

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ANÁLISE DO CÁLCULO E DA INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS OPERACIONAIS  
NA PRODUTIVIDADE DE CAMINHÕES BASCULANTES EM UMA MINA A CÉU  
ABERTO**

**JOÃO PEDRO SILVA FAGUNDES**

**BELO HORIZONTE – MG  
JUNHO DE 2019**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS**

**ANÁLISE DO CÁLCULO E DA INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS OPERACIONAIS  
NA PRODUTIVIDADE DE CAMINHÕES BASCULANTES EM UMA MINA À CÉU  
ABERTO**

**Autor: JOÃO PEDRO SILVA FAGUNDES**

**Orientadora: PROFA. MA. VIVIANE DA SILVA BORGES BARBOSA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais como parte obrigatória para obtenção do título de bacharel.

**BELO HORIZONTE – MG  
JUNHO 2019**

## RESUMO

Esse trabalho discorre sobre a produtividade de caminhões e a sua importância para uma atividade minerária. A produtividade é um indicador de extrema importância para a operação de mina e um desempenho inferior ao planejado acarreta em maiores custos para a atividade. Neste estudo, são apresentados os principais parâmetros que influenciam na produtividade de caminhões em uma mina à céu aberto e como utilizá-los, visando a melhor produtividade da operação. Também é exposto como é realizado o cálculo de produtividade e a importância do cálculo correto. No estudo de caso realizado, são apresentados os dados de produtividade de caminhões basculantes de uma empresa que presta serviços para uma mineradora. A partir da análise dos dados, são identificados gargalos e soluções são propostas, visando um melhor desempenho para a empresa. Além disso, é feito um estudo de como a produtividade da empresa é afetada mês a mês pelos diferentes parâmetros operacionais.

**Palavras-chave:** Produtividade, caminhões, operação de mina, parâmetros operacionais.

## **ABSTRACT**

This work discusses the productivity of trucks and his importance to a mining activity. Productivity is an important indicator for mine operation and a performance lower than planned leads to higher costs for the activity. In this study, we present the main parameters that influence the productivity of trucks in an open pit and how to use them, aiming at the best productivity of the operation. It is also exposed how is calculated the productivity and the importance of the correct calculation. In the case study, the productivity data of trucks of a company that provides services to a mining company is presented. From the data analysis, problems are identified and solutions for them are proposed, aiming at a better performance for the company. Besides that, a study is made of how the productivity of the company is affected month by month by the different operating parameters.

**Key words:** Productivity, trucks, mine operations, operating parameters.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo de trabalho dos caminhões. ....	13
Figura 2 - Relação de compatibilidade entre caminhões fora-de-estrada e escavadeiras hidráulicas.....	17
Figura 3 – Relação de compatibilidade entre caminhões fora de estrada e retroescavadeiras hidráulicas.....	18
Figura 4 – Caminhões posicionados para maior rendimento. ....	19
Figura 5 – Exemplo de posicionamento correto entre caminhão e escavadeira.....	19
Figura 6 – Exemplo de posicionamento correto entre caminhão e pá-carregadeira.....	20

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Velocidade média por faixa de distância trabalhada. ....	25
Tabela 2 – Tempos de ciclo por faixa de distância.....	26
Tabela 3 – Viagens por hora em cada faixa de distância.....	26
Tabela 4 – Produção de caminhões por faixa de distância.....	28
Tabela 5 – Horas necessárias de trabalho pelos caminhões. ....	29
Tabela 6 – Meta de produtividade da empresa. ....	29
Tabela 7 – Tempos de deslocamentos improdutivos – setembro a novembro de 2018. ....	33
Tabela 8 – Porcentagem do tempo em marcha lenta por faixa de distância.....	36
Tabela 9 – Comparação entre a produtividade de caminhões calculada pelos horímetros e pelo sistema de gerenciamento de frota da mina. ....	43
Tabela 10 – Produtividade dos caminhões basculantes da JPX pelo sistema de gerenciamento de frota da mina. ....	44
Tabela 11 – Horários de trabalho por turno na JPX. ....	51

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Produtividade de caminhões basculantes da JPX – janeiro a novembro de 2018.	30
Gráfico 2 – Produtividade de caminhões basculantes da JPX, após análise de deslocamentos improdutivos – janeiro a novembro de 2018.	34
Gráfico 3 – Tempo em marcha lenta dos caminhões basculantes da JPX.	38
Gráfico 4 – Produtividade de caminhões basculantes da JPX, entre dezembro de 2018 a fevereiro de 2019.	39
Gráfico 5 – Consumo de diesel dos caminhões basculantes de JPX.	42
Gráfico 6 – DMT mensal percorrida pelos caminhões da JPX.	45
Gráfico 7 – Produtividade efetiva de caminhões.	46
Gráfico 8 – Velocidade média dos caminhões.	47
Gráfico 9 – Precipitação mensal total.	48
Gráfico 10 – Carga média por viagem dos caminhões.	49
Gráfico 11 – Relação estéril-minério transportada.	50
Gráfico 12 – Produtividade de caminhões por turno.	52

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>1.1 Objetivos .....</b>	<b>11</b>
1.1.1 Objetivos específicos .....	11
<b>2. PRODUTIVIDADE DE CAMINHÕES BASCULANTES EM UMA MINA À CÉU ABERTO....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Cálculo de Produtividade de Caminhões.....</b>	<b>14</b>
2.1.1 Produtividade Efetiva .....	14
2.1.2 Produtividade Global.....	15
<b>2.2 Parâmetros operacionais que afetam a produtividade de caminhões .....</b>	<b>15</b>
2.2.1 Distância Média de Trabalho (DMT).....	15
2.2.2 Velocidade Média do Caminhão.....	16
2.2.3 Tempo para Carregamento e Descarregamento do Caminhão .....	16
2.2.4 Tempo para Manobra do Caminhão .....	19
2.2.5 Carga média dos Caminhões .....	20
2.2.6 Regime de Chuvas da Região.....	21
2.2.7 Políticas de Segurança da Mina.....	22
<b>3. ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>23</b>
<b>3.1 Análise dos dados de produtividade dos caminhões .....</b>	<b>24</b>
3.1.1 Cálculo da meta de produtividade de caminhões .....	24
3.1.2 Produtividade real de caminhões da empresa JPX.....	29
<b>3.2 Críticas e soluções para o problema de baixa produtividade na JPX.....</b>	<b>30</b>
3.2.1 Detecção do problema de produtividade na JPX .....	30
3.2.2 Solução para o problema da baixa produtividade de caminhões na JPX.....	31
3.2.3 Produtividade de caminhões após análise de deslocamentos improdutivos .....	33
<b>3.3 Novo gargalo na produtividade de caminhões basculantes .....</b>	<b>34</b>
3.3.1 Identificação da causa da baixa produtividade de caminhões basculantes.....	34
3.3.2 Solução do gargalo da produtividade de caminhões, através do controle de tempo em marcha lenta.....	37
<b>3.4 Conclusões relativas ao gargalo da produtividade de caminhões basculantes na JPX no ano de 2018.....</b>	<b>39</b>
3.4.1 Uso de horímetros para o cálculo da produtividade .....	40
3.4.2 Relação entre a meta e produtividade real.....	40
3.4.3 Sistema de telemetria para monitoramento .....	41
3.4.4 Importância de um sistema de gerenciamento de frota .....	42

<b>3.5 Interferência dos diferentes parâmetros operacionais na produtividade de caminhões da empresa JPX.....</b>	<b>44</b>
3.5.1 Influência da distância média de transporte (DMT).....	45
3.5.2 Influência da velocidade média dos caminhões .....	46
3.5.3 Influência da carga média transportada por viagem.....	48
<b>3.6 Parâmetros mais influentes na produtividade .....</b>	<b>50</b>
<b>3.7 Produtividade por turno de trabalho.....</b>	<b>51</b>
<b>4. CONCLUSÃO.....</b>	<b>53</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>55</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Uma mina à céu aberto possui uma estrutura complexa, com vários fatores interligados e isolados que afetam a produção e operação da mesma. A fase operacional de uma atividade mineral é precedida de diversas etapas, tais como a prospecção e pesquisa mineral, estudo de mercado e planejamento de lavra. Essa última etapa está diretamente ligada a fase operacional da mina.

A constante busca pelo aumento da produtividade e redução de custos, aliada a grande demanda de bens minerais do mercado mundial, propicia e estimula o desenvolvimento e aperfeiçoamento de ferramentas e métodos que auxiliem a tomada de decisão na rotina de trabalho de planejamento e operações de mineração.

A extração mineral a céu aberto é caracterizada por ser uma atividade de alto custo de investimento, na qual o processo de tomada de decisão possui uma elevada complexidade devido às características estocásticas do sistema.

A atratividade dos preços das *commodities* e a expansão da economia de diversos países emergentes resultaram em forte aporte de investimentos na indústria de mineração. Novas tecnologias de avaliação de reservas e planejamento de lavra foram desenvolvidas a partir do advento da computação. Diversos *softwares* de planejamento de lavra, avaliação geoestatística de depósitos, algoritmos de otimização de cava, dimensionamento e alocação de frota facilitaram e melhoraram o desempenho dos processos na mineração mundial.

Estudos mostram que, para a definição do tipo de equipamentos e sistemas a serem utilizados para o manuseio de minérios, a média ou longa distância, diversos aspectos devem ser considerados e avaliados, entre os quais, capacidade manuseada, distância de transporte, topografia do terreno, infraestrutura disponível na região, interferência com o meio ambiente e economicidade.

Para a realização de um planejamento de lavra eficiente de uma mina, é necessário levar em consideração diversos parâmetros que afetam a produção, produtividade e a operação em uma mina à céu aberto. Esses fatores são variados, podendo ser externos ou internos. Alguns dos

fatores externos que afetam diretamente a produção, por exemplo, são as condições climáticas variáveis ao longo do ano e as condições de mercado do mineral explotado. Já alguns parâmetros internos são a distância média de transporte que os caminhões devem percorrer, condições das pistas, velocidade média dos caminhões, porte dos caminhões e escavadeiras utilizados na operação e as políticas de segurança de trabalho da empresa.

Nesse trabalho será feita a análise desses diferentes parâmetros operacionais, mostrando como eles afetam a produtividade em uma mina à céu aberto que utiliza caminhões rodoviários, escavadeiras e pás-carregadeiras em seu sistema de carregamento e transporte de minério.

## **1.1 Objetivos**

O objetivo deste trabalho é estudar e analisar os diferentes parâmetros operacionais que afetam os dados de produtividade de caminhões basculantes em uma mina à céu aberto, por meio de um estudo de caso. Além disso, serão analisados os resultados de produtividade de caminhões em uma atividade mineira, identificando gargalos para propor formas de corrigir os problemas encontrados.

### **1.1.1 Objetivos específicos**

- Analisar como é realizado o cálculo de produtividade de caminhões em uma empresa que presta serviços em mineração;
- Verificar os resultados alcançados pela empresa;
- Propor e implementar soluções para problemas encontrados em relação a produtividade;
- Analisar a interferência de parâmetros operacionais na produtividade da empresa, em diferentes períodos de estudo.

## **2. PRODUTIVIDADE DE CAMINHÕES BASCULANTES EM UMA MINA À CÉU ABERTO**

As operações de carregamento e transporte são um dos principais processos de produção na mineração, pois impactam diretamente os índices de produtividade em cada frente de lavra. A produtividade de caminhões é um parâmetro operacional de fundamental importância para toda atividade mineral. Ela mede a quantidade de material transportada em uma hora de trabalho dos caminhões, desse modo a unidade de medida utilizada, na maioria dos casos, é a tonelada transportada por hora.

Segundo Hartman e Mutmasky (2002), as atividades de mineração são realizadas de maneira cíclica, usando uma série de etapas fundamentais para transportar o material que está sendo extraído. Essas etapas são chamadas de operações unitárias de mineração, no qual se tem, geralmente, a perfuração, o desmonte, o carregamento e o transporte.

Segundo Coutinho (2017), o ciclo de produção dos caminhões se inicia na alocação do caminhão para alguma atividade e é realizada, em muitos casos, pela sala de controle do sistema de gerenciamento de frota. Pode ser realizada uma alocação dinâmica, buscando-se uma otimização de produção através de algoritmos computacionais ou pode ser feita manualmente, buscando a fixação da frota em determinada frente de lavra.

A partir da alocação, o caminhão desloca-se vazio para a frente de lavra designada. Nesse momento de deslocamento vazio, o peso transportado na caçamba é nulo, pois ele ainda não foi carregado com material. Em seguida, tem-se a atividade de manobra para carregamento, quando o caminhão deve manobrar para posicionar sua caçamba próxima ao equipamento de carga, a fim de que seja feito o despejo de material. Depois de posicionado, dá-se início ao carregamento, definido como um conjunto de passes necessários para atingir a capacidade de carga do equipamento. Com o caminhão carregado de material, ele desloca-se cheio até o seu destino final, que pode ser, por exemplo, um britador, no caso do minério, ou pilha de estéril. Chegando ao seu destino, inicia-se a manobra para descarga e basculamento, quando é realizado o despejo e esvaziamento completo de material contido na caçamba, encerrando, assim, o seu completo ciclo. A Figura 1 mostra o ciclo de trabalho de um caminhão.



Figura 1 - Ciclo de trabalho dos caminhões.  
Fonte: Samarco Mineração.

Sousa Júnior (2012) destaca que, em geral, tarefas como carregamento, transporte, descarregamento e retorno são repetidas continuamente. A contabilização do tempo necessário para a realização de cada tarefa faz com que o somatório dos tempos necessário para completar um ciclo seja chamado de “tempo de ciclo”.

O tempo de ciclo é um indicador essencial para se medir a produtividade no transporte. Segundo Burt e Cacceta (2014), numa operação de mina em larga escala de produção, o tempo de ciclo dos caminhões deve estar na faixa de 20 a 30 minutos no total, porém esse valor pode variar de acordo com seu destino e condições da mina.

