



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG
Campus Avançado de Poços de Caldas
Rodovia José Aurélio Vilela, nº 11.999 - Cidade Universitária
CEP: 37715-400 - Poços de Caldas/MG



Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), Campus de Poços de Caldas
Curso de Especialização em Engenharia de Mineral (CEEM)

Bianca Ferreira de Andrade

Análise Estatística de Payload Ligados a Remoção de Material *In Situ*

Poços de Caldas
2023



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG
Campus Avançado de Poços de Caldas
Rodovia José Aurélio Vilela, nº 11.999 - Cidade Universitária
CEP: 37715-400 - Poços de Caldas/MG



Bianca Ferreira de Andrade

Análise Estatística de Payload Ligados a Remoção de Material *In Situ*

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à
Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG) como parte
dos requisitos para a integralização do curso de
Especialização em Engenharia de Mineral (CEEM).

Área de concentração: Lavra

Orientador: Prof. **Edmo da Cunha Rodovalho**

Poços de Caldas

2023





Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Campus Poços de Caldas

Andrade, Bianca Ferreira de.

Análise Estatística de Payload Ligados a Remoção de Material In Situ /
Bianca Ferreira de Andrade. - Poços de Caldas, MG, 2023.
66 f. : il. -

Orientador(a): Edmo Cunha Rodovalho.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia de
Minas) - Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2023.
Bibliografia.

1. Carga Média. 2. Estatística. 3. KPI's. 4. Minitab. 5. Produtividade. I.
Rodovalho, Edmo Cunha, orient. II. Título.

Ficha gerada automaticamente com dados fornecidos pelo autor.



BIANCA FERREIRA DE ANDRADE

Análise Estatística de Payload Ligados a Remoção de Material In Situ

A Banca examinadora abaixo-assinada aprova o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG) como parte dos requisitos para a integralização do curso de Especialização em Engenharia de Mineral (CEEM).

Área de concentração: Lavra

Aprovada em: 06 de setembro de 2023

Orientador: Edmo Cunha Rodovalho

Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Assinatura: 


Examinador 1: Osvail André Quaglio

Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Assinatura: 

Examinador 2: Matheus Fernando Ancelmi

Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Assinatura: 



AGRADECIMENTOS

A Deus por estar sempre presente em minha existência.

Aos membros da Banca Examinadora, muito obrigado.

À Direção, professores e ao corpo técnico-administrativo por ter dado todo apoio.

Ao meu orientador que ajudou de forma segura e eficiente com todo prazer de compartilhar seus conhecimentos e entusiasmos.

Aos meus pais pela abnegação que sempre tiveram comigo.

Ao meu namorado pela paciência e companheirismo durante todos os momentos.

Aos colegas de serviço, pelas informações e apoio sempre prestados.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG
Campus Avançado de Poços de Caldas
Rodovia José Aurélio Vilela, nº 11.999 - Cidade Universitária
CEP: 37715-400 - Poços de Caldas/MG



“Não existem verdades absolutas!
É um convite a reflexão”
(Marcos Ramos)





LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Lavra Por Bancadas	21
Figura 2 Lavra em tiras localizada em Casper, Estados Unidos.....	22
Figura 3 Etapas do ciclo de Carregamento.....	24
Figura 4 Distribuição de custos de lavra por caminhão	25
Figura 5 Ciclo de Transporte.....	26
Figura 6 Seleção de equipamentos e fatores sensíveis ao dimensionamento. ...	28
Figura 7 Match de Escavadeira e Caminhões fora de estrada	30
Figura 8 Match de pás carregadeiras e Caminhões fora de estrada	31
Figura 9 Match de Escavadeiras a cabo e Caminhões fora de estrada.....	32
Figura 10 Forma correta do posicionamento da carga na báscula do caminhão.	33
Figura 11 Operação normal X Operação com despachos dinâmicos	34
Figura 12 Esquema Simplificado de Despacho Eletrônico	35
Figura 13 Funcionamento do sistema de gerenciamento de mina	37
Figura 14 Representações Gráficas do Minitab.....	45
Figura 15 Representação de Desvio Padrão	46
Figura 16 Planilha de atualização de Cargas Médias.....	48
Figura 17 Teste de Normalidade Março	50
Figura 18 Graphical Summary Março Sem Tratamento.....	50
Figura 19 Graphical Summary Março Com Tratamento.....	51
Figura 20 Teste de Normalidade Abril	52
Figura 21 Graphical Summary Abril Sem Tratamento.....	52
Figura 22 Graphical Summary Abril Com Tratamento	53
Figura 23 Teste de Normalidade Maio	54
Figura 24 Graphical Summary Maio Sem Tratamento	54
Figura 25 Graphical Summary Maio com Tratamento	55
Figura 26 Teste de Normalidade Junho	56



