

FERNANDO PEREIRA DA MATA

**ESTUDO DE PRODUTIVIDADE E CUSTO OPERACIONAL DE
CAMINHÕES DE TRANSPORTE DE MINÉRIO EM UMA PEDREIRA
NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO**

São Paulo

2021

FERNANDO PEREIRA DA MATA

**ESTUDO DE PRODUTIVIDADE E CUSTO OPERACIONAL DE
CAMINHÕES DE TRANSPORTE DE MINÉRIO EM UMA PEDREIRA
NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO**

Trabalho de formatura em Engenharia de Minas do curso de graduação do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Giorgio Francesco Cesare de Tomi

São Paulo

2021

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-publicação

Pereira da Mata, Fernando

ESTUDO DE PRODUTIVIDADE E CUSTO OPERACIONAL DE CAMINHÕES DE TRANSPORTE DE MINÉRIO EM UMA PEDREIRA NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO / F. Pereira da Mata -- São Paulo, 2021.

39 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo.

1.Caminhões 2.Transporte em Minas 3.Produtividade 4.Economia Mineral 5.Mineração a céu aberto I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo II.t.

Agradecimentos

Agradeço aos meus familiares e amigos, que tanto me auxiliaram e ajudaram na chegada até aqui.

Agradeço à Escola Politécnica da USP e seu corpo docente pelas oportunidades de aprendizado e crescimento. Agradeço em especial ao meu orientador, Prof. Dr. Giorgio Francesco Cesare de Tomi, pelo acompanhamento neste trabalho.

Agradeço à Embu S A Engenharia e Comércio pela oportunidade de desenvolver este trabalho em conjunto com o estágio em engenharia de minas, e agradeço em especial ao Engenheiro Renato Iwamoto Ferreira por todo o acompanhamento no desenvolvimento deste estudo.

Resumo

O custo operacional da frota de transporte de minérios é um importante fator em minerações de pequeno e médio porte, como pedreiras, portanto a redução dos custos operacionais destes equipamentos é essencial para esses empreendimentos. A pedreira objeto deste estudo, localizada na região metropolitana de São Paulo, opera com uma frota constituída por diferentes fabricantes e modelos de caminhões, de diferentes idades de operação, e a coleta e organização dos dados de uma frota deste tipo é um desafio. Como parte da cadeia de agregados para construção civil, sua produção depende e é atrelada à demanda do mercado e por isso os equipamentos devem ser dimensionados para atender produtividades muito variáveis no tempo.

Para o gerenciamento dos custos gerais da frota, é essencial o controle da produtividade e seus custos envolvidos. Este trabalho busca comparar os veículos da frota entre si, nas condições atuais de operação, verificando produtividade e custos operacionais, através da coleta de dados referentes à produção mensal e custos, já disponíveis nos controles internos da empresa, e aos tempos de ciclo na operação.

Verificou-se a partir da análise desses dados, que os modelos mais novos e de maior capacidade apresentam produtividade maior e custos operacionais mais baixos, apesar de apresentarem margens grandes de melhora da produtividade devido a perdas de tempo por esperas no ciclo.

Palavras-chave: Caminhões, transporte de minério, produtividade de equipamento, custo operacional, mineração.

Abstract

The operational cost of an ore transportation fleet is an important factor in small and medium sized mining operations, including quarries, therefore reducing the operational costs of these equipments is central for these companies. The subject of this study, a quarry in the metropolitan region of São Paulo, operates with a fleet composed of different makers and models of trucks, of different operational ages, and the gathering and organization of data from a fleet such as this is a challenge. As a part of the construction aggregates chain, its production is dependent on the market demand and as such its equipments must be chosen to comply to varying productivities over time.

To manage overall fleet costs, controlling productivity and its costs is essential. This study compares the vehicles from the fleet over current operational conditions, checking it's productivities and operational costs through the gathering of data from monthly ore haulage and costs, available from internal controls from the company, and cycle times on the operation.

From the analysis of these informations, the newer and higher capacity model shows a higher productivity and lower operational costs, in spite of also showing a larger possible margin of improvement through the reduction of wasted time in the operational cycle.

Key-words: Trucks, ore haulage, equipment productivity, operational costs, mining.

Lista de Ilustrações

Figura 1 - Folha para registro de tempos de ciclo.....	15
--	----

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Frota de caminhões da pedreira Itapeti	8
Tabela 2 - Características dos caminhões	17
Tabela 3 - Dados de consumo de 2021	20
Tabela 4 - Consumo médio por modelo.....	21
Tabela 5 - Médias dos tempos de ciclos e suas partes	21
Tabela 6 - Tempos em espera por ciclo por veículo.....	22
Tabela 7 - Tempos de ciclo.....	23
Tabela 8 - Produtividade por hora calendário	24
Tabela 9 - Produtividade à partir dos tempos de ciclo	25
Tabela 10 - Produtividade desprezando esperas.....	26
Tabela 11 - Eficiência operacional.....	27
Tabela 12 -Custos operacionais dos caminhões Axor em 2021.....	29
Tabela 13 – Custos operacionais dos caminhões Randon em 2021	29
Tabela 14 - Custos operacionais dos CAT em 2021	29
Tabela 15 - Custos operacionais dos Scania em 2021	30
Tabela 16 - Custos por tonelada.....	31

Lista de Abreviaturas

CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
DRBD	<i>Dynamic Reliability Block Diagram</i>
FT	<i>Failure Tree</i>
KPI	<i>Key performance Indicators</i>
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
RBD	<i>Reliability Block Diagram</i>

Sumário

1	Introdução	8
2	Revisão bibliográfica	10
3	Materiais e métodos	15
4	Caso estudado	17
5	Resultados e discussão	20
5.1	Consumo de combustível	20
5.2	Tempos de ciclo.....	21
5.3	Produtividade	23
5.4	Eficiência operacional	26
5.5	Custos	28
6	Conclusões	32
7	Referências bibliográficas	33
	Apêndices.....	34

1 Introdução

A pedreira Itapeti, situada no município de Mogi das Cruzes, é uma das pedreiras da empresa Embu S A localizada na região metropolitana de São Paulo – SP. É uma mineração à céu aberto, que produz agregados para a construção civil à partir de um maciço granítico. O material é desmontado com o uso de explosivos e transportado das frentes de lavra para as unidades de britagem através de uma frota constituída por 19 caminhões, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Frota de caminhões da pedreira Itapeti.

Fabricante	Modelo	Capacidade da caçamba [t]	Unidades
Mercedes	Axor 2831	20	7
Randon	RD430M	30	6
Caterpillar	770	40	3
Scania	G500 XT 8x4	45	3

Fonte: Elaboração própria.

Assim como outros setores da mineração, a produção de agregados para construção civil é um ramo da indústria com forte dependência de redução de custos, ou seja, o empreendimento necessariamente deve diminuir seus custos para se manter competitivo e manter a saúde financeira da empresa. Um dos custos mais impactantes em minas à céu aberto são os custos com transporte de minério, podendo corresponder de 38% (MARTINS et al., 2015) até 60% (KRISTJANPOLLER et al., 2010) dos custos de operação. Por ser uma larga fatia dos custos de operação da mineração, uma frota bem dimensionada e com boa eficiência constitui um diferencial importante para as empresas do setor.

Determinar qual o tipo de equipamento que apresenta a melhor relação entre custo e benefício é necessário e apresenta diversas dificuldades. As operações mineiras são muito variadas, demonstrando diferenças naturais e técnicas. Variações de altitude, características do material a ser carregado, geometria das bancadas, rotas de trabalho e áreas de descarregamento são apenas alguns dos fatores físicos que afetam a produtividade dos veículos. Outra característica que causa dificuldades na análise da produtividade de um equipamento advém da ciclicidade do processo produtivo em

uma mineração: a produtividade efetiva de um dado equipamento depende necessariamente da produtividade dos outros equipamentos envolvidos na operação. (KRISTJANPOLLER et al., 2010)

Um desmonte que produza fragmentação inadequada implicaria em uma queda na carga realmente transportada na caçamba dos caminhões, além de impactar a produtividade de escavadeiras e carregadeiras. Equipamentos de carregamento mal dimensionados podem aumentar o tempo de ciclo. Bancadas e estradas irregulares ou apertadas, podem aumentar o tempo de viagem. Todos estes efeitos podem causar uma queda na produtividade de um caminhão, o que leva a um aumento dos custos, pois o equipamento está operando em menor eficiência. Entretanto, é interessante em sistemas industriais que os sistemas apresentem maior flexibilidade, pois em geral implica em melhor produtividade, eficiência e resultados na prática. (GARETTI; TAISCH, 2012)

O objetivo do presente estudo é comparar os veículos da frota da pedreira, identificando aspectos de perda de eficiência, características da produtividade, custos de operação de cada caminhão e, a partir dos dados analisados, verificar qual veículo apresenta o melhor custo benefício de operação.

2 Revisão bibliográfica

Diversos autores abordaram métodos para avaliar o desempenho e custos de frotas de caminhões. Curi et al. (2014) abordam a problemática de análise de performance da frota de caminhões em uma mina da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) em uma mina brasileira, em Minas Gerais. A mina utiliza caminhões para o transporte e carregadeiras no carregamento. Os caminhões são divididos em dois tipos, 20 caminhões mecânicos e 13 eletrodiesel. O trabalho avaliou a performance dos caminhões através do consumo de combustível e seus tempos de ciclo em cada rota.

Segundo o trabalho, existem dois tipos de rotas que correspondem a 68% dos trajetos de transporte na mina, que foram consideradas com distâncias médias para cada uma. Um dos tipos de rota apresenta um ponto de carregamento com altitude menor do que o de descarga, e o outro, o ponto de carregamento tem maior altitude do que o ponto de descarga. A fase 1, portanto, apresenta os caminhões descendo carregados e subindo descarregados. A fase 2, por sua vez, apresenta um caminho ascendente carregado e descendente descarregado. Como cada tipo de caminhão pode ter eficiências diferentes, determinar qual rota é mais favorável para qual tipo de caminhão pode fornecer dados para tomada de decisão que favoreça economia de combustível. Concluiu-se que os caminhões mecânicos apresentaram maior produção, consumindo menos combustível, na fase 1, quando descem carregados e sobem descarregados. Os caminhões eletrodiesel, por sua vez, consumiram menos e produziram mais na fase 2, subindo carregados e descendo descarregados. Em três meses de aplicação dos resultados, foram economizados 135 mil litros de óleo diesel. Como ressalva, o estudo não expõe as capacidades consideradas dos caminhões.