A produtividade dos caminhões está diretamente atrelada ao custo de investimento em uma mineração, já que, através dela, é possível dimensionar a quantidade de caminhões basculantes e a capacidade dos mesmos necessárias para movimentar uma determinada quantidade de material em um intervalo de tempo pré-determinado. Segundo Borges (2013), um erro no dimensionamento dos equipamentos pode levar a empresa a super ou subestimar os equipamentos, o que pode gerar diminuição de produtividade e aumento de custos.

## 2.1 Cálculo de Produtividade de Caminhões

O cálculo de produtividade de caminhões pode ser realizado de duas maneiras diferentes. É possível calcular a produtividade efetiva e a global.

### 2.1.1 Produtividade Efetiva

É levado em consideração a produção em massa dos caminhões e as horas efetivas de trabalho dos equipamentos, que englobam apenas o tempo no qual o caminhão basculante estava efetivamente voltado para a produção, ou seja, realizando uma das etapas do seu ciclo de transporte de material dentro da mina. É o tempo gasto para o veículo manobrar na frente de serviço, de ser carregado por uma máquina, percorrer a distância necessária até a área de descarga, realizar o basculamento e retornar vazio até a área de carregamento.

A produtividade efetiva é mais facilmente calculada e analisada em atividades mineiras que possuem um sistema de gerenciamento de frota à disposição. Os sistemas de gerenciamento de frota surgiram a fim de alocar os recursos de maneira ótima, pois os custos associados ao transporte influenciam a escolha de onde retirar minério (RODRIGUES, 2006).

Desse modo, um sistema de gerenciamento de frota é de fundamental importância para análise do desempenho de uma operação de mina. Sem esse sistema, o cálculo da produtividade efetiva de caminhões é realizado através de partes diárias, onde o motorista anota o horímetro inicial e final do equipamento. Porém, a marcação dos atrasos operacionais gerados pela operação fica prejudicada, muitas vezes por esquecimento ou erros humanos de anotação. Assim, há uma dificuldade para a medição das horas de trabalho efetivas através de partes diárias e horímetros.

A produtividade efetiva seria calculada pela seguinte equação:

$$P_{ef} = M / H_{eft}$$

Onde,

$P_{ef}$ : Produtividade efetiva;

M: Massa transportada pelos caminhões (em toneladas ou metros cúbicos);

$H_{\text{eff}}$ : Horas efetivas de trabalho pelos caminhões.

### **2.1.2 Produtividade Global**

Para a produtividade global considera-se, além da produção em massa dos caminhões, todas as horas de utilização física dos mesmos. Ou seja, o tempo em trabalho efetivo adicionado aos tempos de atrasos operacionais, como deslocamentos para período de alimentação, trocas de turnos, trocas de frentes de serviços, tempo em fila para bascular, tempo em fila para carregamento, tempo esperando reparos das pistas, entre outros atrasos frequentes em uma atividade mineira.

As horas de utilização física dos caminhões podem ser fornecidas pelo sistema de gerenciamento de frota da mina ou, quando esse recurso não está disponível, considerando a diferença entre o horímetro final e inicial do caminhão em um determinado período de tempo.

O entendimento dos fatores que englobam os atrasos operacionais é de grande importância para os gestores da frota da mina. Como resultado, é possível reduzir o tempo gasto em trocas de turno, pausa da alimentação, entre outros, e, assim, aumentar a produção dos caminhões sem que isso implique em custos de investimentos.

Quanto mais a produtividade global se aproximar à produtividade efetiva, melhor é o desempenho da operação. Isso mostra que a equipe de trabalho da mina conseguiu minimizar as perdas de tempo e produção devido aos atrasos operacionais da atividade.

## **2.2 Parâmetros operacionais que afetam a produtividade de caminhões**

### **2.2.1 Distância Média de Trabalho (DMT)**

Quanto maior for a distância percorrida pelo caminhão entre a frente de carregamento do material até a área de descarga, menor será a produtividade do mesmo. Isso se deve ao fato de que com uma maior quilometragem para percorrer, o equipamento de transporte necessita de

mais tempo para completar seu ciclo de trabalho. Logo, ele transportará menos material em um mesmo intervalo de tempo se comparado a um ciclo com distância inferior tendo, dessa maneira, menor produtividade, como mostra a Relação 1.

$$\text{DMT} \uparrow \times \text{Produtividade} \downarrow$$

Relação 1 – Proporcionalidade inversa entre a DMT e a Produtividade.

### 2.2.2 Velocidade Média do Caminhão

A velocidade média dos caminhões é diretamente proporcional à produtividade dos mesmos. Quanto maior a velocidade, menos tempo será gasto no trajeto do equipamento e, conseqüentemente, maior será a produção por hora da mina, como mostra a Relação 2.

$$\text{Velocidade Média} \uparrow \times \text{Produtividade} \uparrow$$

Relação 2 – Proporcionalidade direta entre a Velocidade Média e a Produtividade.

### 2.2.3 Tempo para Carregamento e Descarregamento do Caminhão

O tempo de carregamento e descarregamento faz parte do ciclo de trabalho de um caminhão, logo, quanto mais ágil for o equipamento de carga (escavadeiras, pás-carregadeiras, etc) e menor o tempo de basculamento do veículo, menos tempo será gasto para a execução do ciclo. Desse modo, a produtividade aumenta à medida que o tempo destinado para carregamento e descarregamento dos caminhões diminui, como mostra a Relação 3.

$$\text{Tempo para Carga e Descarga} \uparrow \times \text{Produtividade} \downarrow$$

Relação 3 – Proporcionalidade inversa entre o Tempo para Carga e Descarga e a Produtividade.

É de vital importância para a produtividade da mina que os equipamentos de carga e transporte apresentem uma compatibilidade. De acordo com o porte dos caminhões, é possível indicar a escavadeira que melhor se adequa a operação de mina. As Figuras 2 e 3

exemplificam, respectivamente, a relação de compatibilidade entre caminhões fora-de-estrada e escavadeiras e retroescavadeiras.

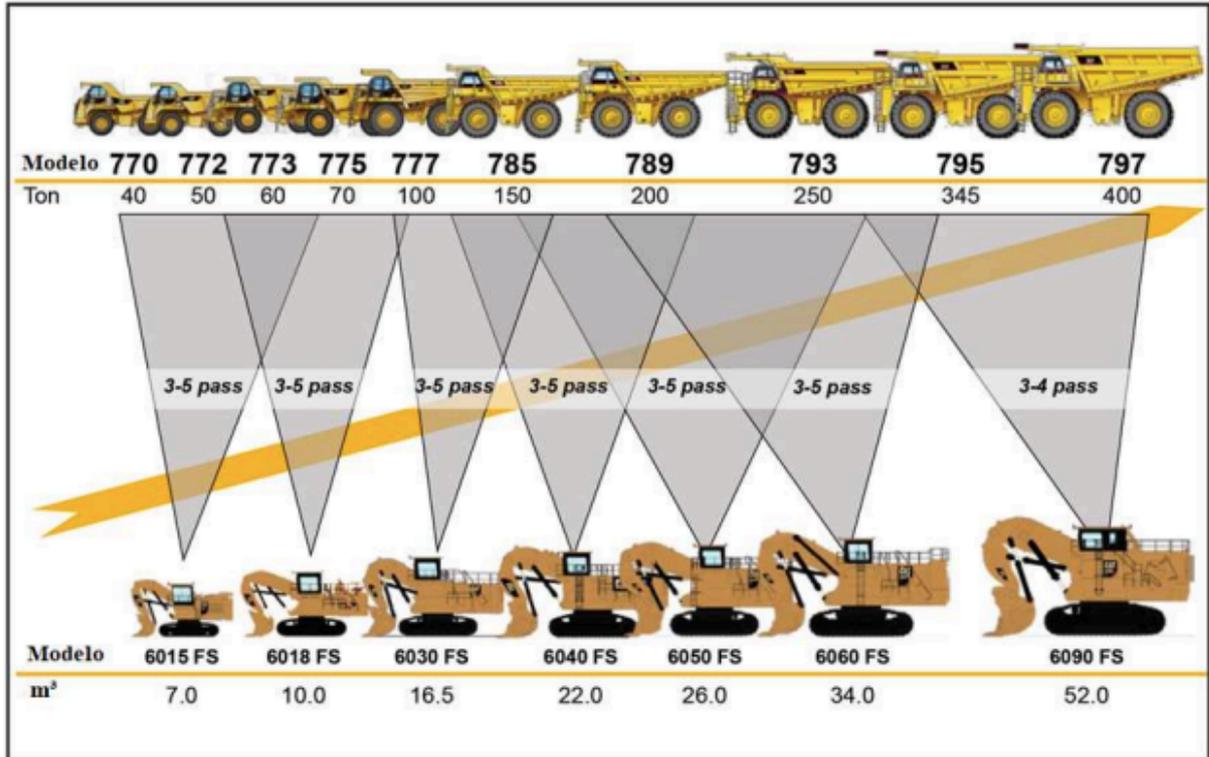


Figura 2 - Relação de compatibilidade entre caminhões fora-de-estrada e escavadeiras hidráulicas.

Fonte: Caterpillar (2013).

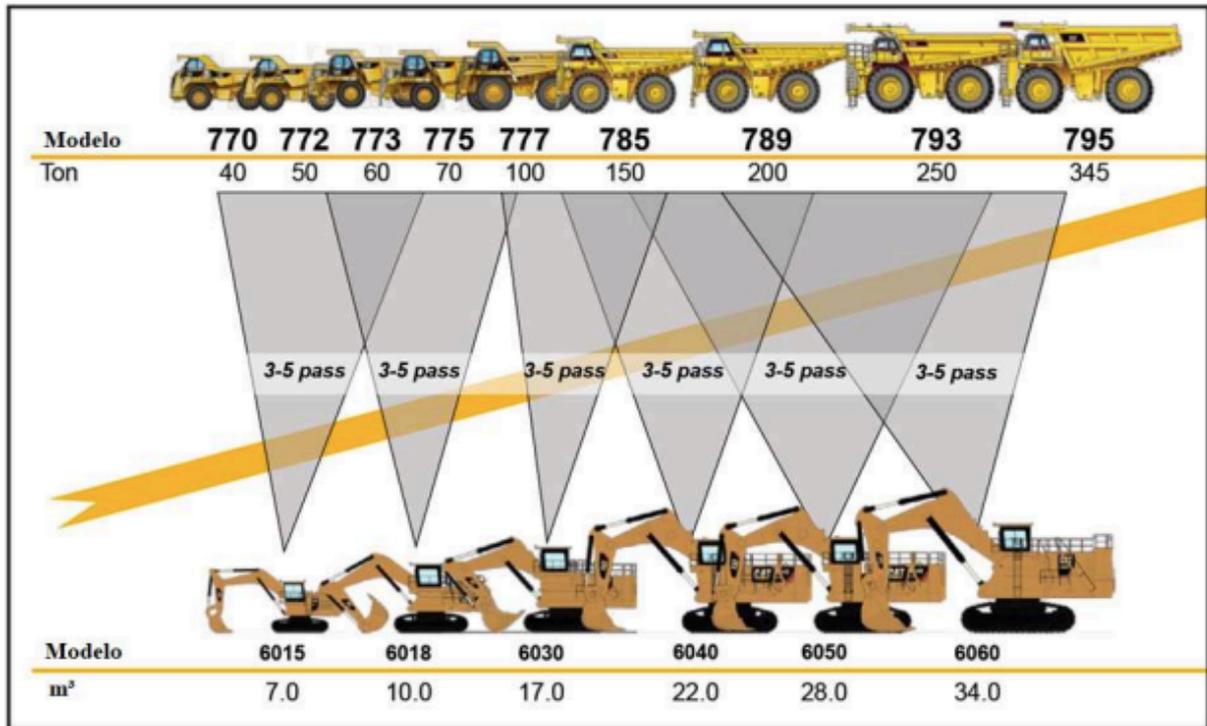


Figura 3 – Relação de compatibilidade entre caminhões fora de estrada e retroescavadeiras hidráulicas.

Fonte: Caterpillar (2013).

Passe é considerado como um ciclo de carregamento, incluindo as etapas: avanço até a pilha de material, recuo com caçamba carregada, avanço até o caminhão, descarga e retorno (COUTINHO, 2017). O tempo de ciclo ideal para cada carregamento, na maioria das situações, está dentro do intervalo de 28 a 42 segundos.

A relação ótima do número de passes não deve ser menor do que três e nem maior do que seis. Quando isto ocorrer, a adequação do equipamento de carregamento ou transporte deve ser revista para aperfeiçoar o tempo de ciclo do sistema de carregamento e transporte (PERONI, 2015).

Quando uma escavadeira de porte maior carregar um caminhão, ela irá preencher o caminhão com menos passes do que o ideal, eventualmente adicionando um peso maior do que o suportado por eixo a cada passe, o que pode sobrecarregar e afetar o caminhão a longo prazo. Já quando a escavadeira é de menor porte, ela precisará de um maior número de passes para o carregamento e isso afetará a produtividade tanto do caminhão, como da escavadeira.

## 2.2.4 Tempo para Manobra do Caminhão

O veículo necessita entrar na frente de serviço do equipamento de carga na posição adequada, realizando, assim, manobras para atender esta necessidade. O mesmo acontece na descarga, quando é solicitado para o caminhão realizar o basculamento do material em um local específico. Sendo assim, é preciso uma área de manobra adequada e ampla, tanto para o basculamento como para o carregamento, para que, desse modo, o tempo de serviço do caminhão seja otimizado. As Figuras 4 e 5 mostram exemplos de posicionamento correto entre caminhão e escavadeira, já a Figura 6 mostra o posicionamento entre caminhão e pá-carregadeira.