Figura 27 Graphical Summary Junho Sem Tratamento	56
Figura 28 Graphical Summary Junho Com Tratamento.....	57
Figura 29 Comparativo BoxPlot	58
Figura 30 Graphical Summary Geral com Tratamento.....	59
Figura 31 Gráfico de Carga Morta	61





LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Carga Média de Amostragem.....	58
Tabela 2 -Aderência com Massa Alimentada	62





LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CM	Carga Média
DF	Disponibilização Física
DMT	Distância Média de Transporte
KPI	Key Performance Indicator ou Indicador-Chave de Performance.
RO	Rendimento Operacional
REM	Relação Estéril/Minério
SQL	“Structured Query Language” (Linguagem de Consulta Estruturada)
UF	Utilização Física





SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	15
2. OBJETIVO	16
2.1 Objetivo geral	16
2.2 Objetivos específicos	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1 Breve histórico da Mineração	17
3.2 O Empreendimento	18
3.3 Operação de Lavra.....	18
3.4 Lavra a Céu aberto.....	19
3.5 Perfuração e desmonte	23
3.6 Carregamento e Transporte	23
3.7 Seleção dos equipamentos	27
3.8 Sistema de despacho.....	33
3.8.1 Smartmine.....	36
3.9 Indicadores e KPI's de operação	38
3.9.1 Produtividade	39
3.9.2 Disponibilidade Física (DF)	39
3.9.3 Utilização Física (UF).....	40
3.9.4 Rendimento Operacional	41
3.9.5 Relação estéril/Minério (REM)	42
3.9.6 Distância Média de Transporte (DMT)	43



3.9.7	Carga Média	44
3.10	Análise Estatística Populacional	44
3.10.1	Teste de Normalidade e Graphical Summary	45
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	47
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
6.	CONCLUSÕES.....	62





RESUMO

As operações de transporte e carga são recursos fundamentais para a execução de um plano de lavra, dessa forma a concentração do presente estudo está nas operações de mina. O acompanhamento do processo produtivo da frota, é feito a partir de KPI's (Key Performance Indicator), que são os indicadores chaves de desempenho, fornecidos diretamente do sistema de gestão de frotas utilizado, SmartMine. O grande objetivo do estudo é controlar a carga dos caminhões diminuindo os desvios padrão nas massas transportadas em cada viagem e criação do valor de carga correspondente, através de análises estatísticas de dados amostrais de pesagens. Para a realização das análises e estudos de Carga média, foi utilizado o software MINITAB 16®, que traz estimativas de altos índices de precisão aumentando a confiabilidade das informações. Através dos dados, foram apresentadas propostas para aumento e padronização da carga média. A validação das estimativas é feita através da comparação com os resultados apresentados pela correia do Britador e com os dados apresentados pela Mina a base seca. As análises indicam que a forma usada é eficaz de acordo com o cenário existente, já que os equipamentos não possuem balança embarcada, o que gera uma grande variação no padrão de carregamento, porém, através de estratégias pode haver redução nessa variabilidade.

Palavras-chave: Carga Média, Estatística, KPI's, Minitab, Produtividade.



ABSTRACT

Transport and loading operations are fundamental resources for executing a mining plan, therefore the focus of this study is on mine operations. Monitoring of the fleet's production process is done using KPI's (Key Performance Indicator), which are the key performance indicators, provided directly from the fleet management system used, SmartMine. The main objective of the study is to control the truck load by reducing the standard deviations in the masses transported on each trip and creating the corresponding load value, through statistical analyzes of sample weighing data. To carry out the average load analyzes and studies, the MINITAB 16® software was used, which provides estimates with high levels of precision, increasing the reliability of the information. Using the data, proposals were presented to increase and standardize the average load. The validation of the estimates is made through comparison with the results presented by the Crusher belt and with the data presented by the Mine on a dry basis. The analyzes indicate that the method used is effective according to the existing scenario, since the equipment does not have an on-board scale, which generates a large variation in the loading pattern, however, through strategies this variability can be reduced.

Keywords: Average Load, Statistics, KPI's, Minitab, Productivity.



