

# INDICADORES DA MANUTENÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE CARGA E TRANSPORTE EM MINA A CÉU ABERTO

*Isabel Cristina Teixeira de Oliveira*

*Orientador: Professor. Me. Diogo Cordova*

## ABSTRACT

Properly developed mine planning has an important share in maintaining the profitability of an open pit mine, from this point it can be seen that loading and hauling equipment is typically used in mining operations and that's why they take the credit to reach the target production. Each equipment has its purpose, which determines its availability and cost savings and determines its preventive and corrective maintenance, outage scheduling, outage identification, life time. This case study was conducted in a small mining company that produces agricultural limestone in the region of Caçapava do Sul / RS. Its main objectives are to obtain key performance index (KPIs) of load and hauling equipment and for failures, mechanical availability and utilisation. It also measures the impact of downtime for unscheduled maintenance on equipments, and an estimate of maintenance cost. The optimal values of the performance indicators were monitored according to the bibliographic analyzes. In this work, a spreadsheet was developed for completion by equipment operators, including information relevant to the construction of a database. With the treatment of these data were indicated the utilization rates, mechanical availability, downtime control, amount of maintenance, maintenance costs and optimized utilization values were quantified. With an analysis of the results, it was possible to indicate the auxiliary aspects and auxiliary measures in relation to the load and hauling maintenance and programs of a open pit mine.

*Keywords:* mechanical availability, maintenance costs, bucket excavator, trucks

## RESUMO

O planejamento de lavra desenvolvido corretamente tem uma parcela importante para manter o lucro de uma mina à céu aberto, partindo deste ponto é possível observar que equipamentos de transporte e carga são utilizados normalmente em operações primárias na extração mineral e por este motivo possuem parte do crédito para alcançar a produtividade desejada. Cada equipamento tem suas finalidades, o que irá determinar sua disponibilidade e redução de custos é determinar suas manutenções preventivas e corretivas, programação de paradas, identificação de paradas, considerar a vida útil são alguns métodos que permitem alcançar o objetivo desejado. Este estudo de caso foi realizado em uma mineradora de pequeno porte, que produz calcário agrícola na região de Caçapava do Sul/RS. Tem como objetivos principais obter índices indicadores de desempenho (KPIs) dos equipamentos de carga e transporte quanto a falhas, disponibilidade mecânica e utilização. Também medir o impacto das horas de paradas por manutenções não programadas na produtividade dos equipamentos, além de uma estimativa do custo de manutenção. Os valores ótimos dos indicadores de desempenho foram obtidos segundo revisões bibliográficas. Uma planilha foi desenvolvida para preenchimento por parte dos operadores dos equipamentos, contendo informações relevantes para construção de um banco de dados. Com o tratamento destes dados foram apontados os índices de utilização, disponibilidade mecânica, controle de horas paradas, quantidade de manutenções, foram ainda quantificados os custos de manutenção e possíveis ganhos de produtividade a serem alcançados. Com a análise dos resultados foram indicados os maiores recorrências manutenção o que pode auxiliar na tomada de medidas em relação aos programas de manutenção de carga e transporte de um mina a céu aberto.

*Palavras-chave:* disponibilidade mecânica, custos de manutenção, escavadeira, caminhão.

## 1 Introdução

A constante busca pelo aumento da produtividade e redução de custos sempre esteve presente nos empreendimentos de mineração. Temos como exemplo mineradoras de calcário do município de Caçapava do Sul, que constantemente procuram o aumento da produção, lucros e competitividade em função da desvalorização da comercialização do calcário. Assim, as empresas de mineração estimulam o desenvolvimento de métodos e ferramentas que auxiliam no planejamento e gerenciamento da mina.

Durante a fase de planejamento de lavra são calculadas as produções previstas em cada período, os equipamentos a serem utilizados e a disponibilidade mecânica e de utilização para cada equipamento. Para cumprir com essas horas de trabalho estabelecidas no plano de lavra, deve-se considerar os custos operacionais (OPEX) dos equipamentos, incluindo depreciação, combustível, manutenção, etc. O sucesso de lavra estará condicionado à eficiência real dos equipamentos, resultando no equilíbrio entre a taxa de produção e os investimentos na manutenção. Estas escolhas podem tornar um projeto que poderia ser lucrativo em um projeto inviável economicamente.

Geralmente uma mina possui equipamentos como caminhões, carregadeiras, escavadeiras e perfuratrizes, que trabalham dentro das especificações e ciclos necessários para manter a produção. O número de equipamentos em condições de operar ao longo da jornada de trabalho pode variar. A falta momentânea desses equipamentos pode ocorrer por paradas de manutenção preventiva, manutenção corretiva (por quebra, por exemplo) como também por atrasos operacionais externos e entre outros. Encontrar a melhor estratégia de manutenção dos equipamentos tanto nas etapas preventivas e corretivas garante uma produção eficiente e em longo prazo resulta na redução de custos operacionais.

Este estudo de caso foi realizado em uma mina de calcário situada na BR- 392 (figura 1) a aproximadamente 12 km da área urbana do município de Caçapava do Sul, a cerca de 260 km de Porto Alegre (RS). Com foco na produção de calcário agrícola, estimasse-se uma produção de 60.000 toneladas de material bruto e 42.500 toneladas de produto final ao mês. A mineradora opera efetivamente na mina com seis caminhões fora de estrada modelos Randon RK 430 e 425, três escavadeiras dos modelos Liebherr 944 e 954 e uma carregadeira do modelo Caterpillar 980G. Os equipamentos citados são responsáveis por manter a produção até o britador primário que fica aproximadamente a 1 km da cava de extração. Assim um melhoramento no ciclo de paradas em virtude da manutenção dos equipamentos poderá aumentar efetivamente a produção que vem sendo afetada em virtude de paradas imprevistas, resultando na sobrecarga dos demais equipamentos em atividade e resultando um aumento por paradas mecânicas.



Figura 1 - Mapa de localização da mineradora. Fonte: modificado de Imagem Google Earth

### 1.1 Contexto geológico da área

A mineradora trabalha na produção e comercialização de calcário agrícola para corretivo de solo. A nomenclatura “calcário” é equivocadamente utilizada nesta região, pois na verdade as ocorrências são classificadas como “mármore dolomíticos impuros” (BORTOLOTTI, 1987).

O calcário é uma rocha sedimentar originada de material precipitado por agentes químicos e orgânicos. Formada por mais de 50% de minerais carbonatos como Calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) e Dolomita [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ], onde a deposição destes materiais se dá pela precipitação química ou pelo acúmulo de agentes biogênicos. Podem conter também outros carbonatos como a siderita ( $\text{FeCO}_3$ ) e Magnesita ( $\text{MgCO}_3$ ), entre outros (SAMPAIO E ALMEIDA, 2008).

Mármore, por definição, é uma rocha metamórfica que possui entre 50% e 95% de carbonatos formados a partir de calcários e dolomitos submetidos a pressões e temperaturas elevadas. Pode conter impurezas, normalmente de composição silicática que formam bandas entre partes de composição carbonática uniforme (SAMPAIO E ALMEIDA, 2008).

### 1.2 Objetivos gerais

- Obter índices indicadores de desempenho (KPIs) dos equipamentos de carga e transporte quanto a falhas, disponibilidade mecânica e utilização.

- Medir o impacto das horas de paradas por manutenções não programadas na produtividade dos equipamentos.