Figura 4 – Caminhões posicionados para maior rendimento.

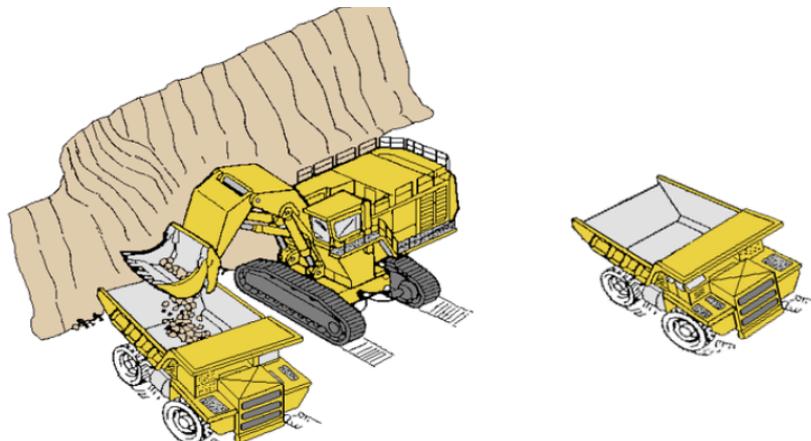


Figura 5 – Exemplo de posicionamento correto entre caminhão e escavadeira.

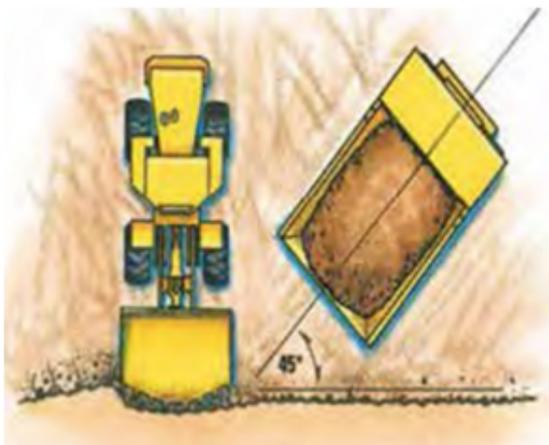


Figura 6 – Exemplo de posicionamento correto entre caminhão e pá-carregadeira

Se a área disponível para o equipamento manobrar não apresentar o espaço adequado, fazendo com que o mesmo realize manobras extras, o tempo de ciclo aumentará e, conseqüentemente, a produtividade irá diminuir. Ou seja, o tempo gasto com manobras é inversamente proporcional à produtividade, como mostra a Relação 4.

$$\text{Tempo para Manobra} \uparrow \quad \times \quad \text{Produtividade} \downarrow$$

Relação 4 – Proporcionalidade inversa entre o Tempo para Manobra e a Produtividade.

### 2.2.5 Carga média dos Caminhões

A produtividade de uma mina à céu aberto está diretamente relacionada à carga média transportada pelos caminhões. Geralmente, quanto mais material o equipamento transportar em uma única viagem, mais ele irá produzir em um mesmo intervalo de tempo, como mostra a Relação 5.

$$\text{Carga média dos caminhões} \uparrow \quad \times \quad \text{Produtividade} \uparrow$$

Relação 5 – Proporcionalidade direta entre a Carga média dos caminhões e a Produtividade.

Os caminhões possuem especificações, fornecidas pelo fabricante, de peso máximo suportado pelo veículo. Essa informação depende muito do porte do equipamento e do tamanho de sua

caçamba e é muito importante respeitar o limite imposto, para evitar gastos futuros com manutenções e preservar a segurança do motorista.

Com a necessidade de respeitar o limite de peso por viagem imposto pelo fabricante e a capacidade da báscula, a carga média do caminhão depende diretamente do material transportado. Em uma mineração de minério de ferro, por exemplo, há uma diferença considerável de densidade entre o minério e o material estéril.

Outro fator importante que deve ser levado em consideração é o empolamento do material a ser transportado. Segundo Borges (2013), empolamento é o aumento aparente de volume que a rocha apresenta depois de fragmentada, ou mais amplamente, é o aumento aparente de volume em relação a um estado anterior de maior compactação. Desse modo, quanto maior o empolamento do material, menor será a carga média do caminhão, considerando um volume igual de ambos.

### **2.2.6 Regime de Chuvas da Região**

O clima da região onde uma mina à céu aberto está alocada é de importância vital para o planejamento de produção a longo prazo. Durante o período de chuvas no local, já é previsto uma produção e produtividade inferior ao restante do ano. Isso se deve ao fato da chuva afetar as condições de segurança da mina.

Com chuvas frequentes, a visibilidade do motorista é afetada, os acessos da mina ficam prejudicados e apresentam falhas e, dependendo da intensidade da chuva, a operação na área torna-se insegura, levando os caminhões a pararem ou se deslocarem para o pátio de estacionamento para esperar melhores condições. Todas essas consequências geradas durante a chuva afetam a produtividade dos caminhões. O motorista terá que dirigir em uma velocidade inferior e, muitas vezes, transportando uma quantidade de material inferior à sua média de peso, já que a atenção com a segurança, enquanto os acessos estiverem prejudicados pelo aumento de umidade, necessita ser redobrada. A Relação 6 explicita a proporcionalidade direta entre o índice pluviométrico da região e a produtividade

Índice Pluviométrico da Região ↑ × Produtividade ↓

Relação 6 – Proporcionalidade inversa entre o Índice Pluviométrico da Região e a Produtividade.

### 2.2.7 Políticas de Segurança da Mina

Na atualidade, é dada uma ênfase maior no que diz respeito à segurança e saúde do trabalho. As mineradoras, como qualquer outra empresa, devem prezar pela saúde e segurança de todos os seus funcionários. Desse modo, devem ser adotadas regras no interior de uma mina a fim de evitar que qualquer tipo de acidente aconteça.

Um exemplo de regra de segurança em uma atividade mineira é a adoção de um limite de velocidade para todos os veículos no interior da mina. A velocidade máxima afeta diretamente a velocidade média dos caminhões, já que limita o veículo e o impede de usufruir de sua potência máxima. Assim, é possível averiguar que quanto menor for a velocidade máxima permitida dentro de uma mineração, menor será a produtividade dos caminhões.

Outra regra comumente utilizada relaciona-se com a capacidade máxima para transporte dos caminhões. Normalmente, o fabricante fornece o limite de tonelagem que os veículos podem transportar em uma só viagem e esse limite deve ser obedecido pela mineradora. Caso contrário, o equipamento pode perder sua garantia e prejudicar seus sistemas mecânicos, como o freio de motor. Adicionalmente, a não observância dessa limitação pode acarretar em graves acidentes. Assim, quanto mais rígido for o limite de carga para transporte nas caçambas dos caminhões, menor será a produtividade dos mesmos.

As políticas de segurança também agem pontualmente na operação de mina. Por exemplo, em um local onde é comum a incidência de neblina, afetando a visibilidade dos motoristas, se faz necessário uma maior atuação da segurança da empresa, sendo preciso, muitas vezes, a paralisação das atividades até que a visibilidade esteja adequada.

As condições dos acessos também podem influenciar a produtividade da mina, já que, para evitar acidentes, muitas vezes é determinado a paralisação dos caminhões para a manutenção da pista ou a mudança de trajeto dos mesmos, aumentando a DMT em muitos dos casos.

### 3. ESTUDO DE CASO

Neste estudo de caso, será analisada a atividade operacional em uma mina à céu aberto localizada na região metropolitana de Belo Horizonte. Essa mina possui como produto o minério de ferro e terceiriza todo seu serviço de carregamento e transporte de materiais. Para uma melhor análise e estudo, serão apresentados dados e situações vivenciadas em uma das empresas terceirizadas, com nome fictício JPX.

A mina é de grande porte, movimentando cerca de 6 milhões de toneladas de minério bruto anualmente e, para isso, trabalha 24 horas por dia, 7 dias na semana. As suas atividades são divididas em 3 turnos de 8 horas cada um, sendo previsto 1 hora de pausa para refeições em cada turno.

Existem duas empresas terceirizadas que dividem o trabalho operacional e de infraestrutura da mina. Ambas as empresas são responsáveis pelas máquinas, equipamentos e, também, pelos funcionários, que são operadores de máquinas, motoristas de caminhões, supervisores de operação, manobreiros, mecânicos, lubrificadores, lavadores, técnicos de segurança e demais funcionários administrativos.

Para a atividade de carregamento de minério e estéril são utilizadas escavadeiras hidráulicas, com caçambas de 2,40 metros cúbicos de capacidade. Para o transporte desses materiais dentro da mina, são utilizados caminhões rodoviários, com caçambas de 14 metros cúbicos e tonelagem máxima de transporte de 40 toneladas, por questões de segurança e solicitação do fabricante.

Como forma de controle de produção, a JPX utiliza o sistema de partes diárias, que devem ser preenchidas por todos os operadores e motoristas em cada turno de serviço. Por ser um sistema incompleto e bastante suscetível a erros e perdas, a mineradora contratante do serviço possui um sistema de gerenciamento de frota para melhor avaliar seus resultados.

Serão mostrados e analisados os dados de produtividade dos caminhões da empresa JPX. Desse modo, será possível ter uma visão mais prática de como é realizado o cálculo da

produtividade e como os diversos parâmetros operacionais afetam os números de toneladas transportadas por hora em uma mineradora.

### **3.1 Análise dos dados de produtividade dos caminhões**

Para uma melhor análise do desempenho da operação, é necessário o cálculo da meta de produtividade de caminhões. Assim, é possível verificar se os números atingidos são satisfatórios e se atingem os objetivos, avaliando a operação e o gestor responsável pela frota.

#### **3.1.1 Cálculo da meta de produtividade de caminhões**

A meta de produtividade de caminhões é calculada todo mês na empresa JPX a partir dos dados de produção obtidos no respectivo período. Para chegar ao número ideal de toneladas produzidas por hora trabalhada, é levado em consideração parâmetros de fundamental importância em uma operação de mina à céu aberto, como:

- Distribuição da produção por faixa de distância (DMT);
- Velocidade média do caminhão carregado e vazio;
- Tempo para carga do caminhão;
- Tempo para descarga (basculamento);
- Tempo para manobra do caminhão (tanto para a carga, quanto para a descarga);
- Média de peso de caminhões por viagem;
- Massa total transportada no período em análise.

A partir dos dados do sistema de gerenciamento de frota da mina, a JPX obtém a distribuição de sua produção no mês, por faixa de distância. A empresa trabalha, em sua maioria, com 10 faixas de distância que variam de 500 em 500 metros. Isso ocorre porque a JPX recebe da mineradora um valor unitário diferente por tonelada transportada para cada faixa de distância.

Também é necessário ter um histórico das velocidades médias do caminhão, tanto carregado como descarregado, nas diferentes faixas de distância. Para efeitos de cálculo, é considerado a

mesma velocidade média para a ida (carregado) e para a volta (vazio) do caminhão, realizando assim, uma média geral da velocidade de ida e volta no trajeto. As faixas de distância trabalhadas, a distância percorrida em cada uma delas e as velocidades médias consideradas para o cálculo podem ser vistas na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 – Velocidade média por faixa de distância trabalhada.

	Distância 0	Distância 1	Distância 2	Distância 3	Distância 4	Distância 5	Distância 6	Distância 7	Distância 8	Distância 9
Faixa de DMT (m)	0000-0500	0501-1000	1001-1500	1501-2000	2001-2500	2501-3000	3001-3500	3501-4000	4000-4500	4501-5000
Distância percorrida - Ida (m)	0500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
Velocidade média carregado (km/h)	7,8	13,0	15,5	15,5	17,0	17,5	19,0	19,0	19,0	19,0
Distância percorrida - Volta (m)	0500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
Velocidade média vazio (km/h)	7,8	13,0	15,5	15,5	17,0	17,5	19,0	19,0	19,0	19,0

Com os dados sobre a velocidade média e distância total percorrida, é possível calcular o tempo de trajeto do caminhão. Para isso, é preciso dividir a distância percorrida na ida, em metros, pela velocidade média carregado, em metros por segundo. O mesmo procedimento é repetido para o trajeto de volta do caminhão. A soma do tempo gasto na ida e na volta, fornece o tempo total de trajeto, como mostra a equação a seguir.

$$T_t = [D_i/(V_c/3,6)]/60 + [D_v/(V_v/3,6)]/60$$

Onde,

$T_t$  é o tempo total de trajeto, em minutos;

$D_i$  é a distância percorrida do caminhão na ida, em metros;

$V_c$  é a velocidade média do caminhão carregado, em km/h;

$D_v$  é distância percorrida do caminhão na volta, em metros;

$V_v$  é velocidade média do caminhão vazio, em km/h;

Após o cálculo do tempo de trajeto, é necessário calcular o tempo total de ciclo. Para isso, é preciso adicionar ao tempo de trajeto, o tempo para carregamento, descarregamento e manobra do caminhão.

Esses tempos foram obtidos através de estudos preliminares. Sendo que o tempo para carregamento e manobra utilizado é de 3,5 minutos e o tempo para descarga e manobra é de 2 minutos. Os tempos de trajeto total e tempo de ciclo, por faixa de distância, são dados na Tabela 2 abaixo.

Tabela 2 – Tempos de ciclo por faixa de distância.

	Distância 0	Distância 1	Distância 2	Distância 3	Distância 4	Distância 5	Distância 6	Distância 7	Distância 8	Distância 9
Faixa de DMT (m)	0000-0500	0501-1000	1001-1500	1501-2000	2001-2500	2501-3000	3001-3500	3501-4000	4000-4500	4501-5000
Tempo de trajeto (mim)	7,69	9,23	11,61	15,48	17,65	20,57	22,11	25,26	28,42	31,58
Tempo de carga (mim)	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Tempo de descarga e manobra (mim)	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Tempo total de ciclo (mim)	13,2	14,7	17,1	21,0	23,1	26,1	27,6	30,8	33,9	37,1

Com a obtenção do tempo total de ciclo, o próximo passo é calcular o número de viagens por hora que cada caminhão consegue realizar para as diferentes faixas de distância. Para isso, deve-se dividir 60 minutos pelo tempo de ciclo encontrado. A Tabela 3 mostra a quantidade de viagens por hora que os caminhões devem efetuar, em cada DMT, para atingirem a meta de produtividade.