1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A mineração está inserida desde o século XVII na humanidade, e desde então vem se tornando parte da evolução do desenvolvimento econômico e cotidiano humano.

As empresas da atualidade têm um alto nível de competitividade, o que faz com que a tendência seja proporcionar um produto de qualidade a seus consumidores, isso de forma inovadora e sustentável.

O transporte de minérios é uma das etapas que tem o custo mais elevado na indústria mineral, sendo representado por aproximadamente 50 a 60% do total. Sabe-se que nesse montante o custo de manutenção da frota é um dos principais componentes do custo operacional da lavra a céu aberto, podendo ser altamente influenciado por sobrecargas de massa transportada. O excesso carga pode causar desgastes excessivos em componentes, diminuindo a disponibilidade física e redução da taxa da produção da mina. E em contrapartida, a carga abaixo da capacidade gera uma redução na produtividade, consequentemente aumento dos custos unitários.

Um dos métodos de acompanhamento é pela análise de indicadores de produção, que permite verificar cenários diferentes a fim de obter o melhor resultado. Para completar, tais análises podem ser feitas através de softwares estatísticos como Minitab, usado no presente trabalho, que permite extrair informações consolidadas e facilita a compreensão de situações do cotidiano através de seus relatórios mais robustos, sendo possível verificar possíveis melhorias no desempenho.

Neste Contexto, como incremento de aumento de produtividade e redução de custos, surgiu a ideia de estabilização de carga média de transporte. A base de dados de pesagens usada no presente trabalho, teve seu início em março de 2023 a julho de 2023, a fim de propor melhorias para o último trimestre de 2023. Foram analisadas, através de Minitab e tratamento de dados, as pesagens realizadas no período e foram definidas as cargas médias adequadas de cada litologia. Para confirmação dos valores, ao fim de cada mês fez-se um comparativo com a massa transportada e a massa alimentada, confirmando a eficácia do método.



2. OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Realizar as análises de Carga Média através de dados estatísticos.

.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar as possíveis Causas de desvios da Carga Média.
- Estabelecer ações para reduzir a variabilidade de Carga.
- Identificar através de análises estatísticas os valores de cargas médias de litologias de minério.
- Propor possíveis soluções para diminuir a variabilidade de Carga.



3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Lakatus (2003), referencial teórico consiste na análise de determinados assuntos, norteando a pesquisa a partir do embasamento da literatura já publicada e pesquisas realizadas apresentando a evolução do tema e ideias de diferentes autores, sobre um determinado assunto.

3.1 Breve histórico da Mineração

A mineração é uma atividade industrial e econômica que consiste na pesquisa, exploração, lavra (extração) e beneficiamento de minérios a partir de seus depósitos. É notável a necessidade dos minerais na atual configuração da atual sociedade, haja vista que diversos recursos do nosso cotidiano são provenientes dessa atividade.

Desde o século XVII, que é marcado pelo processo de colonização do Brasil, a mineração vem ganhando espaço se tornando relevante para o desenvolvimento econômico da história, iniciando naquela época pelas produções restritas de Ouro e diamante, vindo se destacando por inovações significativas no tratamento de minério percorrendo até atualidade com grandes mineradoras de Ferro, nióbio, bauxita, etc (OLIVEIRA, 2022)

Segundo dados da Agência Nacional de Mineração (ANM), no ano de 2019, as substâncias metálicas corresponderam cerca de 80% do valor total da produção mineral brasileira, enfatizado pelo minério de ferro que obteve 72,8% de participação das principais substâncias no valor de produção mineral comercializada, com produção concentrada nos estados de Minas Gerais e Pará (ANM, 2020)



3.2 O Empreendimento

Trata-se de um projeto de operações de lavra de minério de ferro com tratamento a úmido e pilhas de rejeito/estéril.

Conhecido pela excelência nos processos e com alta qualidade no produto final, o empreendimento utiliza filtragem de rejeitos e empilhamento a seco com reutilização de 100% da água recuperada da filtragem. O empreendimento possui uma capacidade Produtiva de Dois Milhões de toneladas por ano em método de lavra a céu aberto.

3.3 Operação de Lavra

Segundo o Código de Mineração, a definição de Lavra se dá pelo conjunto de operações organizadas e predefinidas que tem como propósito a exploração industrial de uma jazida, tendo como ponto de partida a extração até os processos de beneficiamento mineral. Já de acordo com Ferreira (2017) a lavra se trata do ato, processo ou trabalho de extração de minério e estéril, seguido do seu transporte para o tratamento ou disposição de Pilhas.