Martins et al. (2015) por sua vez, apresentam uma métrica baseada em custos para diminuir os custos de uma frota de caminhões desenvolvida em uma mina brasileira de larga escala. Demonstra parâmetros e métodos para a seleção dos equipamentos de transporte, e argumenta que para se atingir os objetivos de produção são necessários controles efetivos, e que esses controles devem ser selecionados e estabelecidos caso a caso, já que dependem do processo e, neste aspecto, são abordados os *Key Performance Indicators* (KPI), medindo, entre outros, a disponibilidade, a utilização, a confiabilidade e a efetividade da manutenção. Alguns KPI utilizados são a potência por massa carregada, a massa carregada pelo veículo

dividida pelo peso operacional do veículo, ou quanto combustível é utilizado por tonelada.

Essas métricas podem ser relacionadas com os custos e podem servir para medir *performance* e custos. O sistema desenvolvido no trabalho utiliza dados inseridos pelo usuário e calcula as métricas e dados, para suportar a tomada de decisão na mina. Esses dados de entrada dependem da experiência dos operadores da mina e do *software*, realizando análises históricas e buscando prever falhas e quebras. Entre as métricas calculadas, estão a disponibilidade dos equipamentos, a utilização, produtividade média horária e o consumo horário de óleo diesel.

Elevli e Elevli (2010) propõem a aplicação de *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) na indústria de mineração, um índice bastante utilizado para avaliar a efetividade de um equipamento em indústrias. Constitui uma abordagem nova, pois não existiam estudos sobre a aplicação do método nesta área. Como o cenário econômico geral força cada vez mais o aumento da produtividade aliada com a redução de custos, os autores propõem que esse problema seja analisado através da eficiência dos equipamentos, dos quais os de transporte se enquadram. Citam que houveram muitos estudos na seleção dos equipamentos de transportes, mas poucos sobre a efetividade destes equipamentos. OEE é um índice proposto nos anos 1980 para medir um fator equivalente para disponibilidade, *performance* e qualidade, sendo um múltiplo destes itens. É de extrema importância a qualidade da coleta dos dados, pois caso estes não sejam fidedignos, o índice calculado pode não ser representativo.

De maneira geral, a disponibilidade é associada a fatores que interrompem a produtividade do equipamento por um tempo sensível, como falhas e quebras. A *performance* mede fatores relacionados como velocidades de operação menores do que as velocidades ótimas, material em condições inadequadas ou operador mal treinado. A qualidade mede a perda de produção. O índice resultante da multiplicação destes fatores é então comparado a um *benchmark*, onde 85% tem sido indicado como aceitável para indústria em geral.

Todas essas estimativas são baseadas no tempo total de uso do equipamento, e para indústrias como a mineral, o mais adequado é usar o tempo de calendário do equipamento, que mede com mais precisão esse índice neste contexto. O uso de

tempos de utilização levam a uma superestimativa do índice. Os autores argumentam algumas dificuldades específicas da mineração no cálculo da OEE, entre elas o fato da ciclicidade das operações implicar na produtividade de um equipamento depender da produtividade de outros na cadeia de produção. Outras dificuldades são a capacidade alta dos equipamentos, levando a um peso maior da utilização, bem como o ambiente físico de operação ser muito distante do ideal e a alta associação de incertezas e dinamicidade dos cenários.

Considera-se um *benchmark* de 75% para carregadeiras, partindo de disponibilidade de 90%, *performance* de 90% e qualidade de 95%. O estudo admite a mesma tendência de *benchmark* para os caminhões, embora limite seu escopo às carregadeiras.

Kristjanpoller et al. (2020) propõem um novo modelo matemático para o cálculo da *performance* de frotas de caminhões, argumentando que são sistemas complexos e que trabalham com capacidade máxima geralmente acima da demanda. O modelo estima, para cada caminhão, alguns parâmetros que permitem obter a produtividade efetiva média de cada caminhão e de cada classe de caminhões. O artigo propõe o modelo e realiza um estudo de caso utilizando o modelo. O estudo de caso avalia uma mina de cobre no norte do Chile, com produção de 42.000 t/h e teor de 1,25%Cu. Os 170 caminhões da mina são divididos em classes, com capacidade entre 240 t e 360 t.

O modelo foi desenvolvido para aplicação em cavas à céu aberto. À partir de parâmetros de uma unidade, obtém-se parâmetros ajustados para frota de acordo com pesos atribuídos pelo impacto que a indisponibilidade de um veículo tem sobre o sistema de transporte. Argumenta-se que uma maior flexibilidade na frota leva a melhores produtividades efetivas, eficiência e resultados. O sistema porém é dinâmico, havendo variações ao longo do tempo e, quando o número de equipamentos aumenta, a complexidade matemática aumenta exponencialmente seguindo uma base 2. Como os custos de transporte chegam a 60%, pequenas alterações na efetividade do sistema reduzem muito os custos finais da operação como um todo.

Outros métodos foram propostos anteriormente, como *Reliability Block Diagram* (RBD) e *Failure Tree* (FT), mas ambos não funcionam adequadamente em sistemas dinâmicos ou que tenham muitos equipamentos modelados. *Dynamic Reliability Block Diagram* (DRBD) tenta tratar a parte da dinamicidade ausente no RBD, porém o *software* não comportou vários parâmetros modelados no trabalho. Outros métodos buscam contornar essas dificuldades, mas todos apresentam algum ponto de insatisfatoriedade. O modelo proposto lida com a carga compartilhada entre os caminhões e a dinamicidade da frota, realizando análises numéricas sobre os dados do veículo e projetando para a frota.

A modelagem matemática parte de algumas premissas, como o sistema ter uma capacidade total máxima maior que a demanda, os equipamentos só terem impacto no sistema quando sua falha implica na demanda não ser atendida e que cada estado operacional tem uma certa probabilidade de existir, que é calculável. Obtiveram, no final, uma capacidade ajustada do sistema, em t/h, que assim como o OEE vem do produto de alguns fatores. Neste caso, a capacidade ajustada (*production level*), vem do produto da disponibilidade do sistema, pela capacidade de operação média efetiva no período e as horas de trabalho.

Apresentou-se a metodologia partindo da estimativa da demanda no período. Com a demanda definida, estimou-se os parâmetros dos equipamentos (no caso, os caminhões). A disponibilidade foi definida, e prosseguiu-se com a avaliação da combinação dos veículos, definido como cenário. Os impactos e seus pesos foram obtidos a partir desses dados, e usados para calcular a disponibilidade efetiva do sistema. A capacidade ajustada foi obtida a partir destes parâmetros de funcionamento do sistema. Concluiu-se que o modelo atende às necessidades para uma frota como a utilizada e comprova a capacidade dela em atender à produção anual.

Kumar e Krishnan (2017) propõem um modelo gráfico para estimar índices de confiabilidade de equipamentos e peças, propondo sua aplicação em caminhões de mineração. Características comuns nestes métodos propostos são a utilização de alguns índices e dados que nem todas as operações e empresas detêm de forma sistematizada e disponível. Operações de portes menores não dispõem de controles

tão rigorosos sobre tempos de manutenção, o que dificulta muito a obtenção destes parâmetros.

3 Materiais e métodos

Foram obtidos dados relacionados à produção diária dos veículos da pedreira Itapeti, à partir de controles internos preenchidos pelos operadores e encarregados. Diariamente, os dados de trabalho dos equipamentos são anotados pelos operadores, tanto dos veículos de transporte quanto dos britadores primários que recebem o minério, e comparados entre si para validação dos dados. A coletânea destes dados, contendo o número de viagens transportadas e horímetros dos veículos, permite obter os demais parâmetros, como produtividade horária, custo do transporte do material e o indicador de eficiência operacional. O consumo de diesel é obtido à partir do controle do abastecimento dos veículos e os custos relacionados foram obtidos a partir de sistemas de controle da empresa.

Para ponderar as diferentes condições de trabalho de cada equipamento, foram acompanhados diversos ciclos de operação nos veículos e anotados os instantes em que se completava cada parte do ciclo de transporte, o que permitiu obter tanto o tempo gasto em cada parte do ciclo quanto o tempo de ciclo total. O controle utilizado para este acompanhamento está apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Folha para registro de tempos de ciclo

Prefixo		Operador		Bancada		data	H início	H fim
Viagem								
Ida								
Espera								
Manobra								
Carga								
Volta								
Espera								
Manobra								
Descarga								
Carregadeira								

Fonte: Elaboração própria.

Os ciclos foram divididos em etapas e o instante de tempo em que se completava cada etapa foi registrado. A diferença entre o tempo final de uma etapa e o final da anterior, fornece o tempo gasto na etapa. Em ordem, a ida foi definida como o tempo gasto na ida do britador ao realce (ponto de carregamento de material), descarregado. Manobra é o tempo gasto no alinhamento do veículo na posição de carregamento. Carregamento é o tempo gasto no carregamento propriamente dito da caçamba.

Viagem de volta é o tempo gasto pelo caminhão no trajeto de volta do realce ao ponto de descarga, carregado. Manobra é o alinhamento do veículo para a descarga e a descarga é o tempo gasto na báscula da caçamba.

Foram também anotados eventuais tempos de espera no carregamento e na descarga dos veículos. Esta é uma parte do ciclo que pode causar grande perda de produtividade dos equipamentos. Além destes dados, o campo prefixo é dedicado a identificação do veículo. Foram registrados também o motorista do veículo e a bancada de carregamento, bem como o equipamento de carregamento no campo carregadeira.

A produtividade foi avaliada em relação à eficiência operacional, a produtividade em relação às horas de calendário, às horas de horímetro de motor, e a produtividade em relação aos tempos de ciclo acompanhados. Com isso, pode-se avaliar tanto a produtividade efetiva de cada veículo no período considerado, quanto avaliar eventuais perdas de produtividade, para assim, buscar razões para tais perdas.