Tabela 3 – Viagens por hora em cada faixa de distância.

	Distância 0	Distância 1	Distância 2	Distância 3	Distância 4	Distância 5	Distância 6	Distância 7	Distância 8	Distância 9
Faixa de DMT (m)	0000-0500	0501-1000	1001-1500	1501-2000	2001-2500	2501-3000	3001-3500	3501-4000	4000-4500	4501-5000
Viagens/hora	4,55	4,07	3,51	2,86	2,59	2,30	2,17	1,95	1,77	1,62

Após chegar ao número ideal de viagens por hora a ser realizado, é necessário calcular a distribuição da produção em cada uma das diferentes faixas de distância. Na empresa JPX, essa distribuição é fornecida pela mineradora, através do sistema de gerenciamento de frota da mesma.

Também é preciso utilizar uma média de peso dos caminhões, em cada viagem, para realizar o cálculo da quantidade de horas de trabalho ideal para transportar determinada massa. Para se obter um valor mais preciso, é importante diferenciar as médias de peso de acordo com o material transportado, pois o minério e estéril possuem densidades muito diferentes. Assim, a distribuição do material movimentado no período também deve ser diferenciada de acordo com a sua classificação.

Na empresa JPX, diferente do usual, é utilizado uma média global de peso. Ou seja, a média utilizada para o cálculo da meta, para o transporte de minério, estéril e outros materiais, é a mesma. Essa tonelagem média é definida com base no histórico de produção da empresa, capacidade das caçambas, densidade do material e o limite de peso dos caminhões. A JPX utiliza o valor de 37 toneladas transportadas por viagem como média.

Com a média de peso definida e a distribuição de produção por faixa de distância fornecida, é possível calcular a quantidade de horas que os caminhões devem trabalhar para movimentar a quantidade de material desejada. Para isso, deve-se dividir a massa transportada em determinada distância pela média de peso dos caminhões (no caso da JPX, 37 toneladas). Assim, é encontrado o número de viagens necessárias a serem feitas pelos veículos. Após esse cálculo, é preciso dividir o número de viagens encontrado pelo número ideal de viagens por hora, que está expresso na Tabela 3. Com isso, é fornecido a quantidade de horas que deveria ser trabalhada pelos caminhões. A equação para chegar a esse número é descrita a seguir.

$$H = P / (M*VH)$$

Onde,

H é a quantidade de horas que devem ser trabalhadas;

P é produção total, em toneladas;

M é a média de peso por viagem por caminhões, em toneladas;

VH é o número ideal de viagens por hora em função da distância.

Ao somar o valor da quantidade de horas que deveriam ser trabalhadas, em cada faixa de distância, é obtido o tempo total necessário para executar o transporte de todo material no período em análise. Sendo assim, para encontrar a produtividade ideal em cada mês, basta dividir o valor total, em toneladas, transportado no período pelo valor de horas encontrado.

A meta de produtividade mensal da operação e do gestor da frota é aumentar em 5,0% o valor encontrado. Essa melhora funciona como uma maneira de avaliar e estimular o gestor a buscar um melhor desempenho da frota. A Tabela 4 mostra a produção dos caminhões por faixa de distância no intervalo de 1 mês.

Tabela 4 – Produção de caminhões por faixa de distância.

		Faixa de distância	Faixa 0	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	Faixa 4	Faixa 5	Faixa 6	Faixa 7	Faixa 8	Faixa 9
Minério	338.244 t/mês	Distribuição	7,60%	24,72%	21,05%	19,24%	19,10%	8,03%	0,19%	0,01%	0,02%	0,03%
		Tonelagem	25.719 t	83.597 t	71.196 t	65.094 t	64.616 t	27.150 t	652 t	41 t	71 t	107 t
Estéril	314.265 t/mês	Distribuição	1,55%	5,52%	33,86%	10,54%	8,41%	16,35%	13,42%	8,95%	1,31%	0,09%
		Tonelagem	4.884 t	17.363 t	106.409 t	33.112 t	26.422 t	51.394 t	42.180 t	28.112 t	4.110 t	278 t
Produto	13.987 t/mês	Distribuição	83,71%	10,62%	0,00%	0,26%	2,24%	0,00%	3,17%	0,00%	0,00%	0,00%
		Tonelagem	11.709 t	1.485 t	0 t	36 t	314 t	0 t	443 t	0 t	0 t	0 t

A partir da distribuição fornecida, calcula-se as horas necessárias de trabalho pelos caminhões, em cada faixa de distância, por material transportado. Os resultados podem ser vistos na Tabela 5.

Tabela 5 – Horas necessárias de trabalho pelos caminhões.

Horas trabalhadas pelos caminhões	Carga média	Faixa 0	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	Faixa 4	Faixa 5	Faixa 6	Faixa 7	Faixa 8	Faixa 9
Minério	37,00 ton	152,84 H	554,71 H	548,82 H	615,29 H	673,73 H	318,84 H	8,10 H	0,57 H	1,09 H	1,78 H
Estéril	37,00 ton	29,02 H	115,21 H	820,26 H	312,98 H	275,50 H	603,57 H	524,50 H	389,56 H	62,80 H	4,65 H
Produto	37,00 ton	69,58 H	9,85 H	0,00 H	0,34 H	3,27 H	0,00 H	5,51 H	0,00 H	0,00 H	0,00 H

Para encontrar a quantidade total de horas, basta somar os valores encontrados na Tabela 5. O resultado é 6.102,36 horas.

Assim, calcula-se a produtividade, a partir da produção total no mês de 666.496 toneladas. A meta, então, é encontrada adicionando 5,0% da produtividade encontrada. O resultado final pode ser visto na Tabela 6.

Tabela 6 – Meta de produtividade da empresa.

Produção	666.496 t/mês
Horas necessárias	6.102,36 horas
Produtividade	109,22 t/h
Meta de produtividade	114,68 t/h

### 3.1.2 Produtividade real de caminhões da empresa JPX

Com o valor da meta, é possível comparar e avaliar melhor o desempenho da frota no período de estudo. A produtividade real de caminhões na JPX é calculada dividindo a massa total de material transportada no mês pelas horas trabalhadas pelos caminhões, marcado pelo horímetro dos mesmos. Ou seja, a soma da diferença entre o horímetro final e inicial do mês de cada caminhão.

Desse modo, é possível comparar no Gráfico 1 a produtividade real com a meta no período de janeiro a novembro do ano de 2018.

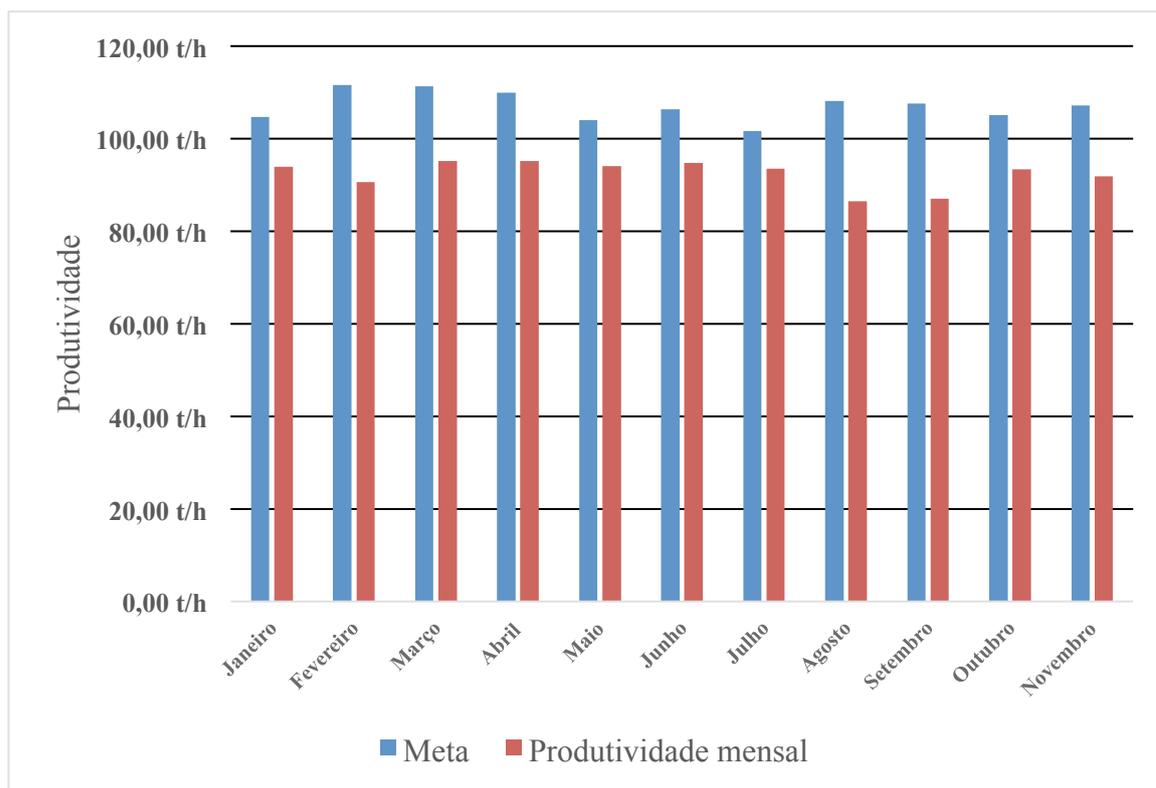


Gráfico 1 – Produtividade de caminhões basculantes da JPX – janeiro a novembro de 2018.

É possível perceber que, até novembro do ano de 2018, a produtividade de caminhões da JPX não atingiu a meta em nenhum mês.

## 3.2 Críticas e soluções para o problema de baixa produtividade na JPX

### 3.2.1 Detecção do problema de produtividade na JPX

Como todos os números encontrados estavam abaixo da meta, foi necessário analisar os números de produtividade ao longo do ano de 2018 e a forma de medição do tempo de trabalho no período. Assim, foi detectado que havia uma incompatibilidade na maneira como a meta é calculada em comparação com a forma que a produtividade real é medida.

A meta é calculada levando em consideração apenas o tempo nos quais os caminhões estão em produção. Ou seja, o período no qual eles estão em carga, manobra, descarga (basculamento) e no trajeto entre a frente de serviço e a área destinada ao material transportado.

Já a produtividade real dos equipamentos no período, medindo as horas de trabalho através de horímetros, leva em consideração todo o tempo no qual o caminhão esteve com o motor ligado. Desse modo, é medido, além das horas que o veículo esteve em produção, o tempo no qual o veículo necessitou realizar deslocamentos improdutivos e, também, tempos que ele permaneceu parado com o motor ligado, em filas para carregamento, por exemplo.

Esses deslocamentos improdutivos englobam a ida e volta do motorista para o pátio dos caminhões para realizar a troca de turno (são realizadas 3 trocas de turno por dia na empresa) e a ida e volta do veículo para o mesmo pátio nas horas de refeições em cada turno (cada turno possui uma hora de refeição, logo são necessários 3 deslocamentos para essa finalidade ao longo do dia). Também está incluído nos deslocamentos improdutivos dos caminhões, a ida e volta para oficina mecânica em diversas ocasiões periódicas (para lubrificação, por exemplo) e pontuais.

Tendo em vista a conclusão obtida, foi proposto uma correção na forma de calcular a produtividade real de caminhões na JPX. Desse modo, seria possível minimizar a incompatibilidade encontrada no cálculo de horas através do horímetro em relação ao cálculo da meta.

### **3.2.2 Solução para o problema da baixa produtividade de caminhões na JPX**

Após detectar o problema, foi realizado a análise e medição de todos os tempos de deslocamentos improdutivos realizados pelos caminhões ao longo de um dia. Para isso, os motoristas foram orientados a anotar, na parte diária, a hora inicial e final de seus deslocamentos para o pátio de estacionamento, tanto para as trocas de turno, como para os horários de refeição. Por meio de uma caminhonete, também foram simulados vários trajetos de ida e volta para o pátio, anotando sempre o tempo para realizar o percurso.

Os tempo foram medidos durante o período de um mês. Assim, com o resultado da medição, chegou-se a um valor médio de 15 minutos gastos no trajeto “área de basculamento – pátio de caminhões – frente de serviço da escavadeira”.

Como cada veículo realiza esse trajeto duas vezes por turno (refeição e troca de turno) e são 3 turnos por dia, multiplicou-se a média encontrada por 6. O resultado foi multiplicado, por sua vez, pelo número médio de caminhões que rodaram no mês e, finalmente, multiplicado pelo número de dias trabalhados no período de medição. A seguir, pode ser visto um exemplo da conta realizada para o mês de setembro.

$$15 \text{ min (tempo médio de trajeto)} \times 6 \text{ (quantidade de vezes que o trajeto é realizado)} \times 16 \\ \text{(média de caminhões trabalhando)} \times 30 \text{ (dias trabalhados)} = \mathbf{720 \text{ horas}}$$

Após encontrar o valor acima, foi adicionado o tempo utilizado pelo caminhão para se deslocar à oficina para lubrificação. Cada caminhão, na empresa JPX, é lubrificado 2 vezes por semana.