Para a realização eficaz de uma análise econômica de mina, o método de lavra é um dos principais itens a serem avaliados, pois se trata de elemento que influencia diretamente no desenvolvimento da operação. (CURI, 2017).

Ainda de acordo com Curi (2017) a mineração possui cinco etapas em termos de execução. Sendo elas: Prospeção, exploração, desenvolvimento, lavra, fechamento de Mina.

Segundo Borges (2013) *apud* Ferreira (2021) Um dos principais elementos a serem avaliados na análise de empreendimento minerário é a Seleção do método de lavra, que exige um maior nível de detalhamento já que se trata de um fator que pode impactar diretamente no desenvolvimento da operação, sendo ele, positivo ou negativo. Basicamente, a escolha do método, subterrânea ou a céu aberto, está sujeita a aspectos



geológicos, econômicos, socioambientais, bem como as condições de segurança devem ser mantidas/garantidas durante toda a vida útil da mina. O ideal é o que apresente menor custo e maior aproveitamento da jazida estando de acordo com parâmetros ambientais e de segurança, sendo o mais otimizado possível através de suas operações unitárias.

De acordo com Lages (2018) as operações de lavra têm como objetivo principal o desmonte e transporte de material lavrado, através de atividades divididas em ciclos que contemplam **perfuração, desmonte, carregamento e transporte**. O sequenciamento dessas atividades é chamado de ciclo produtivo, podendo este sofrer alterações de acordo com a tecnologia empregada. Por se tratar de métodos de características diferentes, vão existir casos em que atividades usadas em minas subterrâneas não serão usadas em minas a céu aberto, como por exemplo operações de ventilação, instalações de tirantes após avanços, dentre outros. Em minas a céu aberto, onde os minérios são mais friáveis, as operações de perfuração e fragmentação por explosivos em algumas ocasiões podem ser dispensadas.

A abordagem do trabalho terá como referência o método de lavra a céu aberto.

3.4 Lavra a Céu aberto

A lavra a céu aberto têm sido método mais comum entre as mineradoras, ela ocorre quando são identificados minerais economicamente viáveis na superfície, onde são feitas todas as operações. Geralmente sua exploração vai até o esgotamento da jazida ou até se tornar inviável em razão de volume (CURI 2017).

De acordo com Coutinho (2017) o planejamento de mina busca a redução dos custos associados as operações. A produção ela pode ser influenciada diretamente por fatores operacionais como utilização e disponibilidade física dos equipamentos, tempo de ciclo, Payload entre outros.

A etapas de operação de uma lavra a céu aberto segundo Silva (2019) *apud* Ferreira (2021), são sequencialmente: Supressão vegetal; Decapeamento; Drenagem de mina; Desmonte; Carregamento; Transporte; Disposição de estéril.



Os principais métodos de lavra a céu aberto de acordo com Borges (2013) são realizados a seco, dentre eles se destacam:

- **Open Pit Mining ou lavra por bancadas** (Figura 1) é o método mais usado em depósitos metálicos, possuindo elementos determinísticos na geometria da Cava final e porte de equipamentos. De acordo com a Norma Regulamentadora 22, os acessos que possuem tráfegos de equipamentos devem ser bem sinalizados, deverão possuir leiras de segurança com altura de um raio do pneu do maior veículo assim como largura das vias duas vezes maior que o equipamento de maior porte.

Como demonstrado na Figura 1, as bancadas são feitas na superfície em camadas horizontais e o estéril é depositado em pilhas. As bancadas são formadas por taludes, e para manter a estabilidade quanto maiores, mais suaves devem ser seus ângulos (MESSIAS 2022).



Figura 1 Lavra Por Bancadas



Fonte: Acervo do próprio autor

- Lavra em tiras aplicado em depósitos tabulares, onde o estéril é depositado em cortes que foram feitos anteriormente, ou seja, ele não é transportado e sim depositado diretamente nas áreas adjacentes como mostra na Figura 2. É adotada para produção em grande escala proporcionando maior produtividade e menor custo. Geralmente é usada para jazidas específicas como fosfato, carvão e xisto betuminoso (FERREIRA, 2013).



Figura 2 Lavra em tiras localizada em Casper, Estados Unidos.