Os dados foram tratados buscando comparar os equipamentos diferentes nas condições específicas de operação da mina. Ressalta-se que as condições variam muito ao longo da operação da mina, mas que a comparação entre os equipamentos foi realizada sempre com dados referentes aos mesmos períodos de tempo e, portanto, em condições o mais semelhantemente possíveis entre si, a menos que especificado, para evitar desvios na análise.

As condições de trabalho da frota de transporte, como bancadas, material de produção, rota utilizada e veículos de carregamento, mudam diariamente. A comparação de dados de períodos distintos pode ser pouco ou nada representativa, assim como de veículos de mesmo modelo que estejam operando em minas e situações diferentes. Para compensar essas limitações, foram comparadas as médias dos valores, em toneladas por hora, para cada equipamento e grupo de equipamentos ao longo do ano de 2021. Para os caminhões novos, os Scania, a comparação foi feita apenas entre ele e os demais com a produtividade no mesmo período de 2021, período em que todos os veículos operaram simultaneamente.

4 Caso estudado

A pedreira Itapeti apresenta uma frota de transporte variada em idades, modelos e capacidades, todos à diesel. Cada tipo de veículo tem características relacionadas a velocidade de transporte, consumo de combustível, custo de manutenção e aquisição e tempo de manobra. Entretanto, para a operação, o essencial é a produção horária atingida e o custo de transporte por tonelada de minério. São diferentes frentes de lavra na operação e, portanto, rotas de trabalho que variam com frequência o que causa grande variabilidade em distâncias e relevo que os caminhões devem percorrer. Condições do desmonte, como fragmentação e formação da pilha, assim como os equipamentos de carregamento e transporte, também são variáveis importantes, e todos estes afetam as condições de produtividade e, por consequência, de custo de operação dos equipamentos de transporte. Empreendimentos mineiros da área de agregados para construção civil tem sua produção fortemente atrelada à demanda, e portanto as condições de mercado influenciam diretamente na dinâmica diária de uma pedreira.

Os veículos de transporte estão divididos entre quatro modelos de quatro fabricantes diferentes. Dois tipos são caminhões rodoviários modificados, os Mercedes Axor 2831 e os Scania G500 XT, enquanto os outros dois modelos são caminhões fora-de-estrada Caterpillar 770 e Randon RD 430M. Caminhões rodoviários tendem a apresentar uma vida útil mais curta e terem custo de aquisição menor, enquanto foras-de-estrada tendem a ser mais robustos e caros. A Tabela 2 apresenta um quadro resumo com as principais características dos modelos de caminhões existentes na frota.

Tabela 2 - Características dos caminhões

Fabricante	Modelo	Eixos	Raio de giro [m]	PBT [t]	Capacidade da caçamba [t]
Mercedes	Axor 2831	3	10,45	28	20
Caterpillar	770	2	8,80	71	40
Randon	RD430M	2	7,33	48	30
Scania	G500 XT 8x4	4	-	58	45

Fonte: Elaboração própria.

Os Mercedes-Benz Axor 2831 são caminhões em operação na pedreira desde 2009 e apresentam média de horímetros com 14.000 horas. São caminhões rodoviários

adaptados e basculantes, com caçambas de capacidade considerada de 20 toneladas. Em comparação com os demais modelos na frota, a caçamba é estreita, alta e comprida e tem capacidade relativamente baixa, razões pelas quais não são usualmente empregados no transporte de minério, a não ser em situações de produção específicas. Devido à sua construção, necessitam de tampa traseira para que o material seja contido em seu interior, que se abre durante a bascula. Este tipo de caçamba é desfavorável no transporte de blocos de dimensões maiores, mas que os britadores ainda suportariam e seriam despejados normalmente na alimentação. Por estes motivos, este modelo é utilizado usualmente no transporte de estéril e de materiais de uso interno, como material de forro para as praças.

Os fora-de-estrada Randon RD 430M estão em uso desde 2010 e tem horímetros com média de 20.000 horas de funcionamento. Apresentam caçambas relativamente mais rasas, largas e sem tampa. A geometria da caçamba garante sua permanência durante o transporte sem a necessidade de tampa traseira, e o material escoar diretamente durante a bascula. A capacidade considerada para este modelo é de 30 toneladas e sua manobrabilidade é a melhor entre os veículos analisados. Por terem uma capacidade média entre os veículos da frota e poderem ser carregados por pás carregadeiras e pelas suas características de manobrabilidade são utilizados tanto no transporte de estéril quanto de minério na mina. Caminhões de caçamba funda, como os fora-de-estrada, não podem ser carregados por pás carregadeiras por segurança dos equipamentos e operadores. Porém, pelos custos operacionais maiores, tendem a ser mantidos trabalhando no transporte de minério. Outra aplicação destes veículos é o transporte do material do estoque para o britador. Em períodos de tempo onde os britadores não estão disponíveis para receber o material diretamente, como durante falhas mecânicas ou despejo de material de tamanho inadequado, o transporte de minério é despejado em uma área próxima ao britador, chamado de estoque de produção, que pode ser retomado em momento oportuno, geralmente utilizando pás carregadeiras e caminhões Randon.

Os fora-de-estrada Caterpillar 770 estão em atividade desde 2010 e apresentam horímetros com média de 24.000 horas de funcionamento. Este tempo de operação se aproxima de uma reforma geral no veículo, bastante custosa. São caminhões com caçambas típicas de foras-de-estrada, com capacidade de 40 toneladas, mais rasas

e largas. Apresentam boa manobrabilidade e capacidade de carga, porém apresentam consumo de combustível relativamente elevado. São bastante versáteis e resistentes na operação da pedreira e são utilizados regularmente apenas no transporte de minério.

Os rodoviários Scania G500 XT tem a maior capacidade, de 45 toneladas, são os mais novos em operação, desde julho de 2021, e tem horímetros com média de 650 horas de motor. Entre a frota da pedreira são os veículos com pior manobrabilidade, maior velocidade e tem um dos menores consumos de diesel. São utilizados essencialmente no transporte do minério, porém concentrados no carregamento por equipamentos de maior capacidade e também nas regiões da pilha desmontada que apresentam melhor fragmentação. Apesar de apresentar a maior caçamba, são como as dos Mercedes e tem os mesmos pontos negativos e positivos. Uma medida de segurança adotada no caso deles, diminui sua produtividade, pois sua caçamba tem um chapéu de proteção da cabine menor, para evitar danos ao equipamento e, principalmente, ao motorista do caminhão. O sistema de filtragem de ar deste modelo de caminhão se localiza próximo à cabine e não é protegido completamente pelo chapéu da caçamba. Por estas razões, os operadores dos equipamentos de carregamento são instruídos a ter bastante cautela ao carregar a região mais próxima à cabine, levando a gastos maiores de tempo e perda de eficiência de transporte. Entretanto, a redução de material carregado está considerada na carga considerada por viagem.

A produtividade dos equipamentos, entretanto, não é afetada pelas condições não ideais de trabalho igualmente para todos os veículos. No caso dos Scania, que utilizam caçambas de maior volume porém mais fundas e estreitas, não se usa as pás-carregadeiras e favorece-se o uso das retroescavadeiras com caçambas maiores. Para estes caminhões, equipamentos de carregamento de menor capacidade implicariam em tempos de carregamento maiores e portanto tempos de ciclo maiores, criando gargalos na produtividade inclusive aumentando os tempos de espera. Situações desfavoráveis de carregamento são desinteressantes não só pela queda da quantidade de minério transportada no período, mas também pelo trabalho forçado destes equipamentos de carregamento, o que leva a uma queda na eficiência geral do empreendimento.

5 Resultados e discussão

Os resultados obtidos para a análise de produtividade, do consumo de combustível, dos tempos de ciclo e dos custos de operação dos veículos da frota são apresentados nesse capítulo, bem como sua discussão e as considerações feitas a respeito desses resultados.

Alguns dos veículos operaram em outros serviços na mina, como transporte de estéril e rejeito, ou foram vendidos, não trabalhando no transporte de minério em parte significativa do período. Portanto, buscando uma maior representatividade dos dados da frota no transporte de minério, seus dados foram removidos da análise.

5.1 Consumo de combustível

Os dados referentes ao consumo de combustível para cada veículo operante estão apresentados na Tabela 3. Os caminhões rodoviários apresentam consumo horário semelhante entre si, enquanto os foras-de-estrada apresentam consumos horários mais elevados do que os rodoviários e com diferença significativa entre os modelos.

Tabela 3 - Dados de consumo de 2021

Modelo	Prefixo	Diesel abastecido no período [L]	Consumo horário [L/h]	Produtividade por litro [t/L]
AXOR	C0811	9627,4	7,2	2,2
	C0814	9503,7	7,7	3,2
	C0816	12497,7	7,3	2,9
	C0817	10414,4	6,9	2,2
	C0819	12500,3	8,0	2,9
	C0820	12596,6	6,8	2,4
RANDON	C4301	10916,9	12,8	8,7
	C4306	19810,0	12,0	7,0
	C4313	15262,9	11,8	7,2
	C4315	29169,9	15,0	7,2
	C4316	25821,1	12,6	8,6
	C4317	20692,9	12,9	7,4
CAT	C4401	38079,3	20,7	6,1
	C4403	36567,6	21,3	6,0
	C4404	33030,0	21,8	5,5
SCANIA	C5206	9100,6	11,2	10,5
	C5207	9518,2	11,5	11,0
	C5208	9522,2	11,6	11,7

Fonte: Elaboração própria.

O modelo mais econômico em consumo horário, o Scania, é também o que apresenta o menor consumo por tonelada. Os caminhões fora-de-estrada, Randon e Caterpillar, apresentam produtividade por litro maior do que os Axor, apesar de apresentarem consumos horários mais elevados.

As médias obtidas para os modelos estão apresentadas na Tabela 4, confirmando a tendência observada individualmente. Os caminhões Scania apresentam um consumo médio menor de combustível resultando em uma produtividade por litro dobrada em relação aos outros veículos de capacidade semelhante, os Caterpillar.

Tabela 4 - Consumo médio por modelo

Modelo	Consumo médio [L/h]	Produtividade média [t/L]
AXOR	7,3	2,6
RANDON	12,8	7,7
CAT	21,3	5,9
SCANIA	11,4	11,1

Fonte: Elaboração própria.

5.2 Tempos de ciclo

A Tabela 5 apresenta as médias dos tempos de ciclos e de suas partes para cada caminhão acompanhado.