Como a oficina mecânica da mina se encontra ao lado do pátio de caminhões, é gasto o mesmo tempo medido para realizar o trajeto para a oficina. É importante ressaltar que a lubrificação é realizada em todos os caminhões presentes na operação, independente se estão trabalhando ou disponíveis. A seguir, pode ser visto um exemplo da estimativa de horas dispensadas para a lubrificação, adicionadas às 720 horas encontradas anteriormente, tendo como base o mês de setembro.

$$720 \text{ horas} + [ 4 \text{ (semanas trabalhadas)} \times 2 \text{ (quantidade de lubrificações por semana)} \times 0,25 \\ \text{horas (tempo médio de trajeto)} \times 20 \text{ (quantidade total de caminhões)} ] = \mathbf{760 \text{ horas}}$$

Em seguida à medição e ao cálculo do valor total de horas dispensadas em deslocamentos improdutivos, mas necessárias à operação, esse resultado foi retirado da quantidade de horas totais geradas pelos horímetros do caminhão. Assim, foi possível encontrar um valor mais próximo de tempo trabalhado efetivamente pelos caminhões na operação de mina, ou seja, tempo destinado apenas à produção, da forma como a meta de produtividade prevê.

Assim, com a nova produtividade obtida, percebeu-se que a produtividade real dos caminhões era maior do que aquela inicialmente calculada e mostrada no Gráfico 1. Ou seja, a partir da nova produtividade, foi possível avaliar o quanto o desempenho da frota estava acima do esperado. A Tabela 7, a seguir, mostra a análise realizada no período de setembro a novembro

de 2018 e o respectivo aumento porcentual da produtividade em relação aos valores de produtividade inicialmente calculados (que não descontavam as horas improdutivas).

Tabela 7 – Tempos de deslocamentos improdutivos – setembro a novembro de 2018.

Mês	Diferença de horímetro	Horas de deslocamentos improdutivos	Horas em produção	Produtividade inicial	Produtividade após análise	Aumento porcentual
Setembro	8.596,00 h	760,00 h	7.836,00 h	87,08 t/h	95,53 t/h	10%
Outubro	10.045,70 h	856,75 h	9.188,95 h	93,41 t/h	102,12 t/h	9%
Novembro	7.762,30 h	760,00 h	7.002,30 h	91,84 t/h	101,81 t/h	11%
<b>Total</b>	<b>26.404,00 h</b>	<b>2.376,75 h</b>	<b>24.027,25 h</b>	<b>90,89 t/h</b>	<b>99,88 t/h</b>	<b>10%</b>

O aumento porcentual geral do período analisado foi utilizado como padrão para os demais meses, aumentando em torno de 10% a produtividade calculada através do horímetro em todos os meses do ano de 2018.

### **3.2.3 Produtividade de caminhões após análise de deslocamentos improdutivos**

Todos os dados de produtividade de caminhões, relativos ao ano de 2018, aumentaram em torno de 10%. Desse modo, a produtividade real fica mais próxima da efetiva, que é utilizada para o cálculo da meta. Os novos resultados encontrados e a comparação com a meta de produtividade, podem ser vistos no Gráfico 2 abaixo.

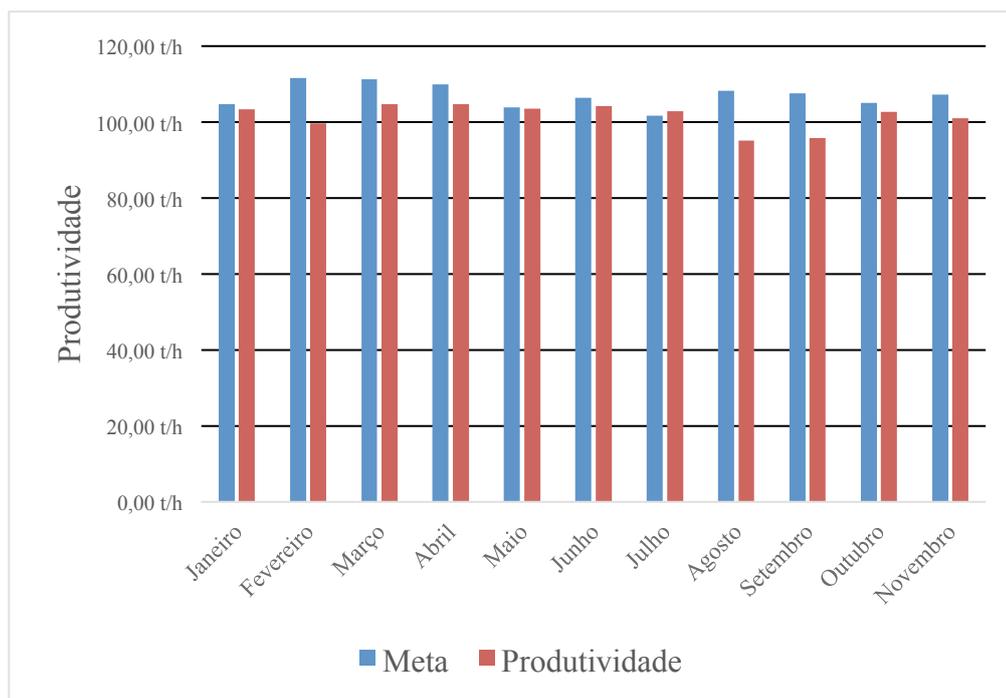


Gráfico 2 – Produtividade de caminhões basculantes da JPX, após análise de deslocamentos improdutivos – janeiro a novembro de 2018.

Ao analisar os novos resultados obtidos, é possível perceber que, mesmo retirando a maioria dos deslocamentos improdutivos da medição das horas trabalhadas, os caminhões continuam obtendo uma produtividade inferior à meta, com exceção apenas para o mês de julho de 2018.

### 3.3 Novo gargalo na produtividade de caminhões basculantes

O problema com a baixa produtividade de caminhões basculantes da empresa JPX, após o trabalho e estudo realizado, foi minimizado, mas não foi solucionado. Dez dos onze meses analisados continuaram com suas produtividades abaixo da meta. Desse modo, foi necessário realizar outro estudo para identificar a causa do gargalo operacional em questão.

#### 3.3.1 Identificação da causa da baixa produtividade de caminhões basculantes

Para obter números mais próximos da realidade e aprofundar no estudo de desempenho dos caminhões basculantes da empresa JPX na atividade mineradora, foi necessário mais

tecnologia. Sendo assim, a nova fornecedora de caminhões traçados da JPX disponibilizou o seu sistema de telemetria a partir do mês de novembro, por um período de 6 meses, de forma gratuita.

A palavra telemetria é derivada do grego e os radicais “tele” e “metria” significam “remoto” e “medida”, respectivamente. Portanto, sistemas de telemetria correspondem ao processo de registro de medidas ou dados tomados em uma área remota ou lugar inacessível e, posteriormente, transmitidos por meio de um sistema de comunicação à uma unidade de monitoramento. Na mineração, sistemas de telemetria são implementados para, principalmente, aumentar a confiança em determinado equipamento de realizar uma operação de risco, aumentar a eficiência das equipes de manutenção de máquinas e diminuir o tempo de improdutividade associado a inspeções desnecessárias. Dependendo do objetivo do projeto, os sensores associados a coleta de dados podem ser projetados para informar adversidades ao operador da máquina ou transmitir tais informações a uma central de controle remota combinada ou não a um sistema de despacho (BARBOSA, 2016).

Com o auxílio do sistema fornecido, foi possível monitorar o desempenho dos caminhões presentes na mina. Entre alguns dos dados disponibilizados, estão:

- Tempo total do caminhão em operação;
- Distância total percorrida;
- Consumo de combustível (média e valor absoluto);
- Velocidade média;
- Tempo de marcha lenta (período no qual o caminhão permaneceu ligado, sem estar em movimento);
- Tempo de carga do motor;
- Tempo dentro e acima da faixa econômica - faixa entre 1000 rpm e 1500 rpm, na qual o caminhão apresenta o seu melhor consumo e desempenho (VOLVO, 2019);
- Tempo de aproveitamento de inércia;
- Tempo em piloto automático;
- Tempo em modo manual e automático.

Cada um desses dados são apresentados de acordo com o período solicitado. Também podem ser exibidos por caminhão e por motorista.

Ao primeiro contato com o sistema de telemetria, foi detectado uma grande anormalidade no tempo nos quais os caminhões permaneciam em marcha lenta. Na primeira quinzena de novembro, os veículos estiveram, em média, 31% do seu tempo de operação com o motor ligado, mas sem se movimentarem.

O tempo de marcha lenta afeta diretamente a produtividade da empresa. Isso ocorre devido ao fato que a produtividade é calculada a partir das horas fornecidas pelo horímetro do caminhão e o horímetro começa a marcação do tempo assim que o motor do equipamento é ligado e permanece marcando o tempo durante todo o período que o mesmo esteja em funcionamento.

Ao analisar novamente o cálculo da meta, cada caminhão deve permanecer em marcha lenta apenas durante a carga e a descarga (o tempo para manobra não é considerado marcha lenta). Desse modo, foram realizadas diversas medições de tempo dos caminhões basculantes na carga e na descarga de material. O resultado encontrado foi de uma média de 2,5 minutos para a carga do material e 1 minuto para o basculamento, totalizando 3,5 minutos de marcha lenta por ciclo.

Tomando como partida as medições realizadas e os dados de tempo total de ciclo fornecidos pelo cálculo da meta, foi calculado a porcentagem do tempo destinado para a marcha lenta em cada faixa de distância trabalhada. Os resultados podem ser visualizados na Tabela 8.

Tabela 8 – Porcentagem do tempo em marcha lenta por faixa de distância

Faixa de distância:	Faixa 0	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	Faixa 4	Faixa 5	Faixa 6	Faixa 7	Faixa 8	Faixa 9
Tempo em marcha lenta:	3,5 min									
Tempo total de ciclo:	13,2 min	14,7 min	17,1 min	21,0 min	23,1 min	26,1 min	27,6 min	30,8 min	33,9 min	37,1 min
Porcentagem do tempo em marcha lenta:	26,52%	23,81%	20,47%	16,67%	15,15%	13,41%	12,68%	11,36%	10,32%	9,43%

Com base nos tempos calculados na Tabela 8, foi possível averiguar que o número encontrado no sistema, de 31% como média, era extremamente alto. Foi identificado, então, esse indicador como a causa da baixa produtividade de caminhões na atividade mineradora.

### **3.3.2 Solução do gargalo da produtividade de caminhões, através do controle de tempo em marcha lenta**

Após a identificação do problema operacional, relativo ao tempo em marcha lenta, começou um controle e monitoramento muito mais centrado. Porém, mesmo fiscalizando o tempo de marcha lenta dos caminhões, o número não diminuiu de imediato.

Iniciou-se, então, um trabalho mais específico de monitoramento. A empresa JPX investiu na compra de pen drives para todos os seus motoristas, cadastrando cada motorista em seu pen drive específico. O acessório, ao ser conectado no painel de operação do caminhão, transmite as informações da condução de determinado motorista em tempo real para o sistema.

Os motoristas foram orientados a sempre utilizarem os pen drives, sendo esses obrigatórios, pessoais e intransferíveis. Quando o acessório não é utilizado, o sistema acusa “motorista desconhecido” no sistema, bastando apenas conferir na parte diária do veículo quem é o condutor infrator.

Com o uso dos pen drives, do sistema de telemetria e da funcionalidade do caminhão de desligar automaticamente sempre que o mesmo permanecer em marcha lenta por 2,5 minutos, a quantidade de horas nas quais o caminhão permaneceu ligado, sem necessidade, diminuiu consideravelmente. O resultado desse monitoramento pode ser visto no Gráfico 3.

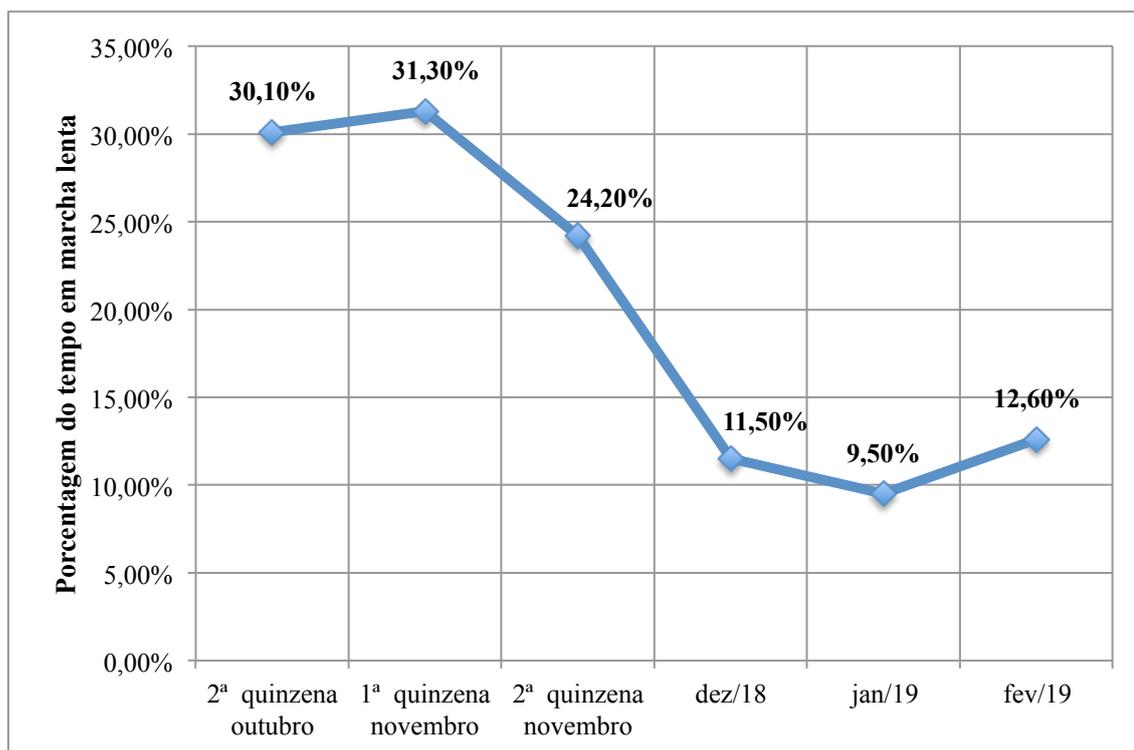


Gráfico 3 – Tempo em marcha lenta dos caminhões basculantes da JPX

Com a considerável diminuição do tempo de horímetro do caminhão, fazendo com que os veículos permanecessem ligados apenas para produção, deslocamentos para refeição e trocas de turno, os índices de produtividade dos caminhões atingiram uma melhora considerável. Os índices de dezembro de 2018 a fevereiro de 2019, comparando com a meta do mês, podem ser vistos no Gráfico 4.