Fonte: Citizens Coal Council (2013) *apud* Ferreira (2013)

- Pedreiras é o termo utilizado para denominar as minas que lavram rochas e minerais que serão utilizados em construção civil. São pouco profundas e os produtos extraídos são: rachão, brita 0, 1, 2, 3, 4, 5, pó de brita e areia de brita.



3.5 Perfuração e desmonte

De acordo com Romie (2018) antes de iniciar a lavra, deve-se determinar o método de desmonte que proporcione o melhor resultado, seja ele de menor dano ou maior fragmentação, de acordo com o estabelecido pelo planejamento. O objetivo é fazer a liberação da rocha seja para a escavação ou já o transporte dela.

Existem quatro formas que são mais comuns para esse tipo de atividade:

- Desmonte com explosivos onde é necessário um plano de fogo efetivo, é necessária a perfuração para a inserção dos explosivos, nessa etapa usa-se máquinas de perfuração (perfuratrizes).
- Desmonte mecânico: É feito em rochas que possuem baixa resistência, nele são usados tratores, perfuratrizes e as vezes o próprio equipamento de carga.
- Desmonte hidráulico: É feito por meio de jatos de água com alta pressão.
- Desmonte manual: Geralmente é encontrado no Garimpo onde faz-se o uso de ferramentas manuais.

3.6 Carregamento e Transporte

Dando andamento nas operações de lavra as últimas etapas são o carregamento e transporte, tais, podem afetar diretamente os índices de produtividade de uma frente de lavra, pois são fundamentais para o processo de produção na mineração (COUTINHO, 2017).

De acordo com Hartman e Mutmanský (2002) *apud* Messias (2022) a escavação que antecede o carregamento se trata da atividade de extrair material *in situ*, enquanto o carregamento tem a finalidade de retirar o material desmontado da frente de lavra fazendo sua elevação e carregamento em um equipamento de transporte. Para o uso dessas operações (escavação e carregamento), os equipamentos usados podem ser os mesmos ou não, os mais comuns são as escavadeiras, pás carregadeiras de pneus,



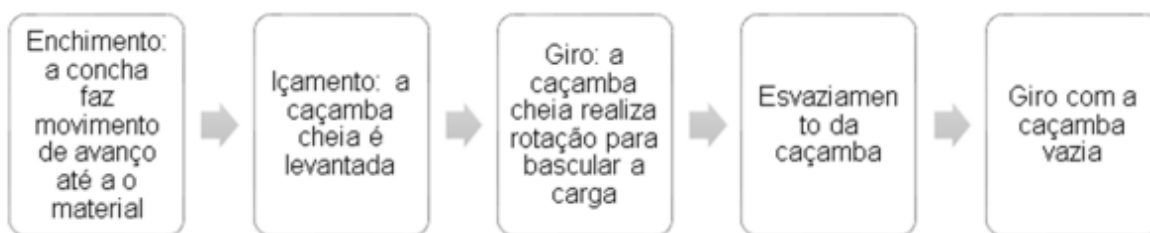
retroescavadeiras, escavadeiras front shovel, etc. De acordo com Coutinho (2017), os modelos desses equipamentos possuem padrões distintos, o que faz com que se tenham uma avaliação antecipada dos fatores que são compatíveis com a necessidade de cada mina para a adesão desses. Os fatores englobam: Valor de aquisição, mobilidade de deslocamento, altura das bancadas, capacidade de produção, força de fragmentação, entre outros.

De acordo com Messias (2022), o carregamento é uma operação unitária, feita em circuito fechado com a operação de transporte realizada por caminhões e possui um tempo de ciclo, demonstrado na Figura 3, que envolve respectivamente:

- Enchimento da concha da unidade de carregamento;
- Giro cheio até o local de descarregamento;
- Descarregamento do material sobre a unidade transportadora;
- Giro vazio até o local do carregamento.

Algumas práticas são de suma importância para o alcance de uma boa produtividade. Estima-se que o tempo de ciclo de carregamento ideal para cada carregamento está entre 28 a 42 segundos. (COUTINHO,2022)

Figura 3 Etapas do ciclo de Carregamento



Fonte: Ferreira (2021)

A operação de transporte segundo Ferreira (2021) é comumente feita por caminhões, mas pode ser feita também através de transportador de correia. Seu propósito, é de