Tabela 5 - Médias dos tempos de ciclos e suas partes

Grupo	Axor	Randon			CAT		Scania		
Etapa	C0817	C4306	C4313	C4316	C4401	C4403	C5206	C5207	C5208
Ida [s]	323	330	151	186	240	197	219	159	159
Espera [s]	0	18	145	71	48	128	218	187	445
Manobra [s]	49	85	139	44	45	54	139	115	137
Carga [s]	226	208	347	256	283	294	222	199	245
Volta [s]	304	256	196	179	330	293	250	171	198
Espera [s]	4	1	47	76	37	36	47	154	31
Manobra [s]	74	23	55	41	40	44	51	56	42
Descarga [s]	39	42	51	36	46	41	64	56	54
Tempo de ciclo [s]	1020	962	1131	889	1069	1087	1211	1097	1311

Fonte: Elaboração própria.

Os tempos de ciclo dos Randon foram os menores, enquanto os dos Scania foram os

maiores. Os Axor e os CAT apresentaram tempos intermediários. Os tempos de ida e volta dos Scania, em especial comparado aos Caterpillar, são menores. Os caminhões Scania apresentam tempos de espera totais elevados em seus ciclos, como mostra a Tabela 6, sendo boa parte desta perda na espera pelo carregamento e não na espera para a descarga.

Tabela 6 - Tempos em espera por ciclo por veículo

Grupo	Prefixo	Espera no carregamento[s]	Espera no descarregamento[s]	Espera total[s]
Axor	C0817	0	4	4
Randon	C4306	18	1	19
	C4313	145	47	192
	C4316	71	76	147
CAT	C4401	48	37	85
	C4403	128	36	164
Scania	C5206	218	47	265
	C5207	187	154	341
	C5208	445	31	476

Fonte: Elaboração própria.

Como a produtividade dos equipamentos de transporte depende das outras partes do ciclo de produção em mineração, altos tempos em espera indicam uma perda de eficiência na produtividade destes veículos maior do que nos demais da frota. Estes caminhões são novos na operação e os equipamentos de carga não foram renovados para sua chegada. Como os tempos em espera são maiores para estes veículos, a perda provavelmente se dá devido às características específicas deste modelo, como o volume e o formato das caçambas.

Para compensar o viés causado pela eficiência de outros aspectos do ciclo, foram obtidos os tempos de ciclo desprezando as perdas por espera para cada veículo, apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Tempos de ciclo

Grupo	Prefixo	Número de ciclos acompanhados	Tempo de ciclo [s]	Tempo de ciclo sem esperas [s]	Tempo de ciclo médio [s]	Tempo de ciclo médio sem esperas [s]
Axor	C0817	2	1020	1016	1020	1016
Randon	C4306	12	950	934	976	850
	C4313	10	1088	886		
	C4316	19	891	731		
CAT	C4401	19	1065	991	1087	960
	C4403	21	1108	929		
Scania	C5206	11	1156	942	1154	799
	C5207	12	1011	650		
	C5208	22	1296	805		

Fonte: Elaboração própria.

Os caminhões Scania apresentam o maior tempo de ciclo em média, seguidos dos Caterpillar, dos Axor e dos Randon. Entretanto, se desprezadas as esperas de carregamento e de descarregamento, a ordem muda, passando o Scania a ter o menor tempo de ciclo, seguido pelos Randon, Caterpillar e Axor.

É importante salientar que, a coleta de dados dos Axor foi muito menor do que a dos demais caminhões na frota. Devido às condições de operação, os Axor operam frequentemente em trabalhos onde não há necessidade de elevadas produções horárias, como o transporte de estéril e o transporte de material para as estradas. Deste modo, a extensão dos dados referentes ao tempo de ciclo destes caminhões é prejudicada e menos representativa que a dos demais veículos na frota.

5.3 Produtividade

A Tabela 8 apresenta as produtividades em toneladas por hora calendário para cada veículo bem como a produtividade média obtida no período para os conjuntos de veículos. Para cada veículo, foi considerada a hora calendário de acordo com seu período de operação. A frota tem como operação programada em média 56 horas por semana, equivalente a 11,8 horas calendário por dia útil. Para 2021, foram consideradas 2478 horas calendário à partir dos 210 dias úteis no período entre 01/01/2021 e 31/10/2021, e para o período em que os caminhões Scania operaram as horas calendário consideradas foram de 1038 horas em 88 dias úteis.

Tabela 8 - Produtividade por hora calendário

Modelo	Prefixo	Produção [t]	Horas de calendário	Produtividade [t/h]	Produtividade média [t/h]
AXOR	C0811	20700	2478,0	8,4	11,9
	C0814	30180	2478,0	12,2	
	C0816	36600	2478,0	14,8	
	C0817	22920	2478,0	9,2	
	C0819	35940	2478,0	14,5	
	C0820	30180	2478,0	12,2	
RANDON	C4301	95490	1200,0	79,6	69,2
	C4306	137970	2478,0	55,7	
	C4313	110550	2478,0	44,6	
	C4315	209280	2478,0	84,5	
	C4316	221250	2478,0	89,3	
	C4317	153000	2478,0	61,7	
CAT	C4401	233680	2478,0	94,3	85,3
	C4403	217720	2478,0	87,9	
	C4404	182960	2478,0	73,8	
SCANIA	C5206	95625	1038,4	92,1	100,0
	C5207	104805	1038,4	100,9	
	C5208	111105	1038,4	107,0	

Fonte: Elaboração própria.

A produtividade por hora calendário indica que os Caterpillars e os Scania apresentam produtividades superiores aos Axor e Randons na pedreira estudada. Enquanto as produções variam menos entre os Caterpillar, em parte porque operadores destes e dos demais equipamentos envolvidos no ciclo já se encontram habituados à este modelo, os Scania apresentam variações maiores de produtividade. Ambos os equipamentos apresentam uma produtividade próxima de três viagens carregadas por hora de trabalho. Equipamentos novos exigem um certo tempo de adaptação de operadores e da própria frota, já que dificilmente equipamentos de carregamento estão bem dimensionados para súbitas mudanças na frota de equipamentos de transporte.

Os Axor, por sua vez, apresentam uma produtividade bem baixa, em média de uma viagem por hora. Isso se deve ao fato do seu uso não ser priorizado no transporte de minério. Randons apresentam uma distribuição maior de produtividades, mas uma média que corresponde no período à aproximadamente 3 viagens por hora.

Cabe lembrar que a comparação entre os grupos de veículos é limitada desta forma. Como os Randons, Axor e Caterpillar operam desde o início do ano, é razoável admitir que as condições de trabalho dos veículos tenham sido semelhantes. Outro aspecto

importante é que haviam menos caminhões na frota e, portanto, menos conflitos com os equipamentos de carga e para a área de descarregamento, o que leva a menores perdas de eficiência no ciclo. Como os Scania começaram a operar após o final de junho, não estavam sujeitos às mesmas condições médias de operação que os demais estavam durante o período anterior. Os Scania são priorizados nos carregamentos mais distantes em relação ao ponto de descarga, pois são os que apresentam a maior velocidade de deslocamento na frota.

Para contornar esta limitação, analisou-se a produtividade projetada a partir dos tempos de ciclo. Como a coleta destes dados foi realizada no mesmo período em cada caminhão, é razoável admitir que as condições de operação tenham sido suficientemente próximas entre eles. A Tabela 9 apresenta as produtividades ponderadas a partir dos tempos de ciclo para cada veículo e para cada grupo.

Tabela 9 - Produtividade à partir dos tempos de ciclo

Grupo	Prefixo	Tempo de ciclo [s]	Capacidade [t]	Produtividade [t/h]	Média das produtividades [t/h]
Axor	C0817	1020	20	70,6	70,6
Randon	C4306	950	30	113,7	111,4
	C4313	1088	30	99,2	
	C4316	891	30	121,2	
CAT	C4401	1065	40	135,2	132,5
	C4403	1108	40	129,9	
Scania	C5206	1156	45	140,1	141,8
	C5207	1011	45	160,2	
	C5208	1296	45	125,0	

Fonte: Elaboração própria.

Nestas condições, os caminhões Scania apresentam as maiores médias de produtividade horária da frota, seguidos pelos Caterpillar, Randon e Axor. Esta análise não leva em conta perdas por ineficiência no processo, um dos pontos que atinge de maneira desigual a produtividade dos veículos. A Tabela 10 mostra as produtividades horárias projetadas pelos tempos de ciclo, desprezando tempos de espera e quanto a produtividade geral em relação a idealizada, sem esperas.

Tabela 10 - Produtividade desprezando esperas

Grupo	Prefixo	Tempo de ciclo, sem esperas[s]	Produtividade [t/h]	Produtividade sem esperas [t/h]	Eficiência de produtividade [%]	Média da eficiência de produtividade [%]
Axor	C0817	1016	70,6	70,9	99,6	99,6
Randon	C4306	934	113,7	115,6	98,3	87,3
	C4313	886	99,2	121,9	81,4	
	C4316	731	121,2	147,7	82,0	
CAT	C4401	991	135,2	145,3	93,0	88,4
	C4403	929	129,9	155,0	83,8	
Scania	C5206	942	140,1	172,0	81,5	69,3
	C5207	650	160,2	249,2	64,3	
	C5208	805	125,0	201,2	62,1	

Fonte: Elaboração própria.

As médias das eficiências evidenciam que a produtividade dos caminhões Scania é afetada por outras características, como equipamentos de carregamento não ideais para sua caçamba, o que leva à grandes perdas em espera no carregamento. Mesmo assim, são os veículos de maior produtividade horária, ainda apresentando uma margem grande para melhora diminuindo-se as perdas em espera para o carregamento. Um aumento nesta eficiência de produtividade, ou seja, diminuir o tempo de ciclo efetivo através da diminuição do tempo em espera, pode elevar a produtividade horária destes veículos, o que deve implicar em custos por tonelada menores.

Os CAT e Randon apresentam a produtividade média próxima da referência sem esperas, da ordem de 90%. Isso indica que a operação destes veículos está mais adequada para os demais equipamentos de trabalho. A alta eficiência dos Axor pode ser devida ao fato de terem sido coletados poucos dados acerca de seu tempo de ciclo, de apenas um caminhão e em poucas viagens, o que leva à uma menor representatividade deste dado.