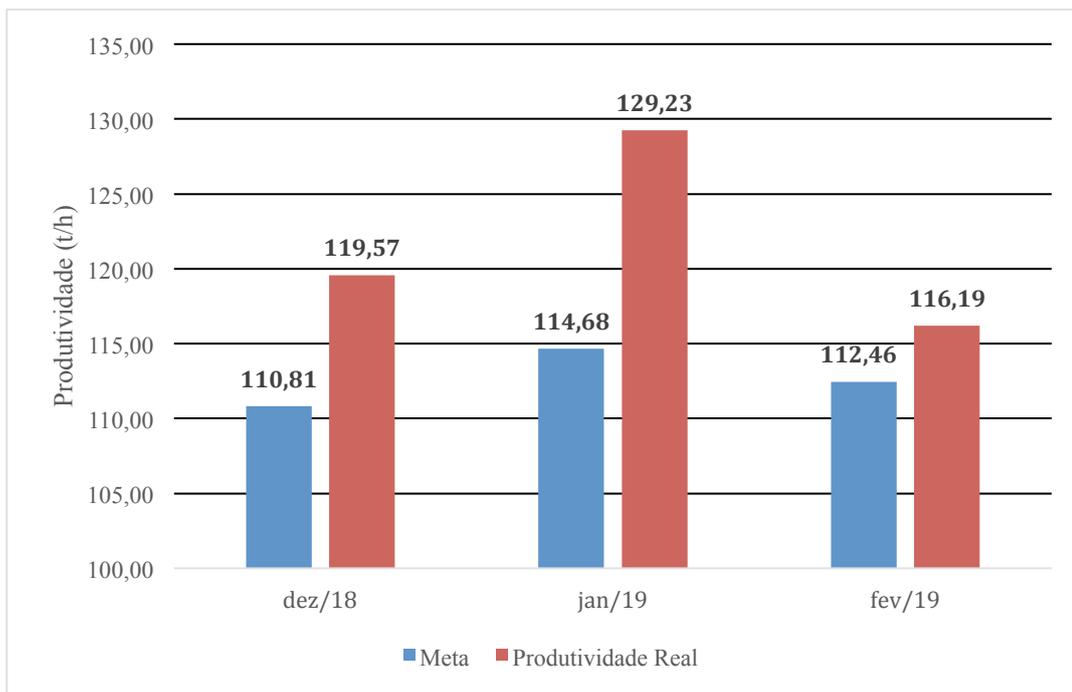


Gráfico 4 – Produtividade de caminhões basculantes da JPX, entre dezembro de 2018 a fevereiro de 2019.

### **3.4 Conclusões relativas ao gargalo da produtividade de caminhões basculantes na JPX no ano de 2018**

Com a produtividade abaixo da meta em todos os meses do ano de 2018, foi necessário realizar diversas análises a fim de identificar as causas do problema. A partir das causas encontradas, destacam-se as seguintes observações:

- 1) Os horímetros não são a ferramenta ideal para auxiliar no cálculo da produtividade;
- 2) Para se ter uma comparação fidedigna, a meta deve mostrar, da forma mais fiel possível, o que acontece na operação;
- 3) Um sistema de telemetria dos caminhões foi útil para analisar a condução dos motoristas;
- 4) Para se obter um valor real e confiável de produtividade, é importante fazer uso de um sistema de gerenciamento de frota.

### **3.4.1 Uso de horímetros para o cálculo da produtividade**

O uso de um sistema de partes diárias, no qual os motoristas anotam, em um papel, o número de viagens realizadas no turno e os horímetros iniciais e finais dos equipamentos não se mostrou eficiente para realizar um controle de produtividade de caminhões dentro de uma atividade mineradora.

Os horímetros registram todo o tempo no qual o caminhão permaneceu ligado e grande parte desse tempo não é em produção efetiva. A medição do tempo em produção e, conseqüentemente, da produtividade não é confiável quando são registradas por meio desses medidores de horas.

Muitas vezes, o caminhão necessita ir para o pátio de estacionamento, para troca de turno, refeições ou quando as condições de trabalho não são seguras e precisam parar (como em caso de chuvas fortes e neblina atrapalhando a visibilidade). Esses tempos são, inevitavelmente, registrados pelos horímetros. O mesmo vale para quando é necessário locomover o veículo para a oficina. Nesse caso, o número calculado de produtividade será prejudicado, tendendo a ser menor do que a meta da empresa.

Os horímetros são de extrema importância para o setor de manutenção de uma empresa, sendo a base para realização de manutenção preventivas, por exemplo. Porém, para o cálculo de produtividade, ele não é a ferramenta ideal.

### **3.4.2 Relação entre a meta e produtividade real**

A meta da empresa JPX é calculada tendo em vista diversos parâmetros operacionais, como tempo de carga, tempo de descarga, tempo de manobra, velocidade média e média de peso transportada pelos caminhões. Ela calcula o tempo ideal necessário para transportar determinada massa e prevê uma melhora de 5% em relação ao calculado.

Sendo assim, a meta não prevê nenhum atraso operacional (comuns em qualquer atividade mineradora) e nem os deslocamentos fora de produção dos caminhões (para o pátio e oficina,

por exemplo). Desse modo, é possível perceber uma incompatibilidade entre o que a meta prevê e como a produtividade real é calculada.

É necessário adequar a meta ou a forma de cálculo da produtividade real. Como uma é um parâmetro de comparação em relação a outra, as duas precisam descrever um mesmo indicador. Antes do começo dos estudos para resolver o gargalo da produtividade de caminhões, a meta fornecia uma produtividade efetiva, enquanto a produtividade obtida por meio dos horímetros, fornecia uma aproximação da produtividade global.

O estudo de tempo para deslocamentos improdutivos dos caminhões teve como objetivo transformar a produtividade real, a mais próxima possível de uma produtividade efetiva e, assim, ter uma comparação mais próxima com a meta. Porém, mesmo com os estudos, ainda havia diversos atrasos operacionais, englobada na produtividade real calculada, que a meta não prevê.

### **3.4.3 Sistema de telemetria para monitoramento**

O sistema de telemetria utilizado pela JPX mostrou-se eficiente. Com ele, foi possível identificar o tempo excessivo no qual os caminhões permaneciam ligados e sem se movimentarem, devido a filas em áreas de carregamento, descarregamento ou, até mesmo, displicência dos motoristas. Como a produtividade real era medida por meio de horímetros, essa medida afetava diretamente os resultados encontrados.

Desse modo, monitorando a condução dos motoristas diariamente, o tempo em marcha lenta diminuiu e a produtividade aumentou. Além disso, o sistema permite monitorar outros aspectos importantes na condução do veículo, mostrando resultados, inclusive, no consumo de combustível dos mesmos. A evolução no consumo de combustível dos caminhões basculantes da JPX pode ser vista no Gráfico 5.

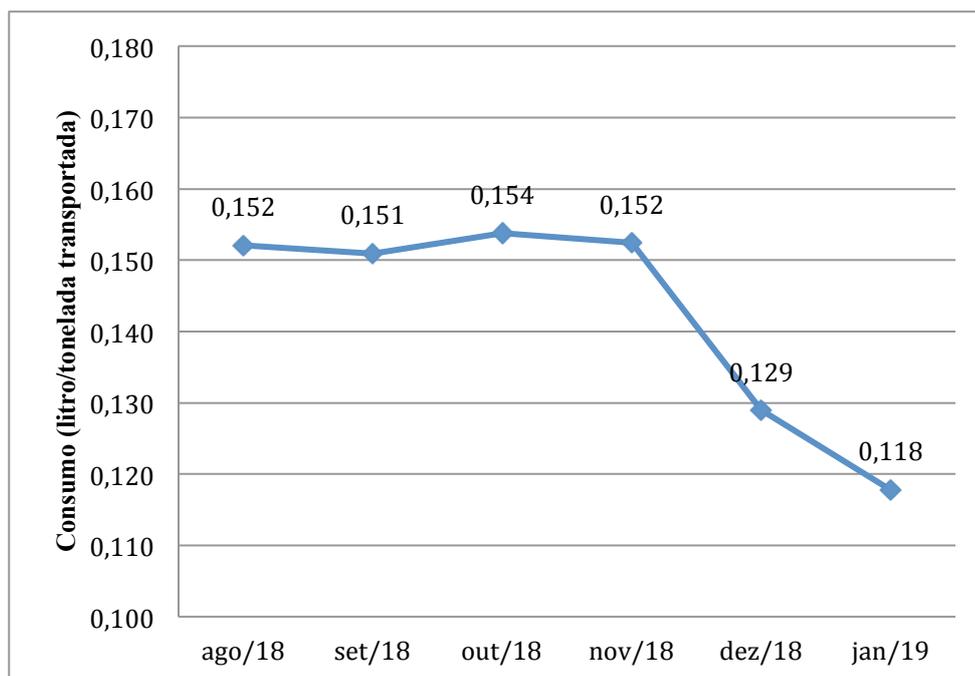


Gráfico 5 – Consumo de diesel dos caminhões basculantes de JPX.

O sistema de telemetria, além de ajudar na melhora da produtividade dos caminhões, melhorou o consumo em cerca de 20%, monitorando o tempo de condução dos motoristas dentro da faixa mais econômica. Assim, é possível perceber a importância do uso e monitoramento de um sistema de telemetria.

#### 3.4.4 Importância de um sistema de gerenciamento de frota

Apesar do monitoramento, por meio do sistema de telemetria, ainda não é possível obter a produtividade efetiva com precisão em um sistema de controle por partes diárias. Isso ocorre pois, muitos motoristas, ao serem monitorados, desligam o veículo mais do que o necessário (alguns passaram a desligar durante a carga do caminhão na escavadeira) e outros continuam deixando o equipamento ligado em diversas situações desnecessárias.

Esse cenário se junta aos diversos deslocamentos improdutivos realizados e a imprecisão dos apontamentos indicados pelos motoristas nas partes diárias, culminando em um resultado de produtividade de caminhões não-confiável. Desse modo, para se obter um resultado mais confiável de produtividade, é preciso utilizar um sistema de gerenciamento de frota.

Para que um sistema de despacho funcione adequadamente, caminhões e escavadeiras precisam informar, em tempo real, sua posição e status a um agente que tomará a decisão sobre “quem vai para onde”. O algoritmo de alocação dinâmica que é alimentado com essas informações produz uma resposta sobre como os caminhões devem ser distribuídos naquele instante, para otimizar os critérios de produção, e informa a decisão por meio da interface localizada na cabine. Assim, um operador pode se dirigir à uma frente de lavra diferente daquela do ciclo anterior. O *software* que hospeda esse algoritmo, por receber *inputs* de várias máquinas e por apresentar maior custo computacional, está fixado em uma unidade remota de processamento de dados que, ao contrário dos equipamentos, não é móvel (BARBOSA, 2016).

Com um sistema de gerenciamento de frota, o motorista pode apontar em tempo real os eventos existentes na mina (troca de turno, parada para refeição, parada para lubrificação, fila no carregamento, parada para manutenção dos acessos, entre outros), gerando um número de produtividade com uma maior precisão. A mineradora forneceu os dados de produtividade efetiva dos caminhões da JPX e, assim, foi possível comparar esses valores com a produtividade calculada pela empresa, através dos horímetros. A Tabela 9 mostra os valores.

Tabela 9 – Comparação entre a produtividade de caminhões calculada pelos horímetros e pelo sistema de gerenciamento de frota da mina.

Período	Produtividade Efetiva – despacho da mina	Produtividade - horímetros
Agosto 2018	95,56 t/h	86,51 t/h
Setembro 2018	99,02 t/h	87,08 t/h
Outubro 2018	104,91 t/h	93,41 t/h
Novembro 2018	102,58 t/h	91,84 t/h
Dezembro 2018	101,62 t/h	108,70 t/h
Janeiro 2019	120,46 t/h	129,23 t/h
Fevereiro 2019	106,40 t/h	116,19 t/h

É possível perceber que entre os meses de agosto e novembro, quando ainda não era realizado o acompanhamento do tempo em marcha lenta dos caminhões pelo sistema de telemetria, todos os números de produtividade calculados pela JPX ficaram mais do que 10% abaixo dos

fornecidos pelo sistema de despacho. Evidenciando que retirar os tempos de deslocamentos para o pátio de caminhões para refeições e trocas de turno não é suficiente para chegar ao número de produtividade real. Entre dezembro e fevereiro, a produtividade calculada pela JPX atingiu valores maiores do que o do sistema de despacho, mostrando que os motoristas estavam desligando o caminhão, muitas vezes desnecessariamente, para não aumentar suas horas de horímetro.

### **3.5 Interferência dos diferentes parâmetros operacionais na produtividade de caminhões da empresa JPX**

Como foi constatado a ineficiência do método da empresa JPX para calcular a produtividade de caminhões basculantes, medindo as horas trabalhadas através de horímetros, foi solicitado uma ajuda à empresa mineradora. A mina forneceu os dados de produtividade à JPX, provenientes de seu sistema de gerenciamento de frota e, desse modo, foi possível analisar os números encontrados mês a mês.