### 1.3 Objetivos específicos

- Criar um banco de dados referente ao controle de paradas dos equipamentos;
- Analisar a quantidade de horas paradas por manutenção preventiva, corretiva e por fatores externos;
- Identificar os problemas mais recorrentes nas manutenções corretivas;
- Quantificar os gastos com manutenção;
- Estimar a perda de produtividade relacionada com as horas de parada;

## 2 Estado da arte

### 2.1 Operações e equipamentos

Segundo Quevedo (2009), operações de carregamento e transporte consistem em retirar o material extraído da frente de lavra e levar até diferentes pontos de descarga. Em uma mina a céu aberto as atividades começam na preparação da área a ser lavrada, permitindo condições de perfuração e detonação conforme a necessidade, após início do processo de escavação e carregamento realizado por pás carregadeiras ou escavadeiras distribuídas nas frentes de lavra com intuito de atender a demanda de produção. A retirada deste material é realizada por equipamentos de transporte como caminhões, correias transportadoras, vagões, entre outros. O equipamento de transporte tem a função de transportar o material extraído até o ponto de descarga pré-determinado no planejamento, podendo ser britadores, pilhas de estéril ou pilha de pulmão e assim o ciclo de operação permanece de forma contínua. A Figura 2 apresenta um fluxograma típico de operação de transporte de caminhões.

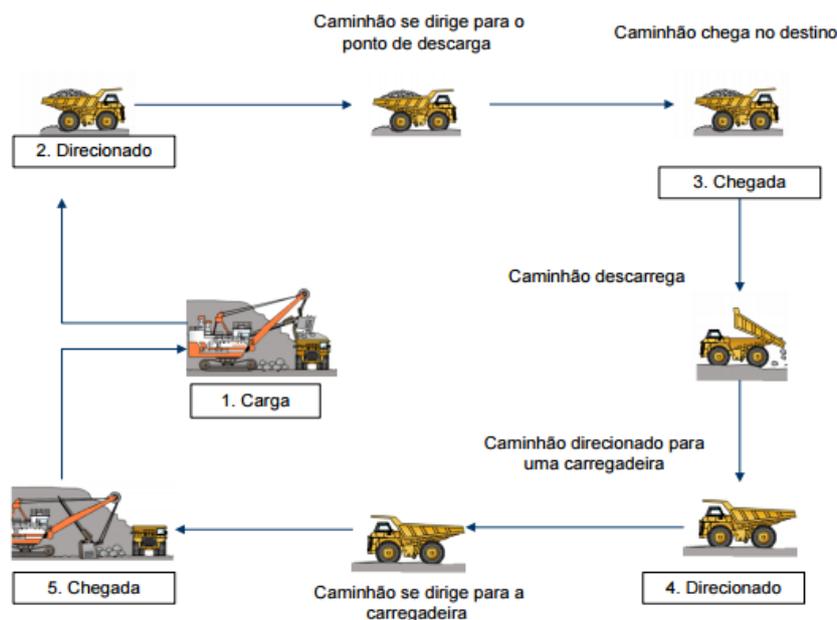


Figura 2 - Ciclo teórico de uma operação de carga e transporte em mina a céu aberto. Fonte: Quevedo (2009).

### 2.1.1 Equipamentos de transporte

Equipamentos de transporte são utilizados na mineração quando a distância entre o local de carga e descarga possui distâncias amplas. Normalmente deve-se optar por equipamentos mais rápidos e com maior capacidade de carga para proporcionar alta produção, apesar da necessidade de um número elevado de unidades (RICARDO & CATALANI, 2007).

Segundo Ferreira (2013) os equipamentos de transporte mais empregados na mineração são os caminhões articulados e os caminhões fora de estrada ou *off-roads*. Estes caminhões possuem componentes dimensionados para suportar trabalhos em grandes pressões de carga, condições climáticas diversas e locais com condições de estrada ruins, resultando ao longo de sua vida útil menores trocas de componentes mecânicos.

É indispensável manter os caminhões sempre em produção, evitando filas e ociosidade para garantir a produtividade. Para que não ocorram esses fatos, é necessário um bom dimensionamento das frotas dos caminhões e da capacidade de transporte e assim aperfeiçoar o processo (FERREIRA, 2013).

### 2.1.2 Equipamentos de carga

Equipamentos de carga são alocados em frentes de lavra com finalidade de escavação e carga para remoção do material, podendo ser executadas por escavadeiras a cabo, escavadeiras hidráulicas, retroescavadeiras hidráulicas, carregadeiras sobre pneus ou esteiras e moto scrapers.

Os equipamentos de carga quando empregados em materiais mais brandos podem fazer a remoção sem a utilização de desmonte, já em materiais mais duros após o desmonte, exercem grandes pressões sobre as rochas possibilitando o carregamento. Segundo Ricardo & Catalani (2007), nesse caso a tração sobre pneus revela-se deficiente.

As escavadeiras são máquinas de escavação que operam estacionadas e são capazes de realizar o enchimento dos caminhões ou esteiras com sua concha. Sua estrutura se destina para o seu deslocamento de frentes de trabalho. (RICARDO & CATALANI, 2007).

### 2.1.3 Produtividade dos equipamentos

Segundo Silva (2009) a produtividade dos equipamentos de carregamento e transporte na mineração a céu aberto, dependerá basicamente se o projeto de mina e seu planejamento tenham sido adequados à jazida, e os equipamentos selecionados deverão estar de acordo com as demandas de operações unitárias de lavra e beneficiamento.

Para o dimensionamento correto dos equipamentos e suas produtividades em uma mina a céu aberto, é necessária a definição e o conhecimento de alguns termos técnicos que tratam das características de cada equipamento. Para os cálculos de estimativa de produção é necessário considerar ainda alguns outros conceitos fundamentais descritos por Silva, (2009):

- empolamento: É o aumento aparente de volume em relação ao estado natural que se encontrava, ou seja, quando uma rocha é fragmentada ela aumenta o seu volume devido aos vazios encontrados dentro das partículas.
- enchimento da caçamba (Fill Factor): Fator aplicável sobre a capacidade operacional da caçamba e que, basicamente, será função das características do material, e ou das

condições dos desmontes, da altura da bancada e da forma de penetração do equipamento.

- volume da caçamba: Fator que deve apresentar a capacidade operacional, coroada ou rasa conforme a situação, do equipamento de carregamento e transporte.
- carga Útil (pay-load): Se define como a carga de material que o equipamento pode carregar sem por em risco as condições de segurança, não podendo ultrapassar 80% da carga necessária para desestabilizar ou pôr em risco a operação.
- operação conjugada: Trata-se do tempo que o equipamento não está produzindo, causada pelas esperas do equipamento que ele opera dependentemente.
- disponibilidade mecânica do equipamento: Quantidade de horas disponíveis existentes para utilizar o equipamento durante um determinado período.
- utilização do equipamento: Quantidade de horas que o equipamento se encontra disponível, isto é, as horas que o equipamento está produzindo.
- Rendimento: É a relação entre as horas efetivamente trabalhadas e o número de horas que o equipamento fica à disposição da obra para execução de uma tarefa.
- tempo de ciclo: Conjunto de operações que um equipamento executa numa certa quantidade de tempo, finalizando com o equipamento retornando ao ponto que se iniciou o ciclo.
- eficiência de operação: Entende-se por percentual das horas realmente trabalhadas em relação às horas programadas, portanto, é de extrema importância manter a produção constante, resultando em maior lucratividade.
- resistência da rampa: É a força paralela ao terreno que se opõe a locomoção dos veículos e equipamentos nos aclives, é preciso superar essa força para movimentar a máquina em rampas desfavoráveis, já em rampas favoráveis, devido à gravidade, ajuda na movimentação da máquina (declives).
- resistência ao rolamento: Considerá-la como a força horizontal mínima que deverá ser aplicada ao equipamento para iniciar o movimento sobre uma superfície plana, horizontal, contínua e indeformável.
- produção teórica de um Equipamento: O rendimento da operação é afetado diretamente pelos tempos de paradas, concluí-se que o aumento de produção será conseguido pela diminuição destes.