5.4 Eficiência operacional

A eficiência operacional, indicador equivalente ao *OEE*, foi obtida considerando-se que o fator de qualidade seja o mesmo para todos os veículos (100%), ou seja, não há diferença de qualidade de transporte significativa entre os modelos e esta qualidade atingida é considerada plenamente satisfatória. A eficiência operacional

considerada foi obtida à partir das horas de horímetro em relação às horas calendário, ou seja, das horas programadas de operação da frota quantas horas cada caminhão operou. A eficiência operacional para cada equipamento está apresentada na Tabela 11.

Tabela 11 - Eficiência operacional

Modelo	Prefixo	Eficiência operacional [%]	Eficiência operacional média [%]
AXOR	C0811	54,20	62,14
	C0814	49,88	
	C0816	69,53	
	C0817	61,08	
	C0819	63,32	
	C0820	74,86	
RANDOM	C4301	71,23	69,36
	C4306	66,77	
	C4313	52,27	
	C4315	78,24	
	C4316	82,83	
	C4317	64,80	
CAT	C4401	74,31	68,16
	C4403	69,16	
	C4404	61,01	
SCANIA	C5206	78,32	79,10
	C5207	79,90	
	C5208	79,07	

Fonte: Elaboração própria.

Os Scania são os únicos que apresentam todos a eficiência operacional acima do *benchmark* proposto de 75% para equipamentos de mineração (ELEVLI; ELEVLI, 2010). Por serem novos, tem menos paradas inesperadas e apresentam menos falhas no geral, levando à uma alta disponibilidade. Os veículos mais antigos apresentam eficiência operacional mais baixa, pois trabalham efetivamente menos horas do que o programado. Uma maior idade, leva a quedas na disponibilidade mecânica dos equipamentos, que reduz as horas de fato trabalhadas com os veículos.

A baixa eficiência operacional dos Axor indica que seu uso não é tão grande quanto dos demais veículos. Como estes trabalham em operações menos urgentes (como o transporte de estéreis) e sua capacidade de produção por litro de diesel não é tão eficiente, podem ficar bastante tempo parados apesar de mecanicamente disponíveis.

Outra razão que pode explicar esse fato, seria a frequência de quebras, aspecto não abordado neste trabalho.

Tanto os Randon quanto os Caterpillar apresentam, em média, eficiência operacional abaixo do *benchmark*. Entretanto, diferente dos caminhões novos, sua eficiência operacional individual tem uma distribuição mais variada, com alguns veículos como o C4313 e o C4404 puxando suas médias para baixo, enquanto outros como o C4316 e o C4401 puxam para cima. Essas eficiências operacionais estão mais sujeitas à grandes mudanças ao longo do tempo, pois uma falha mecânica que leve a períodos longos de parada, é mais provável nestes veículos do que nos novos, devido ao seu tempo de uso.

5.5 Custos

Segundo Hardy (2007), os custos podem ser divididos em custos fixos e custos variáveis. Custos fixos são aqueles que não variam de acordo com a produtividade, como seguros, depreciação, serviços de manutenção e operação. Para uma análise completa de custos, seria necessário o levantamento de custos de aquisição dos veículos, não realizado neste trabalho. O estudo avalia apenas os custos operacionais. Custos variáveis, que são os que dependem diretamente da produtividade, tem impacto direto nos custos de transporte e podem influenciar a escolha de novos equipamentos pois indica diretamente o quão barato ou caro um veículo é em relação a outro. Estes custos envolvem combustíveis, lubrificantes, pneus, manutenções, entre outros.

A Tabela 12 apresenta os custos operacionais referentes aos caminhões Axor. Para cada um dos caminhões, o custo mais importante é o custo em combustível, em média de 76% dos custos operacionais, porém o custo de manutenção médio é de 19% do custo total de operação destes veículos.

Tabela 12 -Custos operacionais dos caminhões Axor em 2021

Custos	AXOR						Total
	C0811	C0814	C0816	C0817	C0819	C0820	
Manutenção	R\$ 7.120,25	R\$ 11.654,28	R\$ 5.585,45	R\$ 6.588,18	R\$ 15.125,66	R\$ 17.002,40	R\$ 63.076,22
Lubrificantes	R\$ 626,55	R\$ 2.545,54	R\$ 3.016,97	R\$ 3.637,84	R\$ 3.737,73	R\$ 2.920,08	R\$ 16.484,71
Diesel	R\$ 35.589,08	R\$ 34.053,62	R\$ 46.485,46	R\$ 39.005,20	R\$ 45.730,67	R\$ 46.542,95	R\$ 247.406,98
Total	R\$ 43.335,88	R\$ 48.253,44	R\$ 55.087,88	R\$ 49.231,22	R\$ 64.594,06	R\$ 66.465,43	R\$ 326.967,91

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 13 contém os custos referentes à operação dos caminhões Randon no ano de 2021. Como nos Axor, o custo mais impactante é o custo de combustível que é em média correspondente a 63% do total, porém o custo de manutenção médio representa 31% do custo de operação dos caminhões. Por serem fora-de-estrada e já estarem a bastante tempo em operação, estes custos de manutenção tornam-se crescentemente mais relevantes.

Tabela 13 – Custos operacionais dos caminhões Randon em 2021

Custos	RANDON						Total
	C4301	C4306	C4313	C4315	C4316	C4317	
Manutenção	R\$ 19.828,19	R\$ 42.831,59	R\$ 47.180,36	R\$ 19.464,78	R\$ 49.386,82	R\$ 37.419,09	R\$ 216.110,83
Lubrificantes	R\$ 3.837,45	R\$ 4.655,13	R\$ 9.549,66	R\$ 8.020,53	R\$ 7.144,17	R\$ 6.650,63	R\$ 39.857,57
Diesel	R\$ 38.591,51	R\$ 72.706,53	R\$ 55.705,61	R\$ 106.752,85	R\$ 95.014,34	R\$ 75.980,24	R\$ 444.751,08
Total	R\$ 62.257,15	R\$ 120.193,25	R\$ 112.435,63	R\$ 134.238,16	R\$ 151.545,33	R\$ 120.049,96	R\$ 700.719,48

Fonte: Elaboração própria.

Os custos de operação dos caminhões CAT estão apresentados na Tabela 14. Os custos de manutenção são de 41% em média dos custos operacionais dos veículos, enquanto o custo de combustíveis é de 56% dos custos de operação. São os caminhões que tem o maior impacto dos custos de manutenção nos seus custos operacionais, além de altos custos de diesel devido ao elevado consumo horário.

Tabela 14 - Custos operacionais dos CAT em 2021

Custos	CAT			Total
	C4401	C4403	C4404	
Manutenção	R\$ 76.664,02	R\$ 105.337,97	R\$ 106.957,57	R\$ 288.959,56
Lubrificantes	R\$ 9.812,96	R\$ 7.594,73	R\$ 9.445,70	R\$ 26.853,39
Diesel	R\$ 141.582,21	R\$ 134.094,69	R\$ 117.628,05	R\$ 393.304,95
Total	R\$ 228.059,19	R\$ 247.027,39	R\$ 234.031,32	R\$ 709.117,90

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 15 apresenta os custos operacionais dos caminhões Scania em 2021. Ressalta-se que estes custos são a partir de junho de 2021 e por isso são sensivelmente menores que os dos demais veículos, em operação desde o início do ano. Os custos com combustíveis são os mais relevantes, responsáveis por 84% dos custos de operação destes veículos. Nos três primeiros meses, o custo de combustível respondia por mais de 90% dos custos operacionais. Ao longo do tempo, a tendência é que a composição dos custos se aproxime das dos Axor, por serem caminhões também rodoviários.

Tabela 15 - Custos operacionais dos Scania em 2021

Custos	SCANIA			Total
	C5206	C5207	C5208	
Manutenção	R\$ 5.649,31	R\$ 5.649,31	R\$ 5.554,62	R\$ 16.853,24
Lubrificantes	R\$ 1.701,48	R\$ 1.818,90	R\$ 1.661,40	R\$ 5.181,78
Diesel	R\$ 35.558,16	R\$ 37.878,96	R\$ 38.512,02	R\$ 111.949,14
Total	R\$ 42.908,95	R\$ 45.347,17	R\$ 45.728,04	R\$ 133.984,16

Fonte: Elaboração própria.

Para toda a frota de caminhões o custo com lubrificantes representa em torno de 5% dos custos operacionais, e com pouca variabilidade em relação aos custos de cada tipo de caminhão. Portanto, os lubrificantes não são um ponto muito importante para redução de custos operacionais e, neste aspecto, não apresentam diferença entre os modelos analisados.

A Tabela 16 apresenta os custos totais por tonelada transportada por cada caminhão e as médias dos modelos em operação. Os caminhões Scania são os com menor custos operacionais entre toda a frota considerando o transporte de minério, enquanto os Axor são os mais custosos. Cada modelo tem uma composição diferente destes custos, mas os Scania apresentam custo total menor porque consomem menos combustível, por serem novos, não exigindo frequentes manutenções corretivas e menos programadas, como é o caso principalmente dos Caterpillar, e também por terem a maior capacidade de carga, levando mais material por viagem. Os custos por tonelada dos caminhões Axor é menos representativa, pois estes caminhões registram transporte de minério bem menor por serem usados em outros serviços na mina, bem como os Randon. Na prática, considerando estes veículos trabalhando apenas no transporte de minério, estes custos por tonelada tenderiam a cair.

Tabela 16 - Custos por tonelada

Modelo	Prefixo	Custo por tonelada [R\$/t]	Custo médio por tonelada [R\$/t]
AXOR	C0811	2,09	1,89
	C0814	1,60	
	C0816	1,51	
	C0817	2,15	
	C0819	1,80	
	C0820	2,20	
RANDON	C4301	0,65	0,78
	C4306	0,87	
	C4313	1,02	
	C4315	0,64	
	C4316	0,68	
	C4317	0,78	
CAT	C4401	0,98	1,13
	C4403	1,13	
	C4404	1,28	
SCANIA	C5206	0,45	0,43
	C5207	0,43	
	C5208	0,41	

Fonte: Elaboração própria.