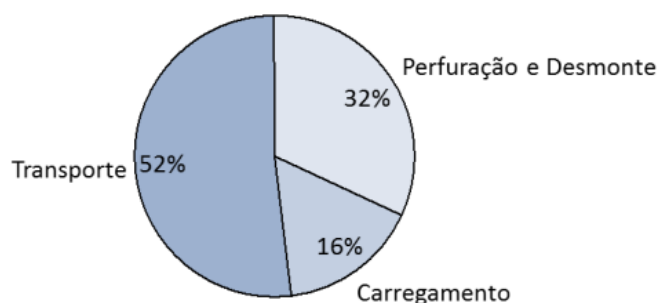


maneira cíclica e repetitiva, que de forma simplificada se baseia em carregar o material lavrado da frente até o seu destino final, podendo ser ele até o britador, pilha de estéril ou depósito, até atingir os volumes planejados de minério e estéril. Cada método de transporte de acordo com Coutinho (2017) possui características diferentes para um ciclo produtivo, as correias têm que ser projetadas com capacidade adequada e operadas com condições de alinhamento, limpeza e proteções evitando paradas não programadas. Já os caminhões, independente do porte, precisam de bermas com alguns requisitos citados pela Norma Regulamentadora 22, como largura, inclinação, leiras, qualidade de piso, etc., condições mínimas para que se tenha um tráfego seguro com baixo custo de produção e manutenção.

Ballou (2006) relata que o transporte representa, normalmente, entre um e dois terços dos custos logísticos totais das empresas. Sendo assim, o ideal é fazer um bom planejamento para aumentar a eficiência com a máxima utilização dos equipamentos.

Nas operações de lavra de acordo com Messias (2022) o transporte por caminhões é a operação unitária de maior custo representando por volta de 50 a 60 % do total, conforme a Figura abaixo:

Figura 4 Distribuição de custos de lavra por caminhão



Fonte: adaptado de TRUEMAN (2001); LOPES (2010).

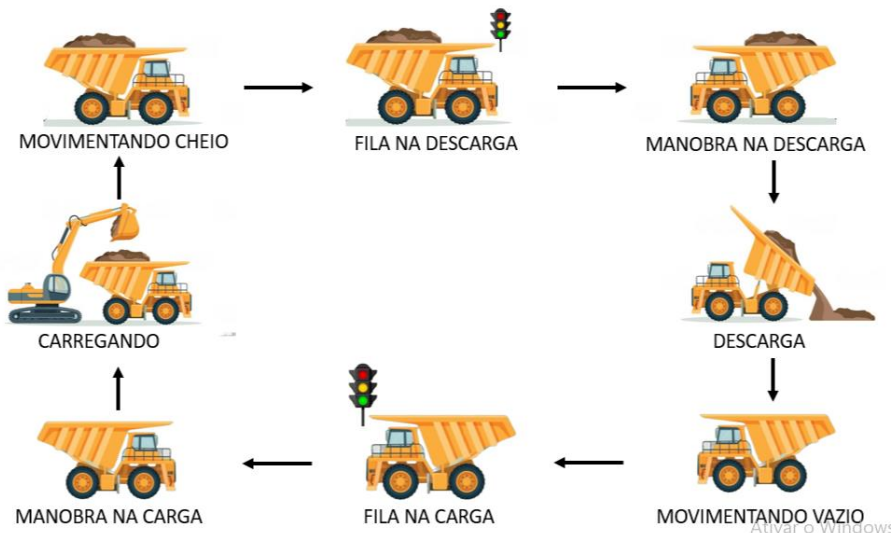


Para os equipamentos de transporte, Messias (2022) diz que no tempo de ciclo pode haver uma variação de acordo com a DMT (Distância média de Transporte) na mina, essa que inclui as etapas a seguir.

- Tempo de carga
- Movimentação Cheio
- Manobra na descarga
- Descarga
- Retorno Vazio
- Manobra na Carga.

No ciclo de Transporte pode haver atrasos e impedimentos operacionais que ainda afetarão o ciclo perfeito do equipamento, como demonstrado na Figura 5.