#### *2.1.3.1 Controles de horas paradas*

Com finalidade de manter a organização e produção da mina, é de grande importância manter o controle de horas paradas de cada equipamento. Executar o detalhamento e atribuir os impactos causados na produção diária, por qualquer motivo que interrompa a produção são alguns dos critérios para otimização do processo.

Ocorrências de paradas durante a operação podem ocorrer por cinco naturezas distintas: interrupção de algum equipamento, processos de manutenção corretiva, fator externo, falhas de processo e decisão administrativa. Toda e qualquer parada dos equipamentos sem um planejamento prévio causa perdas que impactam a produção prevista do dia (SILVA & SEVERINO 2015).

### 2.1.3.2 Disponibilidade mecânica

A disponibilidade mecânica é a porcentagem de tempo que uma máquina está funcionando e disponível para trabalhar. Manter boas condições de operação e boas práticas de manutenção apresentam efeito positivo na disponibilidade dos equipamentos, à medida que as condições se deterioram (temperaturas extremas, condições de poeira, etc.) e as práticas de manutenção se tornam mais fracas, a disponibilidade será reduzida. As disponibilidades de 85% a 95% devem ser alcançadas na maioria das condições operacionais durante pelo menos os primeiros anos de operação do equipamento. O cálculo da disponibilidade mecânica pode ser observado na equação 1.

$$D_m = \frac{T_P - T_M}{T_P} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

$D_m$  = disponibilidade Mecânica em %

$T_P$  = tempo programado para o trabalho, normalmente dado em horas.

$T_M$  = tempo utilizado para manutenção do equipamento – Manutenção preventiva, corretiva, semanal, inspeções, lavagem, lubrificação, abastecimento. Estes também podem ser chamados de tempos de impedimento da manutenção (TIM), isto é, aqueles tempos que impedem que a  $D_M$  seja maior.

Enfatiza-se que não devem ser incluídos os tempos para troca de material de desgaste por operação, como correntes, dentes, ponteiros, assim como também não se pode incluir nenhum outro tipo de parada que não seja exclusivamente gerado pela necessidade de manutenção do equipamento. O fator  $T_P - T_M$  também pode ser chamado de Tempo Disponível ( $T_D$ ) (PITOLI, 2013).

### 2.1.3.3 Utilização do equipamento

O cálculo de utilização do equipamento define a porcentagem de tempo que uma máquina realmente operará (conforme determinado pela manutenção, programação e práticas operacionais). O bom gerenciamento das operações tornando, supervisão, programas de manutenção planejados e alta disponibilidade, resultará em uma melhor eficiência operacional. Por outro lado, um gerenciamento inadequado, caracterizado por práticas de manutenção desleixadas, baixa disponibilidade de máquinas e assim por diante, resultará em uma menor eficiência operacional. Os valores médios da eficiência operacional devem variar entre 0,75 e 0,90 (média de 0,83). O cálculo da utilização dos equipamentos pode ser observado na equação 2.

$$U = \frac{H_T}{T_P - T_M} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

$U$  = Utilização

$H_T$  = total de horas efetivamente trabalhadas;

$T_P$  = tempo programado para o trabalho, normalmente dado em horas.

$T_M$  = tempo utilizado para manutenção do equipamento – Manutenção preventiva, corretiva, semanal, inspeções, lavagem, lubrificação, abastecimento. Estes também podem ser chamados de tempos de impedimento da manutenção (TIM), isto é, aqueles tempos que impedem que a  $D_M$  seja maior.

## **2.2 Manutenções de equipamentos**

Manutenções de equipamentos corresponde a um conjunto de processos usados para manter boas condições de funcionamento, o que resultará na produtividade máxima e buscar o prolongamento da vida útil. (RICARDO & CATALANI, 2007).

Verificações de rotina, feedbacks dos operadores, manutenção adequada e informações atualizadas de cada equipamento, são algumas medidas necessárias para o prolongamento da vida útil do equipamento. Um plano de manutenção evitará paradas inesperadas ou desgastes precipitados dos componentes, mantendo o funcionamento adequado e eficiente dos equipamentos.

### **2.2.1 Manutenção preventiva**

As manutenções preventivas devem ser feitas de acordo com as recomendações do fabricante dos equipamentos ou considerando o histórico de funcionamento e manutenção de cada um deles, normalmente agendadas a partir da organização da empresa que define quais serão parâmetros para as manutenções.

Segundo Ricardo & Catalani (2007), a programação de manutenção preventiva é de difícil determinação na faixa de idade crítica das peças e dos limites de desgastes admissíveis. Normalmente as verificações previstas são realizadas a cada 100, 500, 1.000 e 4.000 horas, examinando os componentes ou sistemas mais sujeitos a problemas. Essas verificações e inspeções devem ser feitas ainda que equipamento não apresente anormalidade.

Para Sabino, Agra e Tomi (2012), essa manutenção é feita através de um planejamento prévio e específico para cada equipamento de lavra, considerando o tempo de vida útil do equipamento, vistorias programadas e aquisições de informações periódicas. Dando foco nas revisões e inspeções periódicas baseando-se no número de horas trabalhadas ou quilômetros percorridos.

### **2.2.2 Manutenção corretiva**

Segundo Ricardo & Catalani (2007), a manutenção corretiva é destinada apenas para corrigir falhas já detectadas e que prejudicam o funcionamento normal dos equipamentos. A quebra de um equipamento no ciclo de operação quando o mesmo não foi substituído de forma preventiva pode interromper todo o ciclo deixando outros equipamentos ociosos e assim aumentando prejuízos.

Para Sabino, Agra e Tomi (2012) neste tipo de procedimento, é inevitável a perda de tempo ocasionada pela parada do equipamento, sendo assim, somente a partir de detectada a falha ou quebra serão executados os procedimentos para colocar em operação os equipamentos danificados.

### 2.2.3 Indicadores de desempenho de máquinas

Os indicadores de desempenho são frequentemente usados para realizar a comparação ao longo do tempo, deste modo colaborando na tomada de decisões e orientação em relação às metas e objetivos desejados. Um indicador útil deve definir de forma quantitativa características de serviços, estabelecer padrões de eficiência e eficácia do processos, assim garantindo o bom funcionamento dos equipamentos.

É necessário compreender os princípios básicos da estatística da falha: a aplicação de técnicas à descrição e à análise dos padrões de falha dos equipamentos e seus componentes nas instalações (BRANCO, 2006).

#### 2.2.3.1 Indicador MTBF

O indicador MTBF (*Mean Time Between Failures*) ou período médio entre falhas é um valor atribuído a um determinado dispositivo ou aparelho para descrever a sua fiabilidade. O resultado fornece informação sobre quando poderá ocorrer uma falha no aparelho em questão. Quanto maior for este índice, maior será a confiabilidade equipamento (MARTINS, 2009). O MTBF pode ser calculado através da equação 3.

$$MTBF = \frac{\Sigma \text{Total de horas em bom funcionamento}}{\Sigma \text{Número de avarias}} \quad (3)$$

O total de horas em bom funcionamento corresponde ao total de horas sem avarias e sem os tempos gastos em *setup*.

#### 2.2.3.2 Indicador MTTR

O indicador associado à manutibilidade MTTR (*Mean Time To Repair*) considera o tempo médio para reparação de um equipamento ou item, refere-se à média dos tempos que a equipe de manutenção leva para repor a máquina em condições de operar, desde a falha até a reparação ser dada como concluída e a máquina ser considerada em condições de operar (BRANCO, 2006). O índice MTTR pode ser calculado através da equação 4.

$$MTTR = \frac{\Sigma \text{Total de horas gastas em reparação}}{\Sigma \text{Número de avarias}} \quad (4)$$

A manutibilidade pode ser definida em termos probabilísticos como sendo a probabilidade de restabelecer o sistema em condições de funcionamento específicas, em limites de tempos desejados.