6 Conclusões

Reduzir custos é essencial para empreendimentos mineiros e entre as maneiras de minimizá-los está o aumento da eficiência dos equipamentos e a diminuição de seus custos operacionais. Custos de transporte de minério são um dos custos impactantes neste aspecto e, portanto, diminuir os custos com a frota de veículos de transporte é um meio para atingir este fim.

Em minerações de pequeno e médio porte, obter dados confiáveis e representativos para a análise destes custos é um desafio. Frequentemente os dados são obtidos e registrados manualmente pelos operadores dos equipamentos, portanto sujeitos à erros e exigindo tratamentos e refinamentos que, em operações deste porte, podem exigir mais tempo do que disponível pelos gestores destas informações. Para um melhor auxílio nos processos de tomada de decisão em minerações de pequeno e médio portes, caso das pedreiras, é essencial encontrar meios que automatizem e facilitem a aquisição e tratamento dos dados dos equipamentos.

No caso estudado, foram coletadas informações sobre os tempos de ciclo dos veículos e dados sobre a produtividade e operação, assim como custos do período. A análise destes dados permitiu verificar as diferenças de produtividade e custos entre os veículos individuais e os grupos de veículos utilizados no transporte de minério do empreendimento. Apesar de apresentarem ainda um potencial de aumento de eficiência diminuindo perdas de tempo nos ciclos, em especial os tempos perdidos em espera, os caminhões rodoviários novos, de maior capacidade e menor consumo de combustível, apresentaram custo por tonelada transportada inferior aos demais em operação na frota. Os veículos fora-de-estrada, mais antigos, apresentaram custos operacionais maiores, devido ao consumo horário de combustível maior e maiores custos de manutenção. Os veículos rodoviários de menor capacidade apresentaram os maiores custos por tonelada transportada.

7 Referências bibliográficas

CURI, A. et al. Evaluation of Haul Trucks Performance in a CSN Mine. In: DREBENSTEDT, C.; SINGHAL, R. (Ed.). **Mine Planning and Equipment Selection**, Suíça: Springer, 2014. p. 1143-1150. eBook.

ELEVLI, B.; ELEVLI, S. Performance Measurement of Mining Equipments by Utilizing OEE. **Acta Montanistica Slovaca**, v.2, p. 95-101, 2010.

GARETTI, M.; TAISCH, M. Sustainable manufacturing: trends and research challenges. **Production Planning & Control**, v. 23, n. 2, p 83-104, 2012.

HARDY, R. J. **Selection Criteria For Loading and Hauling Equipment** - Open Pit Mining Applications. Tese (doutorado)—Curtin University of Technology, p.558 ,2007.

KRISTJANPOLLER, F. et al. Equivalent availability index for the performance measurement of haul truck fleets. **Eksplotacja i Niezawodnosc - Maintenance and Reliability**, Polônia, v. 22, n. 4, p 583-591, 2020.

KUMAR, A.; KRISHNAN, V. A Study on Reliability Analysis of Haul Trucks. **International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology**, Índia, v. 4, n. 3, p 76-85, 2017.

MARTINS, M. et al. Design of Costs-Based Metrics for Enhancing the Economics of the Mining Truck Fleet. **Materials Science Forum**, Suíça, v. 805, p. 415-421, 2015.

Apêndice A - Quadro Resumo

Modelo	Prefixo	Produção [t]	Horímetro [h]	[t/h]	L diesel	L/h	t/L	\$ lub	\$ diesel	\$ manutenção	\$ total	\$/t	\$ (lub+diesel)/t
AXOR	C0811	20700	1343	15,41	9627,4	7,17	2,15	626,55	35589,08	7120,25	43335,88	2,09	1,75
	C0814	30180	1236	24,42	9503,7	7,69	3,18	2545,54	34053,62	11654,28	48253,44	1,60	1,21
	C0816	36600	1723	21,24	12497,7	7,25	2,93	3016,97	46485,46	5585,45	55087,88	1,51	1,35
	C0817	22920	1513,6	15,14	10414,4	6,88	2,20	3637,84	39005,20	6588,18	49231,22	2,15	1,86
	C0819	35940	1569	22,91	12500,3	7,97	2,88	3737,73	45730,67	15125,66	64594,06	1,80	1,38
	C0820	30180	1855	16,27	12596,6	6,79	2,40	2920,08	46542,95	17002,40	66465,43	2,20	1,64
RANDON	C4301	95490	854,7	111,72	10916,9	12,77	8,75	3837,45	38591,51	19828,19	62257,15	0,65	0,44
	C4306	137970	1654,5	83,39	19810	11,97	6,96	4655,13	72706,53	42831,59	120193,25	0,87	0,56
	C4313	110550	1295,2	85,35	15262,9	11,78	7,24	9549,66	55705,61	47180,36	112435,63	1,02	0,59
	C4315	209280	1938,9	107,94	29169,9	15,04	7,17	8020,53	106752,85	19464,78	134238,16	0,64	0,55
	C4316	221250	2052,6	107,79	25821,1	12,58	8,57	7144,17	95014,34	49386,82	151545,33	0,68	0,46
	C4317	153000	1605,8	95,28	20692,9	12,89	7,39	6650,63	75980,24	37419,09	120049,96	0,78	0,54
CAT	C4401	233680	1841,3	126,91	38079,3	20,68	6,14	9812,96	141582,21	76664,02	228059,19	0,98	0,65
	C4403	217720	1713,8	127,04	36567,6	21,34	5,95	7594,73	134094,69	105337,97	247027,39	1,13	0,65
	C4404	182960	1511,9	121,01	33030	21,85	5,54	9445,70	117628,05	106957,57	234031,32	1,28	0,69
SCANIA	C5206	95625	813,3	117,58	9100,6	11,19	10,51	1701,48	35558,16	5649,31	42908,95	0,45	0,39
	C5207	104805	829,7	126,32	9518,2	11,47	11,01	1818,90	37878,96	5649,31	45347,17	0,43	0,38
	C5208	111105	821,1	135,31	9522,2	11,60	11,67	1661,40	38512,02	5554,62	45728,04	0,41	0,36

Apêndice B - Produção em toneladas - 2021

Modelo	Axor						RANDOM						CAT			SCANIA		
Período																		
Mês	C0811	C0814	C0816	C0817	C0819	C0820	C4301	C4306	C4313	C4315	C4316	C4317	C4401	C4403	C4404	C5206	C5207	C5208
jan/21	1520	4480	4940	2340	7720	3420	21870	11340	18660	28830	27660	14820	13680	17640	25920	0	0	0
fev/21	3100	4720	5520	80	4340	2580	14610	20880	7860	20760	20310	20370	26680	29520	17920	0	0	0
mar/21	2540	6280	5840	1260	5800	4600	14070	19290	6870	23820	31350	23550	29320	30040	29640	0	0	0
abr/21	4260	4600	4480	6340	4160	4040	14310	13740	12840	22830	28920	10500	24760	25680	11560	0	0	0
mai/21	3180	3320	3220	1920	2680	2140	14490	22080	14640	28170	18210	21540	28240	24400	16600	0	0	0
jun/21	3080	3620	1780	1240	1840	2520	16140	22320	20310	27270	28350	23700	26920	26760	1800	3690	1845	4230
jul/21	220	1000	2040	2560	2660	1420	0	10410	7710	15390	23310	12270	23000	14600	21640	24570	26730	29790
ago/21	1000	60	1940	1640	1700	2220	0	6630	7290	14400	16410	8730	20000	18280	21440	22545	28305	27675
set/21	440	0	2280	2100	3200	3480	0	4170	7290	11730	16770	6270	19040	20560	21440	21690	24930	24795
out/21	1360	2100	4560	3440	1840	3760	0	7110	7080	16080	9960	11250	22040	10240	15000	23130	22995	24615
nov/21																		
dez/21																		
Total	20700	30180	36600	22920	35940	30180	95490	137970	110550	209280	221250	153000	233680	217720	182960	95625	104805	111105
Total							927540,00						634360,00			311535,00		

Apêndice C - Horímetros em 2021

Modelo	Axor						RANDOM						CAT			SCANIA		
Período																		
Mês	C0811	C0814	C0816	C0817	C0819	C0820	C4301	C4306	C4313	C4315	C4316	C4317	C4401	C4403	C4404	C5206	C5207	C5208
jan/21	91	175	129	102	169	170	198,6	145,6	197,9	170	224,4	146,1	105,1	135	209,5			
fev/21	137	147	158	25	144	178	111	207,4	61,8	175,6	176,6	208,8	189,8	211,1	136,6			
mar/21	108	161	155	104	149	182	134,4	186,1	56,6	189,8	246,3	182	213,2	220	219,5			
abr/21	162	150	132	182	153	181	137,8	157,3	123,4	167,8	235	87	191,4	200	125,6			
mai/21	153	185	213	184,6	182	208	126,2	237,3	160,6	248,8	157,5	198,2	216	200,5	130,8			
jun/21	115	184	154	169	152	198	146,7	225,2	195	241,9	227	217,2	210,1	203,7	14,6	47,5	34,3	41,8
jul/21	128	175	186	197	197	208	0	198,4	110	214	250,1	179,6	212,5	141,9	203,1	221,1	230,3	229
ago/21	95	59	197	212	160	197	0	98,4	133,2	197,3	192,9	136,7	165,7	153,2	175,3	198,7	206,8	197,4
set/21	200	0	198	182	162	176	0	80,6	135	160,7	185,3	68,7	160,8	165,4	174,5	165,9	178,5	175,2
out/21	154	0	201	156	101	157	0	118,2	121,7	173	157,5	181,5	176,7	83	122,4	180,1	179,8	177,7
nov/21																		
dez/21																		
Total	1343	1236	1723	1513,6	1569	1855	854,7	1654,5	1295,2	1938,9	2052,6	1605,8	1841,3	1713,8	1511,9	813,3	829,7	821,1
Total	9239,60						9401,70						5067,00			2464,10		