Figura 5 Ciclo de Transporte



Fonte: Acervo do próprio autor



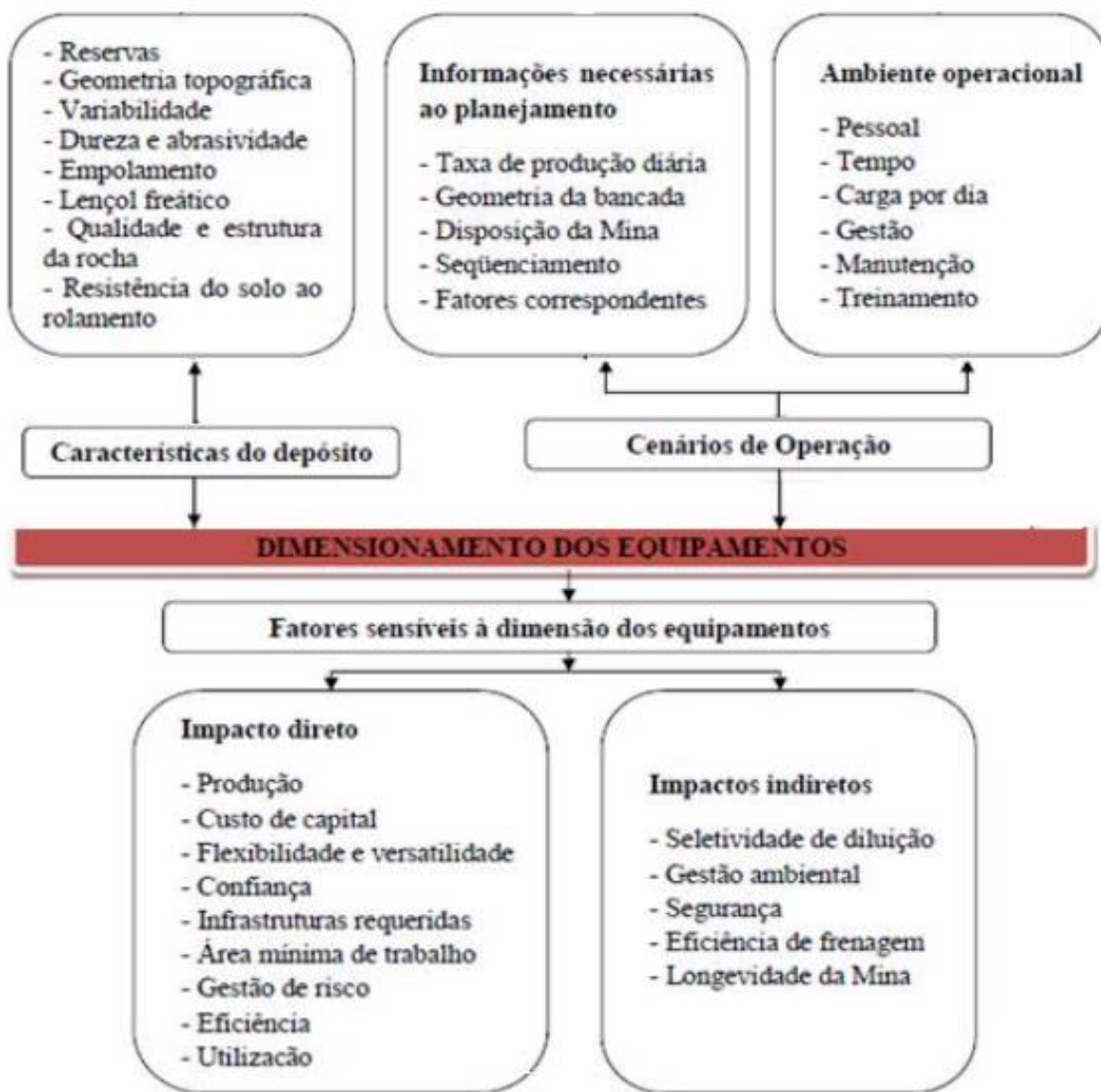
3.7 Seleção dos equipamentos

A seleção de equipamentos não é um processo definido, de acordo com Silva (2016), ela envolve diversos fatores, na fase de projeto de instalação da mina e de produção se tornando uma decisão mais complexa de alto risco. Cada mina possui uma especificação diferente, algumas variáveis podem ser por exemplo, sobre a disposição dos depósitos, condições climáticas da região e características do minério, essas mesmo sendo minas que contém o mesmo minério. Consequentemente as frotas de carregamento e transporte serão diferentes elevando a dificuldade de escolha.

A Figura 06 representa um diagrama para a seleção de equipamentos e fatores sensíveis ao dimensionamento dos equipamentos segundo Racia (2016).



Figura 6 Seleção de equipamentos e fatores sensíveis ao dimensionamento.



Fonte: Racia(2016)

Esses equipamentos (transporte e carregamento) devem ser selecionados em conjunto para obter um melhor resultado.