### 2.2.3.3 Indicador downtime

O *Downtime*, também conhecido como FOT (*Forced Outage Time*), refere-se ao tempo total de uma paragem devido a uma falha, ou seja, é o período entre a detecção de uma falha e o reinício da operação do equipamento em questão.

Estes tempos de parada podem trazer impactos que refletem na redução das taxas de produção, perdas de faturamento em vendas, sobrecarga de outros equipamentos (GOMES, 2018).

### 2.2.4 Custos de manutenção

Um dos custos significativos em manutenção corresponde a materiais, mão de obra terceirizada e sobressalentes. A aplicação de um programa de manutenção preventiva cuja implantação deve ser avaliada em um estudo criterioso para que não ocorra gastos elevados podem ser umas das medidas para minimizar custos.

Mirshawa & Olmedo (1993) mostra que investimentos crescentes em manutenção preventiva reduzem os custos decorrentes das falhas e, em consequência, diminuem o custo total da manutenção. Entretanto, o gráfico mostra também que, a partir do ponto ótimo em investimento com manutenção preventiva, mais investimentos trazem poucos benefícios para a redução dos custos da falha e acabam elevando o custo total. Como pode ser observado na Figura 3.

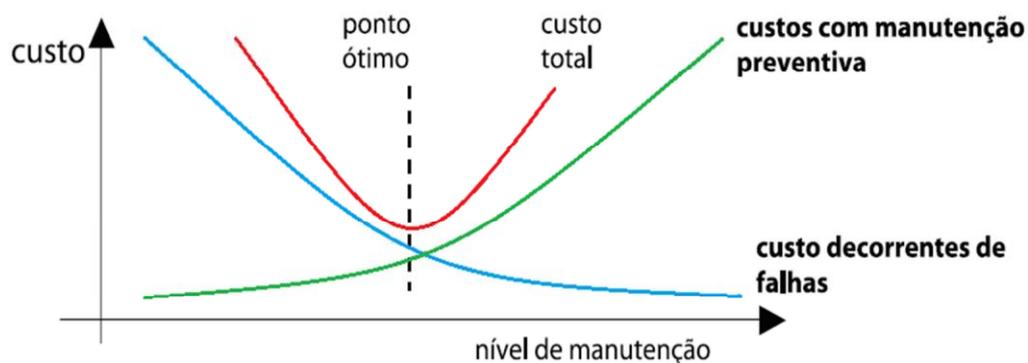


Figura 3 - Gráfico de custos versus nível de manutenção. Fonte: Mirshawa & Olmedo (1993)

## 3 Materiais e Métodos

Para a realização deste estudo desenvolvida uma planilha de manutenção dos equipamentos de lavra e preenchida pelos operadores de cada equipamento, contendo os seguintes tópicos analisados:

- i. equipamento utilizado
- ii. horário de início e de parada do trabalho
- iii. atividade executada
- iv. horário de parada por manutenção
- v. motivo específico da parada
- vi. indicação do tipo de manutenção realizada (preventiva ou corretiva)

vii. horário de retorno ao trabalho

Em conjunto com a planilha de manutenções foi incluído, ordens de serviços de manutenção (OSs) geradas pelo setor de mecânica pesada onde foi definindo medidas adotadas e suas especificações para cada evento, controles de produção, custos em manutenções e horas programadas dos períodos de Junho/2019, Julho/2019 e Outubro/2019.

Após a descrição e interpretação dos dados coletados, definiu-se a quantidade de horas paradas e equipamentos que apresentavam manutenções repetitivas nas quais foram classificadas em borracharia, vazamentos, freios, soldas, motor e transmissão, suspensão, elétrica e outros.

Para adquirir os rendimentos dos equipamentos foi utilizado o cálculo de utilização apresentada na equação (2) e disponibilidade mecânica apresentada na equação (1). Para calcular os índices de MTBF utilizamos os dados de horas de trabalho dos equipamentos e as quantidades de avaria, partindo deste dados foi aplicada a equação (3), logo, para calcular o indicador MTTR utilizamos os dados de horas gastas em reparação e o número de avarias que foram aplicados na equação (4) os dados coletados e para determinar o indicador Downtime, foi calculado o número total de horas de manutenção dos equipamentos. A figura 4 apresenta de modo esquemático o método que foi utilizado para análise dos indicadores.

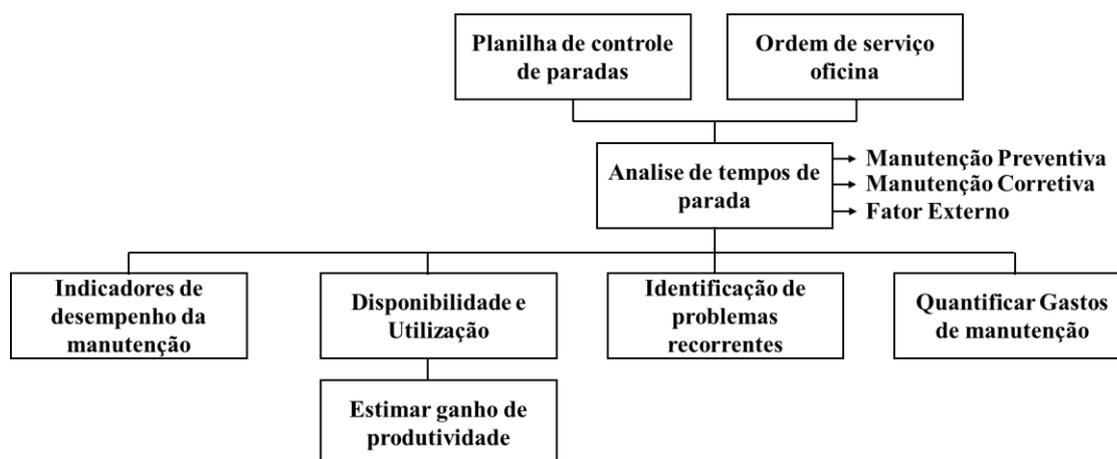


Figura 4 - Esquema de coleta de dados. Fonte: Elaborada pela autora.

## 4 Resultados e discussões

### 4.1 Controle de horas paradas

Para o controle de horas paradas foram utilizadas as planilhas cedidas pela empresa, contendo as informações de horas e dias trabalhados, preenchidas pelos operadores dos equipamentos, planilhas de paradas para manutenções e fatores externos. Todos os dados obtidos foram nos períodos de Junho, Julho e Outubro, resultando em uma planilha de horas de paradas apresentadas na figura 5.

O resultado do estudo sinaliza grande quantidade de horas paradas em relação as horas programadas de trabalho. Verifica-se que em alguns casos alguns equipamentos tiveram poucas horas trabalhadas durante estes três meses. Em alguns casos isso ocorreu devido ao fato que o

equipamento encontrava-se em manutenção corretiva. Em outros casos também se considera que o equipamento teve menos horas trabalhadas em virtude de algum planejamento operacional do dia a dia. Com esta primeira análise pode-se atestar que a ausência de um controle de horas adequado, horas de manutenção excessivamente altas e fatores externos estão diretamente influenciando em um baixo desempenho na produção diária.

Na coluna horas faltantes foi observado que as horas programadas para trabalho não são coerentes com as horas efetivamente trabalhadas, importante salientar que a empresa precisa estar trabalhando com programações o mais próximo da realidade para que não haja resultados hipotéticos.