Os número fornecidos pela mineradora possuem maior confiança, uma vez que o apontamento de eventos e atividades dos caminhões é realizada de forma digital e pontual. A produtividade dos caminhões basculantes da empresa JPX, entre agosto de 2018 e fevereiro de 2019, fornecidas pelo sistema de gerenciamento de frota da mina, podem ser visualizadas na tabela 10 abaixo.

Tabela 10 – Produtividade dos caminhões basculantes da JPX pelo sistema de gerenciamento de frota da mina.

<b>Período de análise</b>	<b>Produtividade</b>
Agosto 2018	95,56 t/h
Setembro 2018	99,02 t/h
Outubro 2018	104,91 t/h
Novembro 2018	102,58 t/h
Dezembro 2018	101,62 t/h
Janeiro 2019	120,46 t/h
Fevereiro 2019	106,40 t/h

Os números de produtividade de caminhões da empresa JPX variam mês a mês, devido a influência de diferentes parâmetros operacionais. Alguns desses parâmetros variam de acordo com o período de análise e as condições da mina. Os principais parâmetros, que estão em constante variação, são a DMT, a velocidade média dos caminhões e carga média transportada.

### 3.5.1 Influência da distância média de transporte (DMT)

A distância média de transporte é um dos principais parâmetros para a variação da produtividade de uma atividade mineira. Quanto mais distante a área de carga do caminhão estiver da sua área de basculamento, menor será a produtividade.

A distância média percorrida pelos caminhões da JPX foi calculada mês a mês, para isso, foi realizada uma média ponderada. Multiplicou-se o número de viagens realizada em cada DMT pela respectiva DMT, somou-se os valores obtidos e, em seguida, o resultado foi dividido pelo número total de viagens. O Gráfico 6 mostra o resultado obtido para cada mês de análise.

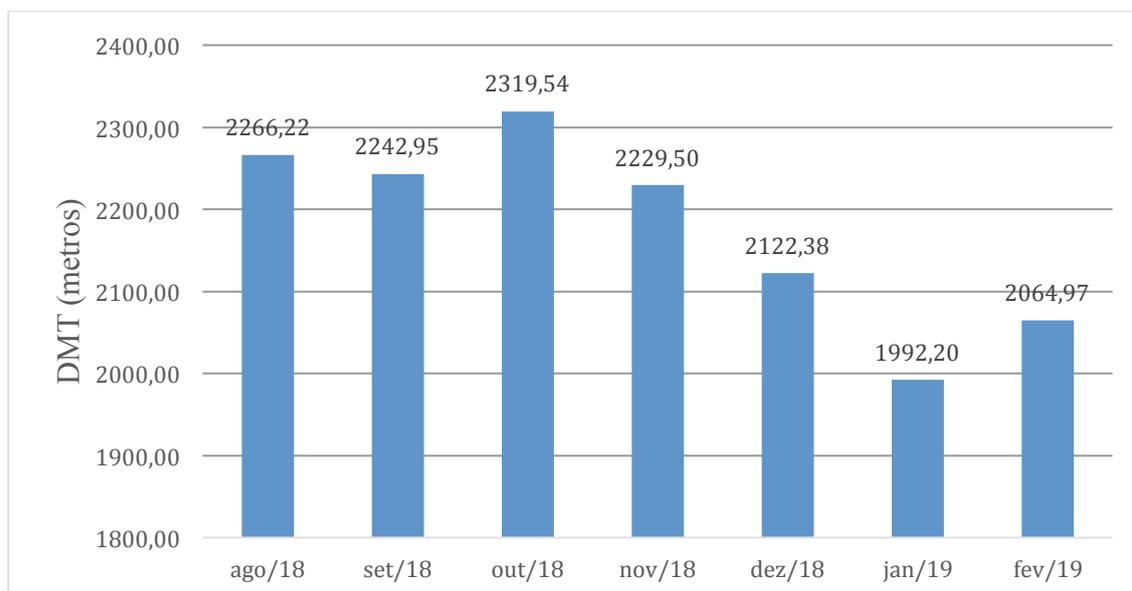


Gráfico 6 – DMT mensal percorrida pelos caminhões da JPX.

Para tornar mais fácil a visualização e a comparação, o Gráfico 7 abaixo mostra a produtividade dos caminhões da JPX no mesmo período.

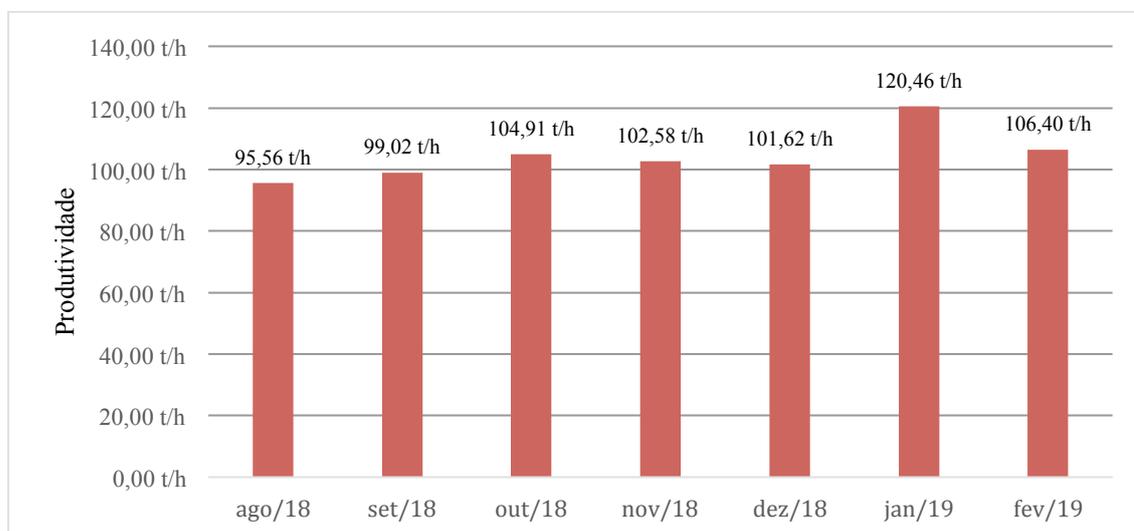


Gráfico 7 – Produtividade efetiva de caminhões.

Analisando e comparando ambos os gráficos, é possível perceber a influencia da DMT na produtividade. Os dois meses com maiores produtividades (janeiro e fevereiro) são, também, os meses com menores DMT. Já os meses com menor produtividade (agosto e setembro) são os meses com a segunda e terceira maior DMT, apenas outubro possui uma DMT maior.

A exceção, relativa ao mês de outubro, que possui a DMT mais alta e a terceira maior produtividade, ocorre devido a outros parâmetros operacionais que influenciaram a maior produtividade desse período. Ou seja, o mês de outubro pode ter apresentado um maior valor de velocidade média de caminhões e/ou uma maior carga média dos mesmos.

### 3.5.2 Influência da velocidade média dos caminhões

A velocidade média de um caminhão está diretamente ligada a produtividade dos mesmos. Quanto mais rápido o veículo percorrer seu trajeto, maior será a quantidade de material que poderão transportar por hora.

O Gráfico 8, a seguir, mostra as velocidades médias mensais dos caminhões basculantes da empresa JPX, medido pelo sistema de despacho da mina. Cabe ressaltar que a velocidade máxima permitida no interior da mina é de 30 km/h.

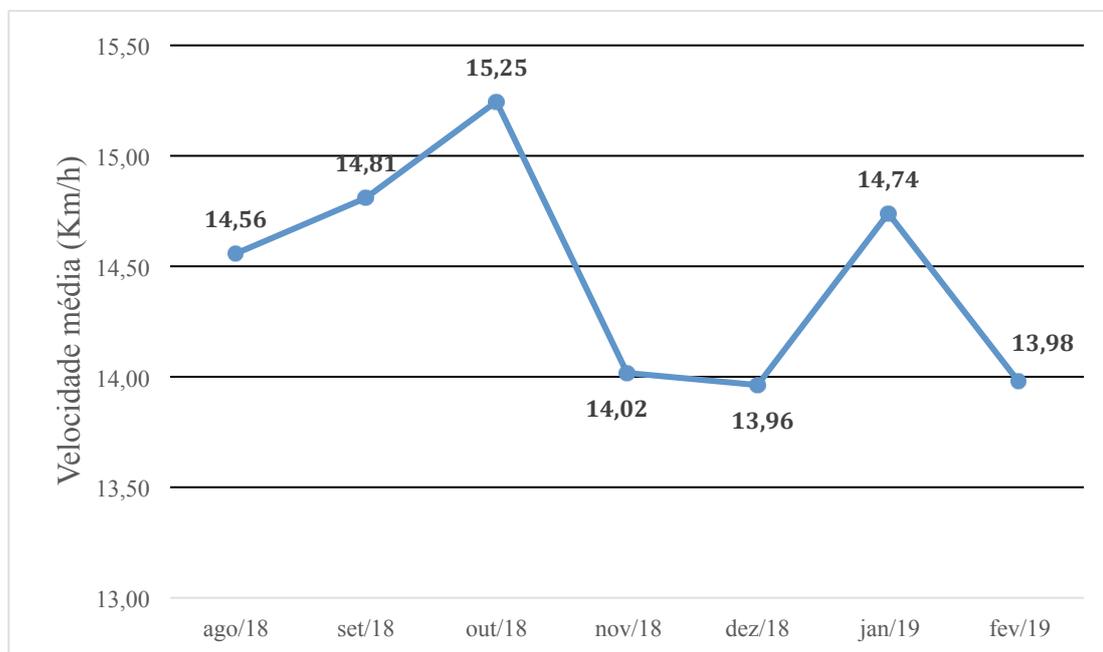


Gráfico 8 – Velocidade média dos caminhões.

Analisando o gráfico acima, é possível perceber que outubro é o mês no qual os caminhões atingiram a maior velocidade média. Essa situação ajuda a explicar o fato evidenciado no tópico 4.2.1 na qual, apesar de outubro possuir a maior DMT, apresenta a terceira maior produtividade do período analisado.

#### 4.1.1.1. Precipitação média na atividade mineira

A chuva e o mau tempo afetam diretamente a velocidade média dos caminhões na mina e, dessa maneira, impacta a produtividade dos mesmos. Isso acontece, pois a segurança é o principal valor da empresa JPX e da mineradora. Assim, quando as condições do tempo são ruins para a operação, a cautela por parte dos motoristas se eleva e, em muitos casos, a operação é paralisada.

Além de diminuir a velocidade média dos caminhões, uma maior precipitação prejudica a situação dos acessos e estradas e aumenta a ocorrência de manutenção das vias da mina. As frentes de serviço das escavadeiras, onde os caminhões são carregados, também são afetadas,

fazendo com que as escavadeiras necessitem de mais tempo para preparem o material para carregamento. Todas essas situações geradas pela chuva afetam a produtividade dos caminhões. O Gráfico 9 mostra a precipitação total em cada mês de análise.

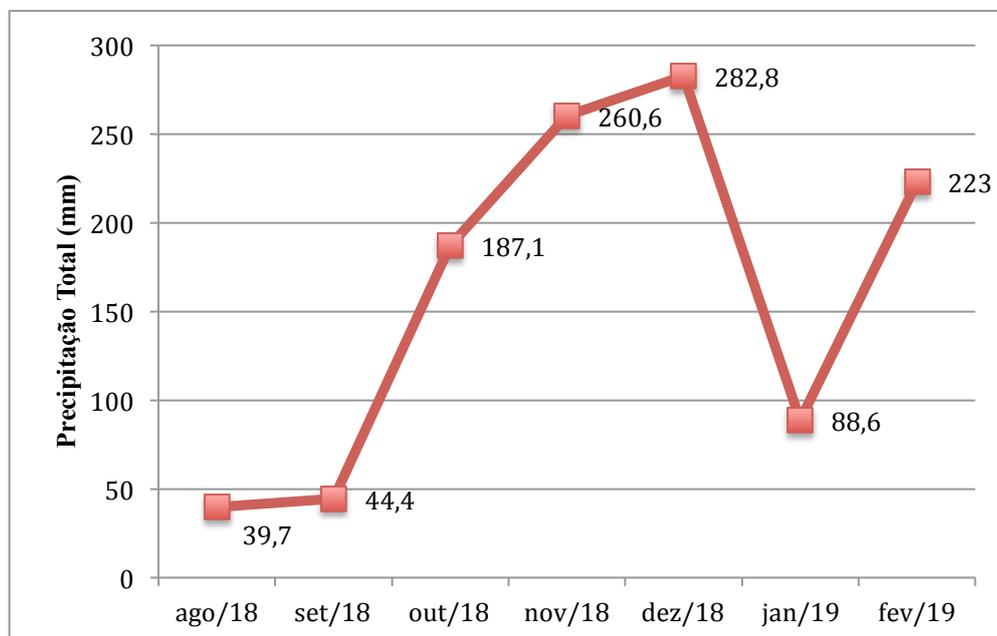


Gráfico 9 – Precipitação mensal total.

O Gráfico 9, fornecido pelo Instituto Nacional de Meteorologia, mostra a precipitação mensal da estação do instituto mais próxima de mina. Desse modo, o gráfico não reflete com total confiança a precipitação na região da mina, mas é possível utilizá-lo como uma referência (INMET, 2019).

Nota-se que a velocidade média é diretamente afetada pelo período de chuva da região da mina. Já que os meses de novembro, dezembro e fevereiro foram os períodos com maior precipitação e com menores velocidades médias.

### 3.5.3 Influência da carga média transportada por viagem

A carga média que cada caminhão transporta por viagem realizada também é um parâmetro de grande importância para a análise da produtividade. Com uma média de peso maior, a produtividade também tende a aumentar. No Gráfico, é possível ver as médias de peso dos caminhões da JPX em cada mês.