Apêndice D - Quantidade de diesel em litros utilizada por modelo - 2021

Modelo	Axor						RANDOM						CAT			SCANIA		
Período																		
Mês	C0811	C0814	C0816	C0817	C0819	C0820	C4301	C4306	C4313	C4315	C4316	C4317	C4401	C4403	C4404	C5206	C5207	C5208
jan/21	709,4	1142,8	958,1	786,6	1383,6	1089,8	2502,3	1630,1	2293,8	3698,6	2644	2066,6	2076,2	2946,8	4633,2	-	-	-
fev/21	1052,2	1186,3	1195,7	207,5	1152,8	1180,5	1340	2307	652,5	2775,4	2452	2798,6	4800,6	5317	3504,1	-	-	-
mar/21	827,8	1274,4	1213	688,4	1344,4	1285,8	1558,7	2019,2	765,2	3297,8	3308,3	2358	4570,6	4563,5	5743,5	-	-	-
abr/21	1245,9	1136,6	1040,1	1341,4	1221,3	1203,8	1943,7	2051	1539,1	2755,1	3337,7	1181,5	4343	4764,9	2591,7	-	-	-
mai/21	1385	1541,5	1603,3	1583,7	1587,4	1536,7	1704,2	2772,9	2037,9	3659,3	2033,2	2591,7	4839	4349,5	2821,2	-	-	-
jun/21	868,4	1435,9	1069,4	1191,4	1231,5	1307,3	1868	2988,1	2462,4	3516,7	2909,3	2700,2	4487,2	4391,1	359,8	513,5	461	536,1
jul/21	734,4	1424,2	1327,4	1281,9	1599,2	1483,4	-	2274,2	1132,3	2736,1	2883,6	2150,6	3605,8	2519,2	3770,1	1927,1	2048,4	2133
ago/21	637,9	362	1269,6	1215,7	1129,6	1305,2	-	1069,6	1525,8	2628,3	2243,2	1751,2	2837,8	2731,7	3308,4	1956,3	2178,2	2188,7
set/21	1109	0	1379,9	1165,4	1092,7	1131,7	-	984,6	1500,1	1990,6	2067,3	848,7	2775,9	3096,5	3428,6	2127,5	2340,7	2317,3
out/21	1057,4	0	1441,2	952,4	757,8	1072,4	-	1713,3	1353,8	2112	1942,5	2245,8	3743,2	1887,4	2869,4	2576,2	2489,9	2347,1
nov/21																		
dez/21																		
Total	9627,4	9503,7	12497,7	10414,4	12500,3	12596,6	10916,9	19810	15262,9	29169,9	25821,1	20692,9	38079,3	36567,6	33030	9100,6	9518,2	9522,2
Total	67140,10						121673,70						107676,90			28141,00		

Apêndice E - Custos de manutenção, lubrificantes e diesel em 2021.

Manutenção																				
Modelo	AXOR							RANDOM						CAT			SCANIA			
Mês		C0811	C0814	C0816	C0817	C0819	C0820	C4301	C4306	C4313	C4315	C4316	C4317	C4401	C4403	C4404	C5206	C5207	C5208	
jan/21		R\$ 0,00	R\$ 1.106,65	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 244,10	R\$ 0,00	R\$ 1.986,33	R\$ 936,42	R\$ 558,34	R\$ 0,00	R\$ 1.072,93	R\$ 2.942,39	R\$ 6.484,15	R\$ 14.313,09	R\$ 7.260,65				
fev/21		R\$ 860,00	R\$ 113,07	R\$ 274,93	R\$ 216,17	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 9.647,11	R\$ 5.391,67	R\$ 1.805,21	R\$ 1.314,10	R\$ 328,81	R\$ 131,96	R\$ 5.054,72	R\$ 3.820,50	R\$ 38.521,48				
mar/21		R\$ 86,15	R\$ 504,00	R\$ 1.008,00	R\$ 530,00	R\$ 678,38	R\$ 622,72	R\$ 349,53	R\$ 1.090,19	R\$ 23.332,03	R\$ 240,84	R\$ 20.676,09	R\$ 3.480,42	R\$ 9.493,75	R\$ 5.971,30	R\$ 8.897,10				
abr/21		R\$ 4.145,48	R\$ 3.459,76	R\$ 37,81	R\$ 1.000,00	R\$ 683,45	R\$ 44,00	R\$ 358,68	R\$ 3.746,65	R\$ 10.406,79	R\$ 12.049,44	R\$ 76,30	R\$ 13.051,12	R\$ 20.934,26	R\$ 7.726,00	R\$ 6.296,97				
mai/21		R\$ 0,00	R\$ 2.386,41	R\$ 1.692,57	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 74,61	R\$ 20.937,04	R\$ 4.260,27	R\$ 104,87	R\$ 3.102,53	R\$ 3.562,24	R\$ 5.405,30	R\$ 8.017,80	R\$ 5.032,11				
jun/21		R\$ 0,00	R\$ 233,12	R\$ 1.363,17	R\$ 2.366,56	R\$ 2.846,40	R\$ 507,27	R\$ 4.257,58	R\$ 788,45	R\$ 2.275,01	R\$ 399,95	R\$ 300,40	R\$ 88,81	R\$ 7.912,80	R\$ 15.530,17	R\$ 22.820,86	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	
jul/21		R\$ 485,00	R\$ 2.016,00	R\$ 1.008,00	R\$ 1.983,88	R\$ 241,94	R\$ 1.034,00	R\$ 3.154,35	R\$ 167,50	R\$ 697,08	R\$ 277,30	R\$ 2.502,00	R\$ 2.032,43	R\$ 6.125,34	R\$ 8.979,17	R\$ 2.478,50	R\$ 530,91	R\$ 530,91	R\$ 436,21	
ago/21		R\$ 1.322,22	R\$ 1.326,67	R\$ 200,97	R\$ 200,97	R\$ 1.612,48	R\$ 565,41	R\$ 0,00	R\$ 793,85	R\$ 254,71	R\$ 241,71	R\$ 19.956,37	R\$ 7.115,80	R\$ 6.027,90	R\$ 31.980,54	R\$ 5.744,90	R\$ 93,33	R\$ 93,33	R\$ 93,34	
set/21		R\$ 0,00	R\$ 320,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 4.918,84	R\$ 4.918,84	R\$ 0,00	R\$ 8.912,50	R\$ 3.197,00	R\$ 1.302,05	R\$ 146,07	R\$ 3.702,23	R\$ 4.669,50	R\$ 4.329,90	R\$ 4.952,50	R\$ 2.940,30	R\$ 1.643,34	R\$ 2.940,30	
out/21		R\$ 221,40	R\$ 188,60	R\$ 0,00	R\$ 290,60	R\$ 3.900,07	R\$ 9.310,16	R\$ 0,00	R\$ 67,32	R\$ 393,92	R\$ 3.534,52	R\$ 1.225,32	R\$ 1.311,69	R\$ 4.556,30	R\$ 4.669,50	R\$ 4.952,50	R\$ 2.084,77	R\$ 3.381,73	R\$ 2.084,77	
nov/21																				
dez/21																				
Total		R\$ 7.120,25	R\$ 11.654,28	R\$ 5.585,45	R\$ 6.588,18	R\$ 15.125,66	R\$ 17.002,40	R\$ 19.828,19	R\$ 42.831,59	R\$ 47.180,36	R\$ 19.464,78	R\$ 49.386,82	R\$ 37.419,09	R\$ 76.664,02	R\$ 105.337,97	R\$ 106.957,57	R\$ 5.649,31	R\$ 5.649,31	R\$ 5.554,62	
Total		R\$ 63.076,22							R\$ 216.110,83						R\$ 288.959,56			R\$ 16.853,24		
Lubrificante																				
Modelo	AXOR							RANDOM						CAT			SCANIA			
Mês		C0811	C0814	C0816	C0817	C0819	C0820	C4301	C4306	C4313	C4315	C4316	C4317	C4401	C4403	C4404	C5206	C5207	C5208	
jan/21		R\$ 14,45	R\$ 0,00	R\$ 28,90	R\$ 0,00	R\$ 477,61	R\$ 14,45	R\$ 541,95	R\$ 688,69	R\$ 369,97	R\$ 778,17	R\$ 1.324,24	R\$ 0,00	R\$ 3.131,19	R\$ 926,61	R\$ 507,48				
fev/21		R\$ 0,00	R\$ 442,75	R\$ 1.173,70	R\$ 871,03	R\$ 707,93	R\$ 0,00	R\$ 479,87	R\$ 521,09	R\$ 419,78	R\$ 991,36	R\$ 639,24	R\$ 840,48	R\$ 847,14	R\$ 336,28	R\$ 974,60				
mar/21		R\$ 14,45	R\$ 77,09	R\$ 40,70	R\$ 133,47	R\$ 0,00	R\$ 726,69	R\$ 417,68	R\$ 853,47	R\$ 5.449,10	R\$ 1.294,15	R\$ 1.024,83	R\$ 1.130,42	R\$ 950,36	R\$ 863,91	R\$ 256,01				
abr/21		R\$ 443,57	R\$ 0,00	R\$ 26,81	R\$ 174,29	R\$ 919,00	R\$ 14,99	R\$ 948,80	R\$ 356,35	R\$ 573,22	R\$ 938,34	R\$ 730,73	R\$ 228,34	R\$ 217,43	R\$ 237,23	R\$ 250,95				
mai/21		R\$ 14,99	R\$ 1.357,25	R\$ 540,91	R\$ 14,99	R\$ 204,31	R\$ 0,00	R\$ 1.192,40	R\$ 1.195,10	R\$ 57,66	R\$ 426,69	R\$ 568,20	R\$ 1.464,36	R\$ 369,54	R\$ 1.786,91	R\$ 1.466,66				
jun/21		R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 27,00	R\$ 1.590,16	R\$ 22,58	R\$ 631,98	R\$ 256,75	R\$ 305,37	R\$ 839,85	R\$ 662,30	R\$ 735,77	R\$ 1.077,01	R\$ 2.672,31	R\$ 252,73	R\$ 3.799,27	R\$ 93,57	R\$ 93,57	R\$ 93,57	
jul/21		R\$ 17,01	R\$ 92,72	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 855,99	R\$ 523,88	R\$ 0,00	R\$ 55,02	R\$ 18,34	R\$ 776,01	R\$ 870,67	R\$ 18,34	R\$ 1.053,87	R\$ 250,88	R\$ 326,83	R\$ 286,84	R\$ 366,20	R\$ 222,21	
ago/21		R\$ 17,52	R\$ 575,73	R\$ 1.165,75	R\$ 0,00	R\$ 144,09	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 67,22	R\$ 916,67	R\$ 879,62	R\$ 671,78	R\$ 732,40	R\$ 225,97	R\$ 2.591,44	R\$ 539,61	R\$ 255,98	R\$ 303,98	R\$ 287,99	
set/21		R\$ 17,87	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 649,61	R\$ 393,02	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 178,11	R\$ 1.171,75	R\$ 578,71	R\$ 112,78	R\$ 176,92	R\$ 135,60	R\$ 203,40	R\$ 579,02	R\$ 438,21	R\$ 515,47	
out/21		R\$ 86,69	R\$ 0,00	R\$ 13,20	R\$ 204,29	R\$ 13,20	R\$ 1.008,09	R\$ 0,00	R\$ 612,82	R\$ 726,96	R\$ 102,14	R\$ 0,00	R\$ 1.046,50	R\$ 168,23	R\$ 213,14	R\$ 1.120,89	R\$ 486,07	R\$ 616,94	R\$ 542,16	
nov/21																				
dez/21																				
Total		R\$ 626,55	R\$ 2.545,54	R\$ 3.016,97	R\$ 3.637,84	R\$ 3.737,73	R\$ 2.920,08	R\$ 3.837,45	R\$ 4.655,13	R\$ 9.549,66	R\$ 8.020,53	R\$ 7.144,17	R\$ 6.650,63	R\$ 9.812,96	R\$ 7.594,73	R\$ 9.445,70	R\$ 1.701,48	R\$ 1.818,90	R\$ 1.661,40	
Total		R\$ 16.484,71							R\$ 39.857,57						R\$ 26.853,39			R\$ 5.181,78		
Diesel																				
Modelo	AXOR							RANDOM						CAT			SCANIA			
Mês		C0811	C0814	C0816	C0817	C0819	C0820	C4301	C4306	C4313	C4315	C4316	C4317	C4401	C4403	C4404	C5206	C5207	C5208	
jan/21		R\$ 2.247,30	R\$ 3.620,26	R\$ 3.035,79	R\$ 2.491,85	R\$ 4.384,03	R\$ 3.452,35	R\$ 7.927,01	R\$ 5.164,29	R\$ 7.266,78	R\$ 11.295,08	R\$ 8.796,26	R\$ 6.547,68	R\$ 6.577,47	R\$ 9.336,06	R\$ 14.678,04				
fev/21		R\$ 3.500,44	R\$ 3.946,16	R\$ 3.977,09	R\$ 690,18	R\$ 3.834,37	R\$ 3.927,53	R\$ 4.457,38	R\$ 7.673,46	R\$ 2.170,31	R\$ 9.232,07	R\$ 8.156,05	R\$ 9.308,90	R\$ 15.967,87	R\$ 17.685,82	R\$ 11.656,18				
mar/21		R\$ 2.908,38	R\$ 4.476,73	R\$ 4.261,41	R\$ 2.418,73	R\$ 4.617,58	R\$ 4.516,77	R\$ 6.038,04	R\$ 7.095,67	R\$ 2.688,84	R\$ 11.587,89	R\$ 11.622,28	R\$ 8.284,68	R\$ 16.362,83	R\$ 17.120,81	R\$ 18.229,01				
abr/21		R\$ 4.372,16	R\$ 3.988,63	R\$ 3.650,01	R\$ 4.707,62	R\$ 4.287,24	R\$ 4.224,43	R\$ 6.820,73	R\$ 7.197,57	R\$ 5.401,67	R\$ 9.668,23	R\$ 11.712,17	R\$ 4.145,83	R\$ 16.153,82	R\$ 16.721,20	R\$ 8.179,37				
mai/21		R\$ 5.120,95	R\$ 5.700,26	R\$ 5.927,24	R\$ 5.856,63	R\$ 5.869,57	R\$ 5.681,40	R\$ 6.301,02	R\$ 10.252,98	R\$ 7.535,39	R\$ 13.528,83	R\$ 7.516,92	R\$ 9.580,13	R\$ 17.889,68	R\$ 16.081,15	R\$ 10.430,08				
jun/21		R\$ 3.276,38	R\$ 5.417,62	R\$ 4.034,27	R\$ 4.494,88	R\$ 4.645,78	R\$ 4.932,11	R\$ 7.047,33	R\$ 11.274,00	R\$ 8.685,71	R\$ 13.870,21	R\$ 10.975,99	R\$ 10.187,51	R\$ 16.930,43	R\$ 16.565,63	R\$ 1.357,33	R\$ 1.911,51	R\$ 1.739,10	R\$ 2.048,44	
jul/21		R\$ 2.832,87	R\$ 5.493,33	R\$ 5.120,37	R\$ 4.944,90	R\$ 6.167,89	R\$ 5.724,35	R\$ 0,00	R\$ 8.774,76	R\$ 4.367,90	R\$ 10.555,10	R\$ 11.123,58	R\$ 8.298,03	R\$ 13.904,37	R\$ 9.716,22	R\$ 14.541,54	R\$ 7.434,12	R\$ 7.901,19	R\$ 8.225,14	
ago/21		R\$ 2.486,14	R\$ 1.410,63	R\$ 4.947,32	R\$ 4.773,15	R\$ 4.402,18	R\$ 5.086,06	R\$ 0,00	R\$ 4.168,75	R\$ 5.943,73	R\$ 10.242,65	R\$ 8.742,41	R\$ 6.824,40	R\$ 11.056,31	R\$ 10.645,58	R\$ 12.892,84	R\$ 7.623,63	R\$ 8.489,10	R\$ 8.528,86	
set/21		R\$ 4.404,73	R\$ 0,00	R\$ 5.481,48	R\$ 4.628,73	R\$ 4.339,99	R\$ 4.495,68	R\$ 0,00	R\$ 3.910,64	R\$ 5.960,48	R\$ 7.905,08	R\$ 8.212,10	R\$ 3.372,05	R\$ 11.025,32	R\$ 12.299,06	R\$ 13.617,71	R\$ 8.426,14	R\$ 9.297,19	R\$ 9.203,85	
out/21		R\$ 4.439,73	R\$ 0,00	R\$ 6.050,48	R\$ 3.998,53	R\$ 3.182,04	R\$ 4.502,27	R\$ 0,00	R\$ 7.194,41	R\$ 5.684,80	R\$ 8.867,71	R\$ 8.156,58	R\$ 9.431,03	R\$ 15.714,11	R\$ 7.923,16	R\$ 12.045,95	R\$ 10.162,76	R\$ 10.452,38	R\$ 10.505,73	
nov/21																				
dez/21																				
Total		R\$ 35.589,08	R\$ 34.053,62	R\$ 46.485,46	R\$ 39.005,20	R\$ 45.730,67	R\$ 46.542,95	R\$ 38.591,51	R\$ 72.706,53	R\$ 55.705,61	R\$ 106.752,85	R\$ 95.014,34	R\$ 75.980,24	R\$ 141.582,21	R\$ 134.094,69	R\$ 117.628,05	R\$ 35.558,16	R\$ 37.878,96	R\$ 38.512,02	
Total		R\$ 247.406,98							R\$ 444.751,08						R\$ 393.304,95			R\$ 111.949,14		