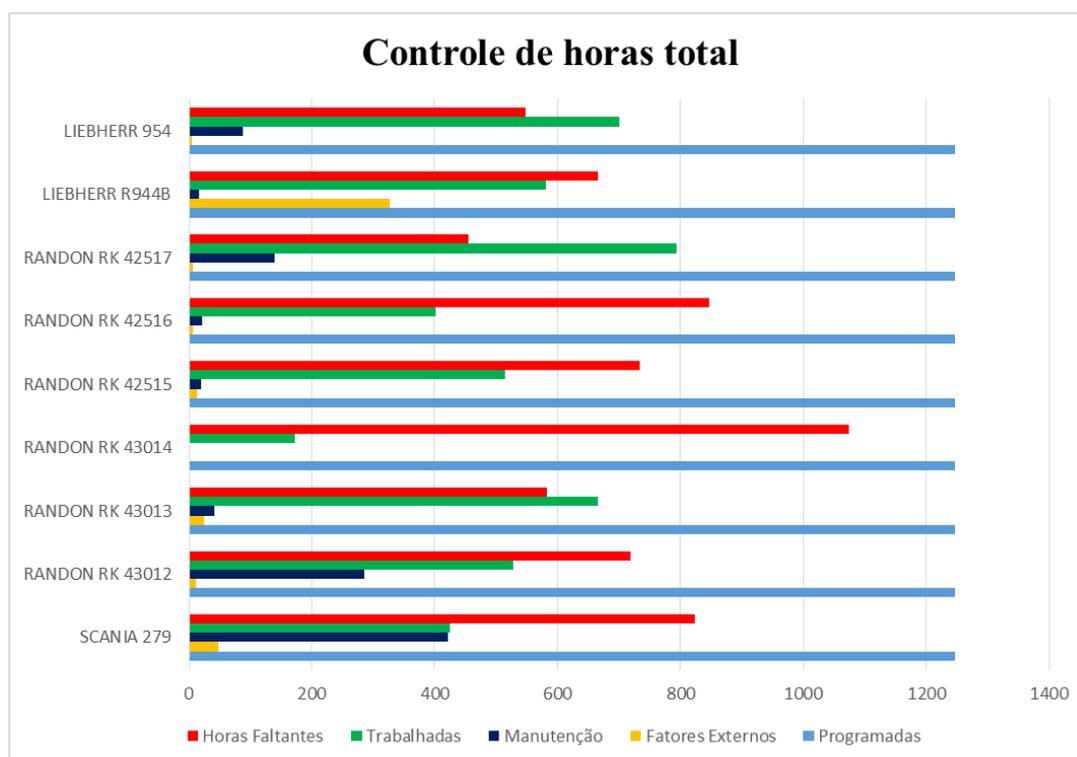


Figura 5 – Gráfico controle de horas paradas

#### 4.2 Disponibilidade mecânica e Utilização dos equipamentos

Utilizando os dados provenientes de Ordens de Serviço (OSs) da oficina mecânica da empresa, planilha com controle de paradas, manutenções, controle de horas trabalhadas e aplicando-se o cálculo da equação 1 e 2 apresentada anteriormente, foi desenvolvida a tabela 2. Esta tabela aponta o indicador de disponibilidade mecânica de cada equipamento. Pode-se destacar que na média dos três meses observados, para os equipamentos Scania 279 e Randon RK 12 foram obtidas as menores disponibilidades mecânicas, de 65% e 77%, respectivamente. Em compensação na média geral e todos os meses e entre todos os equipamentos a disponibilidade foi de 91%, estando dentro dos parâmetros operacionais desejados segundo as boas práticas estabelecidas na literatura.

Já a utilização média geral foi de 47% resultando um valor inferior a 75% esse valor por sua vez refere-se ao índice esperado para utilização de equipamentos que pode variar entre

75% e 90%, segundo a literatura. O resultado insatisfatório pode ocorrer em razão do gerenciamento não otimizado na disposição de trabalho e outros fatores.

Indispensável ressaltar que nos períodos com baixa utilização a disponibilidade mecânica foi considerada alta na variação de 85% a 95%, segundo a literatura. Esse resultado é justificado pelo mesmo critério do qual equipamentos com utilização mais alta tiveram uma disponibilidade menor, devido maior número de ocorrência de falhas. Tendo como exemplo os caminhões Scania 279 e o RK-12 nos meses que a utilização foi alta, como observado em Junho, a disponibilidade mecânica caiu para 65% e 51%, respectivamente.

Equipamentos	Disponibilidade Mecânica				Utilização			
	jun/19	jul/19	out/19	Junho, Julho e Outubro	jun/19	jul/19	out/19	Junho, Julho e Outubro
SCANIA 279	65%	94%	37%	65%	86%	47%	0%	44%
RANDON RK 43012	51%	83%	98%	77%	76%	58%	41%	58%
RANDON RK 43013	96%	100%	95%	97%	49%	52%	65%	55%
RANDON RK 43014	100%	100%	100%	100%	4%	29%	8%	14%
RANDON RK 42515	97%	98%	100%	98%	64%	59%	1%	41%
RANDON RK 42516	99%	96%	100%	98%	44%	53%	0%	32%
RANDON RK 42517	97%	71%	100%	89%	72%	95%	54%	73%
LIEBHERR R944B	96%	100%	100%	99%	72%	18%	54%	48%
LIEBHERR 954	82%	98%	99%	93%	59%	73%	48%	60%
			Média	91%			Média	47%

Tabela 1 - Utilização e disponibilidade mecânica

#### 4.3 Eventos de Manutenção dos equipamentos

Para obtermos os resultados de manutenções foram utilizadas Ordens de Serviço (OSs) da oficina mecânica da empresa, controle de manutenções preenchidas pelos operadores dos equipamentos nos períodos de Junho, Julho e Outubro, a partir dos dados foi desenvolvido 6 e 7 É possível observar um elevado percentual de manutenções corretivas 94%, em relação as manutenções preventivas, de apenas 6%. Os resultados obtidos possivelmente estão sendo gerados pela deficiência na programação do processo de reparação, falta de verificações de rotina e utilização prolongada de equipamentos que apresentem desgaste em determinados componentes.