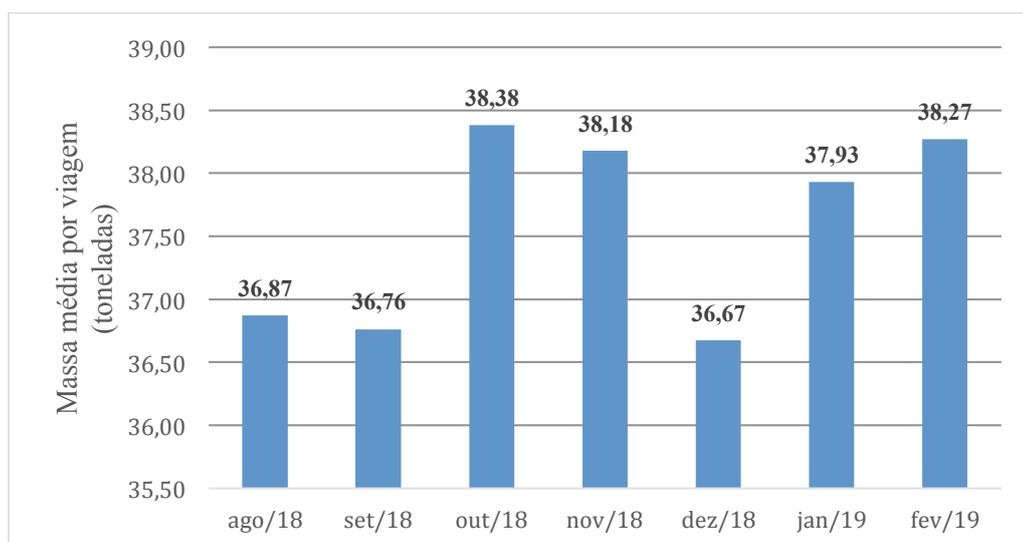


Gráfico 10 – Carga média por viagem dos caminhões

É possível perceber que os meses que apresentaram menor carga média (dezembro, setembro e agosto), são, também, os meses que apresentaram menor produtividade de caminhões. Esse fato ajuda a evidenciar a influência que esse parâmetro possui no número final de toneladas transportadas pelos caminhões da JPX por hora.

A média de peso dos caminhões, na mineradora onde a JPX trabalha, sofre influência da Relação Estéril-Minério (REM) transportada no período de análise. Isso ocorre porque a densidade do estéril na atividade é inferior a densidade do minério. O estéril, na mina, possui densidade média de 1,6 toneladas por metro cúbico, enquanto o minério possui densidade média de 2,5 toneladas por metro cúbico. O Gráfico 11 mostra a REM transportada de cada mês.

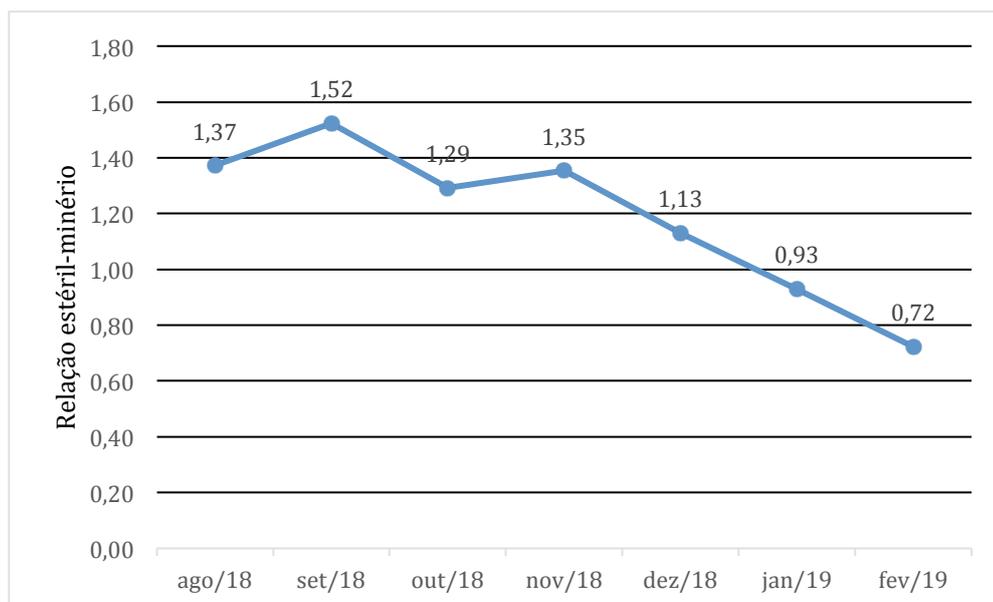


Gráfico 11 – Relação estéril-minério transportada.

Comparando os gráficos de REM e de média de peso, é possível notar como os dois meses de maior REM (setembro e agosto), possuem médias de peso muito baixas.

Dezembro, que apresentou a menor carga média, possui uma particularidade. O sistema de despacho da mina utiliza um modo para fazer com que os caminhões pesem na balança o máximo de vezes possível: quando um caminhão permanece 2 horas sem passar pela balança, o sistema abaixa a sua média de peso. Desse modo, muitas vezes os veículos necessitam alterar sua rota, para passar por uma das duas balanças.

Em dezembro de 2018, as duas balanças se encontravam fora de funcionamento, o sistema não foi corrigido e a média de peso caiu drasticamente. Esse erro do sistema da mina culminou em uma produtividade ruim dos caminhões (dezembro teve o terceiro pior desempenho no período analisado) e, conseqüentemente, uma produção baixa da JPX no mês.

### 3.6 Parâmetros mais influentes na produtividade

Analisando novamente como a meta é calculada, é possível simplificar o cálculo em uma equação. Assim, pode-se verificar qual a real influência de cada parâmetro para chegar ao número de produtividade, como mostra a equação a seguir.

$$Meta = \frac{P_r}{\left(\frac{P_r}{C_m}\right) \times \left(\frac{T_c + T_d + T_M}{60} + \frac{DMT}{1000 \times V_m} \times 2\right)}$$

Onde,

**Meta:** é o produtividade esperada, em toneladas por hora;

$P_r$ : produção total dos caminhões no período, em toneladas;

$C_m$ : carga média por viagem, em toneladas;

$T_c$ : tempo para carregamento de material, em minutos;

$T_d$ : tempo para descarga de material, em minutos;

$T_m$ : tempo para manobra do caminhão, em minutos;

DMT: distância média de trabalho no período, em metros;

$V_m$ : velocidade média dos caminhões no período, em km/h.

É possível perceber como os parâmetros que sofrem maior variação (carga média, DMT e velocidade média), de acordo com o período analisado, são, também, os que possuem maior influência na equação.

### 3.7 Produtividade por turno de trabalho

A produtividade pode, também, variar de acordo com o turno de trabalho. A JPX realiza suas operações todos os dias da semana, 24 horas por dia, divididos em 3 turno de trabalho. Os horários de operações, em cada turno, podem ser vistos na Tabela 11 abaixo.

Tabela 11 – Horários de trabalho por turno na JPX.

<b>Turno</b>	<b>Horário de entrada</b>	<b>Horário de saída</b>
1º turno	23:30	8:30
2º turno	7:30	16:30
3º turno	15:30	0:30

Cada turno possui duração de 9 horas, sendo 1 hora intercalada com o turno seguinte. Isto é, uma estratégia da empresa é sobrepor os horários de turnos para diminuir as perdas na produção causadas.

A produtividade de caminhões por turno da empresa JPX, de agosto de 2018 a fevereiro de 2019, pode ser visto no Gráfico 12 abaixo.

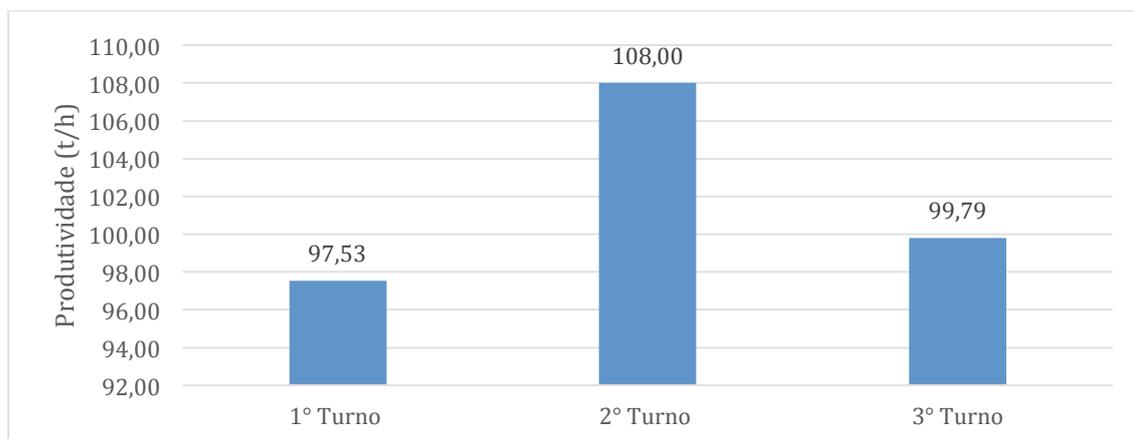


Gráfico 12 – Produtividade de caminhões por turno.

É possível perceber que o 2º turno possui uma produtividade bem acima dos demais turnos. Isso ocorre, principalmente, devido as condições de visibilidade. O 2º turno apresenta iluminação natural durante todo o período, enquanto o 3º turno possui cerca de duas horas de iluminação natural e o 1º turno não possui nenhuma iluminação natural.

Além da iluminação natural, devido a localização da mina, o 1º turno apresenta um problema mais frequente com neblina no campo de visão do motorista. O 3º turno possui esse problema em menor escala, seguido do 2º turno. Com a neblina baixa, o motorista necessita diminuir sua velocidade, por questão de segurança, diminuindo a produtividade dos caminhões e, muitas vezes, a operação pode ser paralisada até as condições de visibilidade forem adequadas.

## 4. CONCLUSÃO

A produtividade é um parâmetro de fundamental importância em uma atividade minerária. Ela está diretamente atrelada com o investimento e os custos da operação. Para dimensionar uma frota de caminhões, é necessário calcular a produtividade de cada caminhão em estudo, para decidir qual o melhor modelo e porte do equipamento para determinada operação de mina. Um mal dimensionamento pode acarretar em prejuízos para a empresa.

Os custos com a lavra e operação de mina estão totalmente relacionados com a produtividade de caminhões e escavadeiras. Quanto maior a produtividade de caminhões, menor será o custo com manutenção e combustível da mina, por exemplo, e maior será a capacidade de produção e venda de produto final da empresa.

Desse modo, é importante o monitoramento frequente dos números de produtividade da mina para que se busque soluções quando os números estiverem baixos. Essas soluções podem ser variadas, como:

- Aumento de execução de manutenções das vias, para aumentar a velocidade média dos caminhões;
- Melhor acompanhamento das frentes de lavra, para não gerar filas de caminhões;
- Fornecer um espaço adequado para manobra dos veículos;
- Acompanhar o número de passes das escavadeiras, buscando uma carga média adequada dos caminhões;
- Averiguar a compatibilidade entre caminhão e o equipamento de carga.

Este estudo identificou como a forma de calcular a produtividade de caminhões de uma empresa pode fornecer resultados equivocados. No estudo de caso apresentado, a empresa calculava sua produtividade através de horímetros, o que não fornecia o real tempo em produção dos caminhões. Além disso, essa forma de cálculo dificulta os supervisores ou gestor a identificar problemas na mina (como filas para a carga de material) e agirem em prol de solucionar o problema.

O cálculo e averiguação correta dos índices de produtividade dos caminhões possui muito valor para uma mineradora. Por isso, um sistema de gerenciamento de frota é uma ferramenta de fundamental importância para o controle da produtividade dos caminhões. Com esse sistema, é possível averiguar os índices de produtividade em tempo real e atuar caso a mina, a frente de serviço ou algum caminhão específico apresente parâmetros anormais.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, V. S. B. **Análise de cobertura e capacidade da comunicação móvel para automação em minas inteligentes a céu aberto**. 2016. 98f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.

BORGES, T. C. **Análise dos Custos Operacionais de Produção no Dimensionamento de Frotas de Carregamento e Transporte em Mineração**. 2013. 116p. Dissertação (Pós-Graduação) - Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

BURT, C.; CACCETTA, L. **Equipment Selection for Surface Mining: A Review**. Institute for Operations Research and the Management Sciences. Maryland, USA. 2014.

CATERPILLAR. **Reference Guide to Surface Mining Applications**. Illinois, USA. 2013.

COUTINHO, H. L. **Melhoria contínua aplicada para carregamento e transporte na operação de mina a céu aberto**. 2017. 94f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

HARTMAN, H. L.; MUTMASKY, J. M. **Introductory Mining Engineering**. 2ª ed. Editado por Jhon Wiley & Sons, 2002. 592p.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Consultado em: 21/06/2019. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>.

PERONI, R. **Manual de operação de lavra e dimensionamento de equipamentos**. 2015. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

RODRIGUES, L. F. **Análise comparativa de metodologias utilizadas no despacho de caminhões em minas a céu aberto**. 2006. 103p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

SAMARCO MINERAÇÃO. **Plano de tráfego da mineração**. Autor: MAGALHÃES A.M. rev. 2014; Manual de operação de mina. Autor: NEVES. T.C. rev. 2016; Padrão de acesso de mina. Autor: COUTINHO H. L. rev. 2016.

SOUSA JÚNIOR, W.T. **Seleção de caminhões rodoviários para mineração utilizando a metodologia de auxílio multicritério à decisão: estudo de caso: mineração de bauxita**. 2012. 160f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012.

VOLVO. **Sistema de telemetria de caminhões Volvo**. Consultado em: 21/06/2019. Disponível em:<[www.dynafleetonline.com](http://www.dynafleetonline.com)>.