Apêndice F - Custos totais por grupo de caminhões

Custos	AXOR							Total	Composição (%)
		C0811	C0814	C0816	C0817	C0819	C0820		
Manutenção		R\$ 7.120,25	R\$ 11.654,28	R\$ 5.585,45	R\$ 6.588,18	R\$ 15.125,66	R\$ 17.002,40	R\$ 63.076,22	19,29
Lubrificantes		R\$ 626,55	R\$ 2.545,54	R\$ 3.016,97	R\$ 3.637,84	R\$ 3.737,73	R\$ 2.920,08	R\$ 16.484,71	5,04
Diesel		R\$ 35.589,08	R\$ 34.053,62	R\$ 46.485,46	R\$ 39.005,20	R\$ 45.730,67	R\$ 46.542,95	R\$ 247.406,98	75,67
Total		R\$ 43.335,88	R\$ 48.253,44	R\$ 55.087,88	R\$ 49.231,22	R\$ 64.594,06	R\$ 66.465,43	R\$ 326.967,91	

Custos	RANDOM						Total	Composição (%)
	C4301	C4306	C4313	C4315	C4316	C4317		
Manutenção	R\$ 19.828,19	R\$ 42.831,59	R\$ 47.180,36	R\$ 19.464,78	R\$ 49.386,82	R\$ 37.419,09	R\$ 216.110,83	30,84
Lubrificantes	R\$ 3.837,45	R\$ 4.655,13	R\$ 9.549,66	R\$ 8.020,53	R\$ 7.144,17	R\$ 6.650,63	R\$ 39.857,57	5,69
Diesel	R\$ 38.591,51	R\$ 72.706,53	R\$ 55.705,61	R\$ 106.752,85	R\$ 95.014,34	R\$ 75.980,24	R\$ 444.751,08	63,47
Total	R\$ 62.257,15	R\$ 120.193,25	R\$ 112.435,63	R\$ 134.238,16	R\$ 151.545,33	R\$ 120.049,96	R\$ 700.719,48	

Custos	CAT			Total	Composição (%)
	C4401	C4403	C4404		
Manutenção	R\$ 76.664,02	R\$ 105.337,97	R\$ 106.957,57	R\$ 288.959,56	40,75
Lubrificantes	R\$ 9.812,96	R\$ 7.594,73	R\$ 9.445,70	R\$ 26.853,39	3,79
Diesel	R\$ 141.582,21	R\$ 134.094,69	R\$ 117.628,05	R\$ 393.304,95	55,46
Total	R\$ 228.059,19	R\$ 247.027,39	R\$ 234.031,32	R\$ 709.117,90	

Custos	SCANIA			Total	Composição (%)
	C5206	C5207	C5208		
Manutenção	R\$ 5.649,31	R\$ 5.649,31	R\$ 5.554,62	R\$ 16.853,24	12,58
Lubrificantes	R\$ 1.701,48	R\$ 1.818,90	R\$ 1.661,40	R\$ 5.181,78	3,87
Diesel	R\$ 35.558,16	R\$ 37.878,96	R\$ 38.512,02	R\$ 111.949,14	83,55
Total	R\$ 42.908,95	R\$ 45.347,17	R\$ 45.728,04	R\$ 133.984,16	