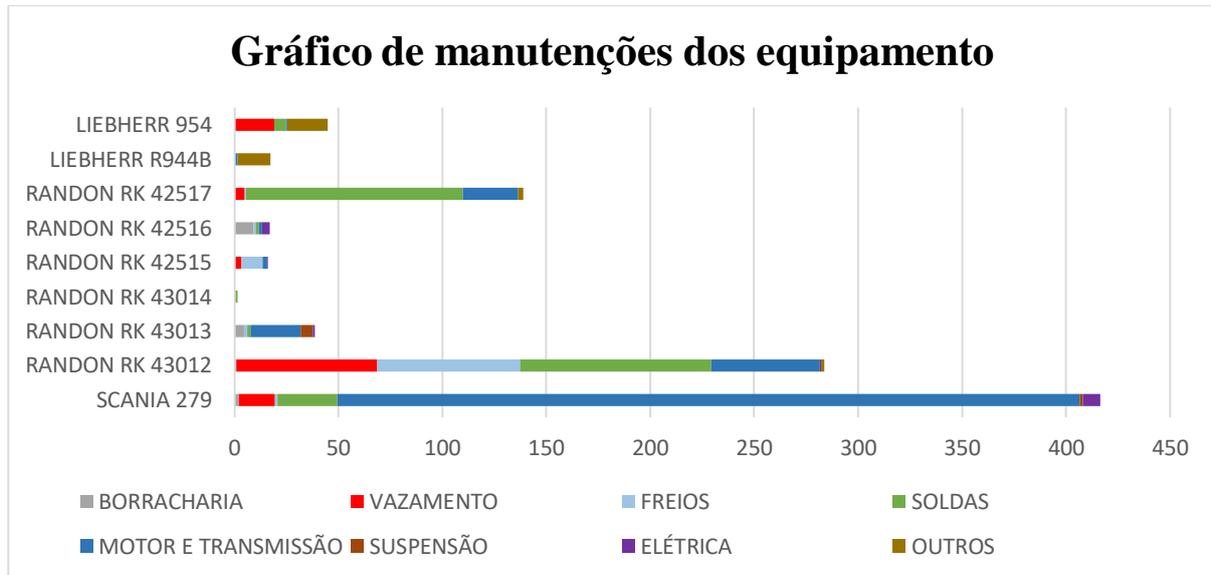


Figura 6 – Gráfico manutenções dos equipamentos

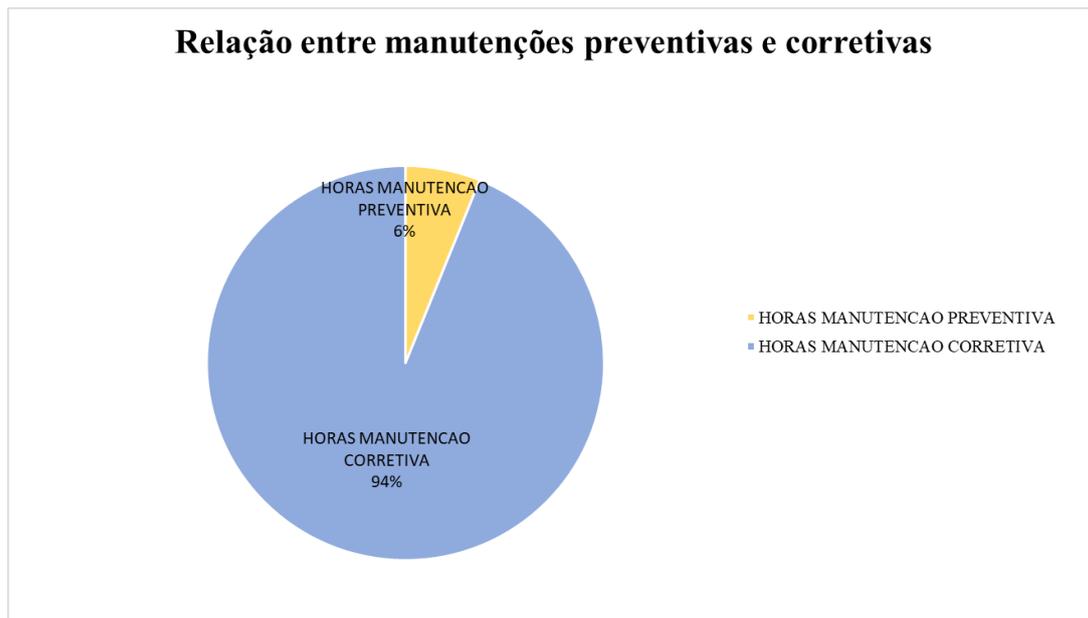


Figura 7 - Gráfico com a relação entre manutenções preventivas e corretivas. Fonte: Elaborada pela autora

Já na figura 8, são apresentadas as composições dos grupos estabelecidos de manutenções corretivas. Dentre as manutenções corretivas mais significativas destaca-se reparações de soldas de chassi que compõe 24% do total, e de Motor e Transmissão que compõem 48% de todas as manutenções apresentadas, o que pode indicar um sobre esforço dos equipamentos, ou até mesmo a proximidade do fim da vida útil dos mesmos.

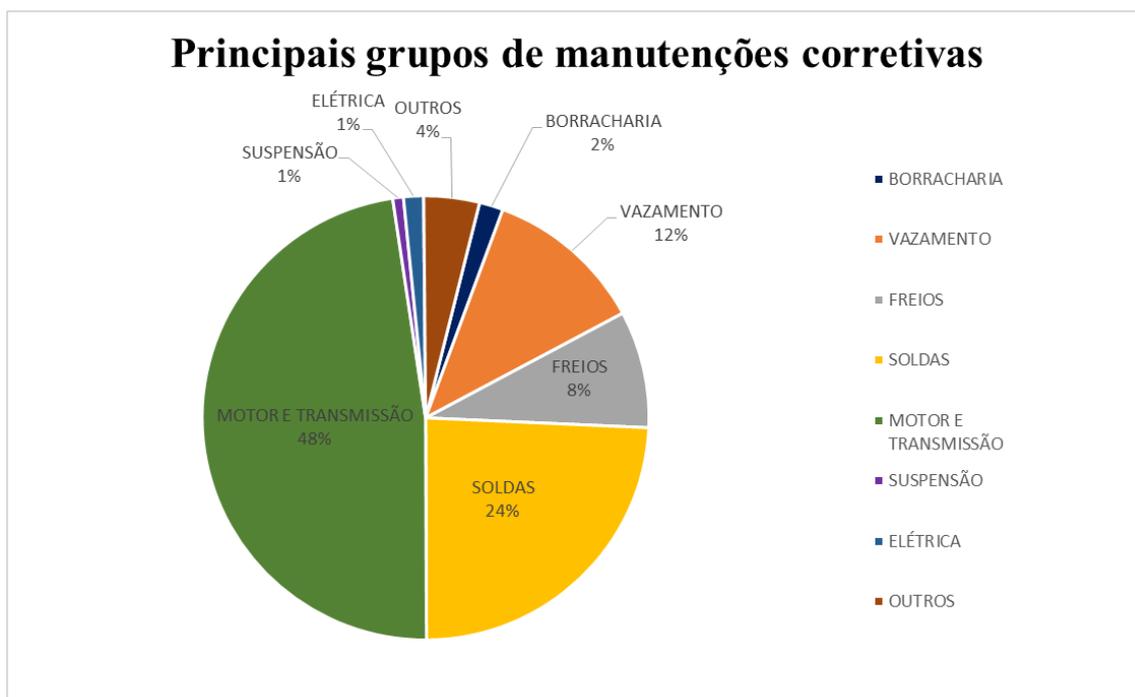


Figura 8 - Gráfico dos principais grupos de manutenção corretiva. Fonte: Elaborada pela autora.

#### 4.4 Indicadores de Desempenho

Os indicadores foram gerados a partir dos cálculos das equações 3 e 4 apresentadas anteriormente. O índice MTTR, com finalidade de pontuar os tempos médios (em horas) para reparo dos equipamentos, resultou na média para os três meses analisados no valor de 13,9h, para o Scania 279, 25,8h para o Randon RK 12 e 12,6h para o Randon RK 17. Esses valores são extremamente elevados em relação aos demais equipamentos durante o mesmo período, e esse resultado indica que os equipamentos citados tiveram reparos de maior complexidade.

Por sua vez, o índice MTBF aponta o tempo médio (em horas) entre falhas dos equipamentos, sendo que os equipamentos Scania 279 apresenta o valor de 27h e o Randon RK 14, 34 horas. Esses valores quanto mais baixos indicam maior frequência de problemas, nestes dois casos específicos indicam problemas mecânicos a cada dia e meio de trabalho, aproximadamente, prejudicando o desempenho adequado destes equipamentos.

Já o indicador *Downtime* indica o tempo total (em horas) de indisponibilidade dos equipamentos, resultado gerado a partir das planilhas de manutenções. Novamente pode se observar tempos elevados para os equipamentos Scania 279, de 139 h, e de 95h para o Randon RK 12, reafirmando o que já havia sido verificado no índice MTTR. Os índices citados podem ser observados na tabela 4.

