma redução dos custos anuais de pneus em 21,5 %, e o custo por tonelada movimentada caiu 30,5 %.

Ressalta-se a importância da integração de equipes multifuncionais da área de manutenção, operação e planejamento, e sobretudo o envolvimento do time operacional, para o êxito do programa.

Vale lembrar que é difícil mensurar quanto cada ação envolvida na gestão de pneus pode ter representado nesses ganhos, mas considerando todos os fatores e resultados expostos, reafirma-se a importância de uma gestão eficaz desse ativo e recomenda-se o constante monitoramento e aprimoramento da gestão deste ativo, para manter o sucesso dos resultados.

Por fim, conclui-se deste estudo realizado, que a partir da adoção de práticas de gestão de pneus simples (incluindo o adequado controle de sua calibragem), pouco dispendiosas, porém eficientes e muitas vezes negligenciadas nas minas, é possível contribuir de forma significativa para a maior lucratividade e competitividade de um empreendimento mineiro, assim como a minimização de seus impactos ambientais. Tais práticas podem, portanto, ser de grande valia em outras minas que utilizam caminhões fora-de-estrada como equipamentos de transporte.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, J. P. K. *et al.* Cuidados que geram economia. **Revista M&T**, São Paulo, v. 5, n. 146, p. 20–28, 2011a. Disponível em: <https://revistamt.com.br/Edicoes/Visualizar?IDEdicao=146>. Acesso em: 17 mar. 2023.
- AMORIM, J. P. K. *et al.* Quando e como reformar. **Revista M&T**, São Paulo, v. 5, n. 146, p. 30–32, 2011b. Disponível em: <https://revistamt.com.br/Edicoes/Visualizar?IDEdicao=146>. Acesso em: 17 mar. 2023.
- BAGHERPOUR, R. **Technical and economical optimization of surface mining processes - Development of a data base and a program structure for the computer-based selection and dimensioning of equipment in surface mining operations**. Clausthal: Technische Universität Clausthal, 2007. Disponível em: <https://d-nb.info/986102261/34>. Acesso em: 7 set. 2022.
- BONATES, E. J. L. **Interactive truck haulage simulation program**. (L. A. Ayres de Silva, A. P. Chaves, W. T. Hennies, Eds.) Mine Planning and Equipment Selection 1996. **Anais**. São Paulo: Balkema, 22 out. 1996.
- CATERPILLAR. **Manual Caminhão Fora-de-estrada 770G**. Caterpillar, 2012.
- CRAIGHEAD, I. A. Sensing tyre pressure, damper condition and wheel balance from vibration measurements. In: PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS. **Anais[...]**. 1997. Disponível em: <http://www.theoryinpracticeengineering.com/resources/dynamics/sensing%20tire%20pressure,%20damper%20condition%20and%20wheel%20balance%20from%20vibration%20measurements.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2023.
- KUBBA, A.; JIANG, K. A Comprehensive study on technologies of tyre monitoring systems and possible energy solutions. **Sensors**, Basel, v. 14, n. 6, p. 10306–10345, 2014. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4118398/pdf/sensors-14-10306.pdf>. Acesso em: 7 set. 2022.
- LEAL, V. J.; ANDRADE, P. C. DE R. Modelagem dos dados de falha de um caminhão fora de estrada. **ForScience**, Formiga, v. 6, n. 3, p. 1–15, 2018. Disponível em: <http://forscience.ifmg.edu.br/forscience/index.php/forscience/article/view/500>. Acesso em: 7 set. 2022.

LIVATO, M.; SOUZA, A. P. M. Gestão de custos logísticos na cadeia de suprimentos: um estudo sobre o custo de transporte de cargas. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 30., São Carlos. **Anais[...]** São Carlos, 2010. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_tn_sto_113_741_15862.pdf. Acesso em: 7 set. 2022.

SILVA NETO, J. A. DA *et al.* Influência do pó de pedra e borracha de pneu inservível como agregados no concreto. **Holos**, Natal, 2021. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/9661/pdf>. Acesso em: 7 set. 2022.

SILVA, G. G. *et al.* Utilização de ferramentas de qualidade para aumento da vida útil de pneus de caminhões fora-de-estrada. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Catalão. **Anais[...]**. Catalão: UFG, 2017. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/1012/o/Gabriel_Gomes_Silva.pdf. Acesso em: 7 set. 2022.

VELOSO, N. **Gerenciamento e manutenção de equipamentos móveis**. 2 ed. São Paulo: Sobratema, 2015.

DADOS DOS AUTORES:

Thaís Janine Oliveira

E-mail: thaisjanine7@gmail.com

Curriculum Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0133579487074837>

Pós-Graduanda em Engenharia Mineral (PPGEMin - USP), especialização em Recursos Minerais pela École des Mines Nancy, especialização em Engenharia Geotécnica pela Pontifícia Católica de Minas Gerais, graduação em Engenharia de Minas pela Universidade Federal de Minas Gerais e Técnica em Química Industrial pelo Centro Federal de Educação de Minas Gerais. Atualmente é engenheira geotécnica, atuando em minas subterrâneas e em estruturas de rejeito e sedimentos. Áreas de interesse: dimensionamento e monitoramento geotécnico de escavações, análise de estabilidade e modelamentos numéricos.

Philippe Innecco Rosa

E-mail: philipeinnecco@gmail.com

Curriculum Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7182444255124647>

Mestrando em Engenharia Mineral pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, MBA em Pesquisa Operacional pela Business School Brasil, especialização em Operações Minerais pela UTEC - Peru, graduação em Engenharia de Minas pela Universidade Federal de Minas Gerais com graduação sanduiche pela University of Kentucky e Técnico em Mineração pelo Centro Federal de Educação de Minas Gerais. Atualmente é engenheiro de planejamento de longo prazo, atuando em diversas commodities e métodos de lavra. Áreas de interesse: planejamento de mina a céu aberto e subterrânea. Desenvolvimento de planos estratégicos e de longo prazo, determinação de recursos e reservas, análise de risco e estudos de trade-off.

Anna Luiza Marques Ayres da Silva

E-mail: alayres@usp.br

Curriculum Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0295257054535262>

Doutorado em Engenharia Mineral pela Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e graduação em Engenharia de Minas pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Áreas de interesse: controle ambiental e estrutural de minas subterrâneas, segurança e higiene ocupacional. Atualmente, é docente do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Universidade de São Paulo, na especialidade "Lavra de Minas".