Equipamentos	MTRR	MTBF				Downtime			
	Junho, Julho e Outubro - 2019	jun/19	jul/19	out/19	Junho, Julho e Outubro	jun/19	jul/19	out/19	Junho, Julho e Outubro
SCANIA 279	13,9	26	28	*1	27	144	25	248	139
RANDON RK 43012	25,8	53	30	160	81	204	71	9	95
RANDON RK 43013	2,6	28	224	35	96	18	2	20	13
RANDON RK 43014	1,5	*2	*2	34	34	0	0	2	1
RANDON RK 42515	2,0	65	62	*3	64	10	6	0	5
RANDON RK 42516	1,5	92	24	*3	58	2	15	0	6
RANDON RK 42517	12,6	72	41	*4	57	13	126	0	46
LIEBHERR R944B	4,3	96	78	*4	87	16	2	0	6
LIEBHERR 954	3,7	34	103	63	67	39	4	2	15

\*1 - Horometro do equipamento com problema

\*2 - Não houve manutenções corretivas neste periodo

\*3 - Equipamento realocado para outro unidade

\*4 - Não houve controle das manutenções realizadas

Tabela 2 - Índices MTRR, MTBF e Downtime calculados

#### 4.5 Custos de manutenção

Os custos apresentados foram gerados a partir de controles cedidos pela empresa e a partir destes dados foi possível desenvolver a tabela 5. Os resultados apresentam grandes discrepância entre custos de manutenções corretivas e preventivas. Os equipamentos como Randon RK 12, Randon RK 16 e Liebherr R954 apresentaram custos em manutenção corretiva elevado, quando comparado aos demais. Ainda que alguns equipamentos apresentem desequilíbrio, é observado que custo em manutenções corretivas são muito mais altos em relação as manutenções preventivas em todos equipamentos.

	jun/19		jul/19		out/19		Médio	
	Manutenção Preventiva	Manutenção Corretiva						
Liebherr R944B	R\$ 3.410	R\$ 2.277	R\$ 2.892	R\$ 6.452	R\$ 4.465,89	R\$ 3.614,42	R\$ 3.589	R\$ 4.114
Liebherr R954	R\$ 7.622	R\$ 10.906	R\$ 1.185	R\$ 9.834	R\$ 4.710,84	R\$ 5.869,73	R\$ 4.506	R\$ 8.870
RK425 - 12	R\$ 387	R\$ 9.375	R\$ 489	R\$ 2.977	R\$ 810,17	R\$ 3.094,31	R\$ 562	R\$ 5.149
RK425 - 13	R\$ 1.421	R\$ 4.416	R\$ 637	R\$ 4.653	R\$ 505,17	R\$ 4.192,05	R\$ 854	R\$ 4.420
RK425 - 14	R\$ 48	R\$ 7.029	R\$ 282	R\$ 5.190	R\$ 4.722,60	R\$ 34.933,77	R\$ 1.684	R\$ 15.717
RK425 - 15	R\$ 1.121	R\$ 3.240	R\$ 1.390	R\$ 4.871	R\$ 23,87	R\$ 3.285,50	R\$ 845	R\$ 3.799
RK425 - 16	R\$ 554	R\$ 11.913	R\$ 134	R\$ 3.002	R\$ 0,00	R\$ 2.998,35	R\$ 229	R\$ 5.971
RK425 - 17	R\$ 404	R\$ 2.893	R\$ 362	R\$ 3.549	R\$ 515,05	R\$ 3.402,33	R\$ 427	R\$ 3.282
SC279-Scania	R\$ 792	R\$ 552	R\$ 0	R\$ 0	R\$ 365,08	R\$ 11.974,46	R\$ 386	R\$ 4.175
Média	R\$ 1.751	R\$ 5.845	R\$ 819	R\$ 4.503	R\$ 1.791	R\$ 8.152	R\$ 1.454	R\$ 6.166

Tabela 3 - Custos de manutenção

No gráfico apresentado na figura 9, pode se observar a diferenciação entre os custos de manutenção, segundo seu tipo. Esse resultado nos indica que os custos em manutenção estão distribuídos na região esquerda do gráfico de Mirshawa e Olmedo, apresentado anteriormente, ou seja, os custos de manutenção corretivas estão muito mais elevados em relação aos custos de manutenção preventiva e distante do ponto ótimo indicado pelos autores.

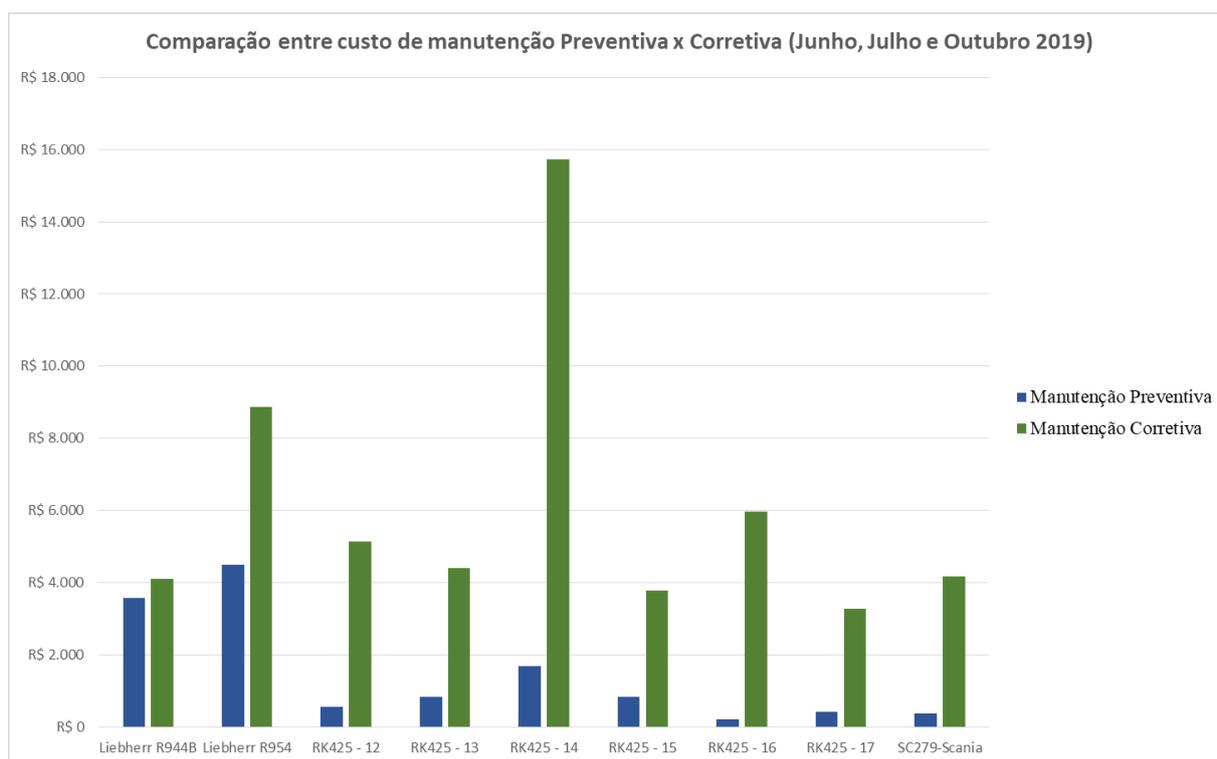


Figura 9 - Gráfico com comparação entre os custos de manutenção corretiva e preventiva. Elaborada pela autora.

#### 4.6 Ganho de produtividade

As taxas de produtividade de cada equipamento foram obtidas a partir dos dados de produção e controle de horas trabalhadas, informações estas cedidas pela empresa. Baseando-se nestas informações é que foi gerada a tabela 6, partindo das produções foi desenvolvida uma média de produção para cada equipamento e a partir desta médias foi calculado a produção efetiva ao usarmos a utilização de 75% que pode se considerar ideal partindo da literatura.

	jun/19		jul/19		out/19		Média atual		
	Horas Trabalhadas	t/h	Toneladas						
SCANIA 279	232	90	193	85	-	-	212	88	18676
RANDON RK 43012	160	78	208	78	160	79	176	78	13771
RANDON RK 43013	194	102	224	57	247	86	222	81	18052
RANDON RK 43014	15	77	125	75	34	125	58	92	5341
RANDON RK 42515	261	63	249	66	5	109	171	79	13601
RANDON RK 42516	183	70	218	80	0	-	134	75	10052
RANDON RK 42517	288	74	290	69	216	67	265	70	18444
LIEBHERR R944B	289	153	78	157	215	137	194	149	28859
LIEBHERR 954	202	213	310	195	189	196	234	201	46996

Tabela 4 - produção mensal e média

Com os resultados elaborou-se uma estimativa de produção ótima, apresentada na tabela 7, onde se projeta uma utilização de 75%, definida como ótima neste estudo para todos

os equipamentos, com isso são calculados perdas de produtividade em relação as utilizações atualmente encontradas. O ganho médio entre todos os equipamentos foi da ordem de 28%.

	Utilização ótima	Estimativa de produção ótima			
	%	Horas Trabalhadas	t/h	toneladas	Ganho
SCANIA 279	75%	277	88	24386	131%
RANDON RK 43012	75%	206	78	16075	117%
RANDON RK 43013	75%	265	81	21593	120%
RANDON RK 43014	75%	93	92	8618	161%
RANDON RK 42515	75%	229	79	18159	134%
RANDON RK 42516	75%	191	75	14339	143%
RANDON RK 42517	75%	269	70	18724	102%
LIEBHERR R944B	75%	246	149	36654	127%
LIEBHERR 954	75%	268	201	54030	115%
				Média	<b>128%</b>

Tabela 5 - Estimativa de produção ótima

## 5 Conclusões e Considerações finais

A partir dos dados coletados foi possível obter uma perspectiva dos principais indicadores de manutenções, horas paradas, custos empregados em manutenções e possibilidade de ganho de produtividade. Observa-se de maneira geral que os equipamentos apresentaram maior número de falhas mecânicas quando mais requisitados (períodos com maior utilização). Além disso, quando apresentaram falhas mecânicas foram falhas mais graves, com grande número de horas para reparação (MTTR).

O estudo foi desenvolvido no período de Junho á Outubro, em função de contratempos por parte da empresa não possuir um banco dados completo e por alguns problemas identificados nas planilhas de controle de manutenções, sendo assim foram utilizados apenas os períodos de Junho, Julho e Outubro, por estarem completos.

A interpretação dos resultados é baseada em função da planilha de dados, autores citados e acompanhamento das atividades que estavam sendo executadas na empresa. Medidas para melhorar e desenvolver os indicadores citados no presente trabalho resultarão na redução de horas paradas consequentemente no aumento da utilização e no ganho de produtividade, além de uma possível redução nos custos de manutenções corretivas, se as manutenções preventivas forem planejadas e executadas em maior intensidade.

Ressaltando que o estudo obteve o aumento de 28% na produção de cada equipamento adotando apenas a utilização de 75% conforme é aconselhado pela literatura, possível identificar que a empresa onde foi feito o estudo está tendo paradas e custos superiores ao que é esperado na literatura em virtude de manutenções corretivas assim como a utilização apresenta carência na programação e organização na utilização dos equipamentos.

Ainda com as adversidades enfrentadas foi possível atingir os objetivos propostos, o presente estudo poderá ser atualizado com a incorporação de dados atualizados e assim a empresa poderá obter resultados minuciosos e com possibilidade de criação de um banco de dados de longo prazo onde variações nos índices dos equipamentos poderão ser facilmente

detectadas e medidas tomadas de maneira rápida. Auxiliando tanto no planejamento da manutenção quanto no aspecto de possível substituição de equipamentos.

## 6 Agradecimentos

Aos meus familiares pelo apoio e incentivo e, ao meu avô João Francisco Teixeira (*In memoriam*) que de alguma forma sempre esteve presente na caminhada.

Ao meu professor e orientador Diogo Cordova, pela orientação e contribuição para o êxito desse trabalho.

A direção e funcionários da empresa Monêgo onde foi realizado o estudo de caso, por ter possibilitado e contribuído com a realização do mesmo.

A todos os demais professores, colegas e servidores da UNIPAMPA que de alguma forma foram parceiros ao longo da graduação ou colaboraram para a realização deste trabalho.

Obrigada ‘Cachaçapava’ por ter me dado tantos amigos que irei levar para vida toda!

## 7 Referências Bibliográficas

- BRANCO FILHO, G. (2006). Indicadores e Índices de Manutenção. Rio de Janeiro: Ciência Moderna.
- BORGES, Thiago Campos. Análise dos custos operacionais de produção no dimensionamento de frotas de carregamento e transporte em mineração. 2013. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013. Disponível em: . Acesso em: 19 jun. 2019.
- BORTOLOTTI, O. J.; 1987; Petrografia dos Mármore de Caçapava do Sul, Ciência e Natura V. 9 - p. 37-65
- FERREIRA, Leonardo Assis. ESCAVAÇÃO E EXPLORAÇÃO DE MINAS A CÉU ABERTO. 2013. 118 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Juiz de Fora Faculdade de Engenharia da Ufjf, Juiz de Fora, 2013. Disponível em: <http://www.ufjf.br/engenhariacivil/files/2012/10/ESCAVAÇÃO-EXPLORAÇÃO-DE-MINAS-A-CÉU-ABERTO.pdf>>. Acesso em: 14 jun. 2019.
- GOMES, Pedro César Tebaldi. O que é um downtime, quais suas causas e como evitá-las? 2018. 1 f. Curso de Ti, Infraestrutura de Ti, Op Service, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <<https://www.opservices.com.br/o-que-e-um-downtime/>>. Acesso em: 28 jun. 2019.
- MARTINS, Eliseu. Contabilidade de custos. 10. ed. São Paulo: atlas, 2010. MARTINS, E.; ROCHA, W. Métodos de custeio comparados. São Paulo: Atlas, 2010
- MIRSHAWA, Vitor; OLMEDO, N. Lupes. Manutenção – Combate aos custos da não eficiência – a vez do Brasil. São Paulo; MAKRON Books McGraw-Hill. 1993
- PITOLI, Marcos Henrique. Sistema portátil para monitoramento e identificação de falhas em motores de indução trifásicos através da técnica da análise da assinatura elétrica. Dissertação

apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia elétrica, da Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2013. 145f

SABINO, O. Rodrigo; AGRA, V. Richardson; TOMI, Giorgio. Desafios na Gestão de ativos em projetos de Mineração de pequeno porte: Exemplo prático. 9f. Escola politécnica Universidade de São Paulo. Departamento de engenharia de minas e petróleo. São Paulo – SP. 2014.

SAMPAIO, João Alves; ALMEIDA, Salvador Luiz Matos de. Rochas e Minerais Industriais: Calcário e Dolomito. 2. ed. São Paulo: Cetem, 2008. 29 p. (CAPÍTULO 16). Disponível em: <<https://www.cetem.gov.br/agrominerais/teste/livros/16-agrominerais-calcario-dolomito.pdf>>. Acesso em: 04 jun. 2019.

SILVA, Lucas Rafaeli Tavares; SEVERINO, Maico Rois. Análise do papel estratégico da gestão da manutenção na indústria de mineração. In: XXXV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. 2015. Fortaleza – CE. 2015. 16f.

SILVA, V. C. Apostila de Carregamento e transporte de rochas. Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2009. Pg. 32-89

QUEVEDO, J. M. G. Modelo de Simulação para o Sistema de Carregamento e Transporte em Mina a Céu Aberto. Rio de Janeiro, 2009. 133 p.

RICARDO, H. S. e CATALANI, G. Manual prático de escavação - terraplenagem e escavação de rocha. 3ª Edição. São Paulo: PINI, 2007.