De acordo com Lages (2018) *apud Ferreira* (2021) existe uma grande variedade de caminhões no mercado podendo estar intercalas as suas capacidades de 10 a 500



toneladas. Para que ocorra frentes de lavra eficientes, deve-se ter uma frota com um bom dimensionamento. Uma das diferenças das escavadeiras e carregadeiras, segundo Coutinho (2017) além da sua capacidade, que envolve também número de passes, é a facilidade de mobilização que uma tem sobre a outra, que enquanto uma carregadeira consegue chegar sua velocidade até 45 km/h a escavadeira tem deslocamento aproximado de 1,5km/h, sendo assim a carregadeira possui maior mobilidade entre as frentes sendo um fator a ser avaliado no dimensionamento.

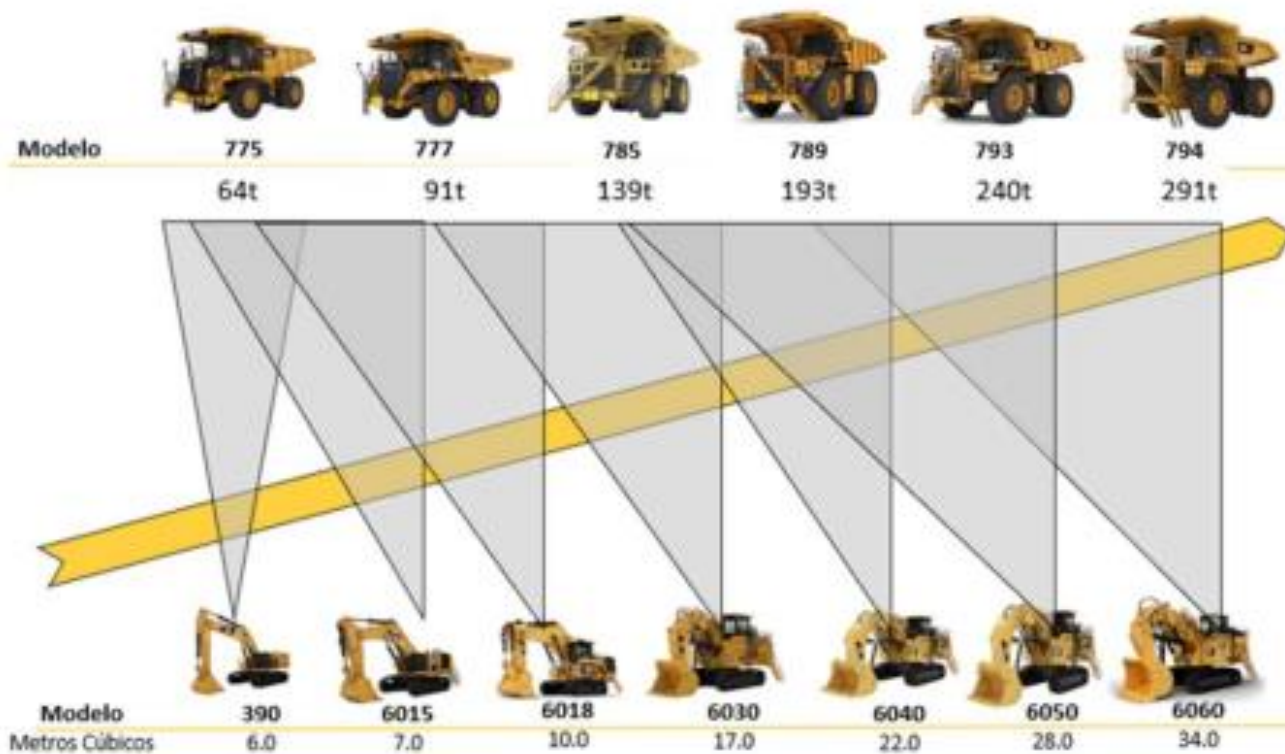
Segundo Messias (2022), o passe é representado pelo número de caçambadas que o equipamento de carga descarrega material na báscula de um equipamento de transporte. Para obter um número mais representativo podemos dividir a capacidade volumétrica rasa do caminhão pela capacidade volumétrica rasa do equipamento de carga.

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 (COUTINHO,2017)

As escavadeiras e carregadeiras mais utilizadas possuem vários portes e configurações diferentes, a seguir nas figuras 7, 8 e 9 que são disponibilizadas no material elaborado pela Caterpillar 2020, mostram a correspondência de cada equipamento de carga ao porte ideal de caminhão.



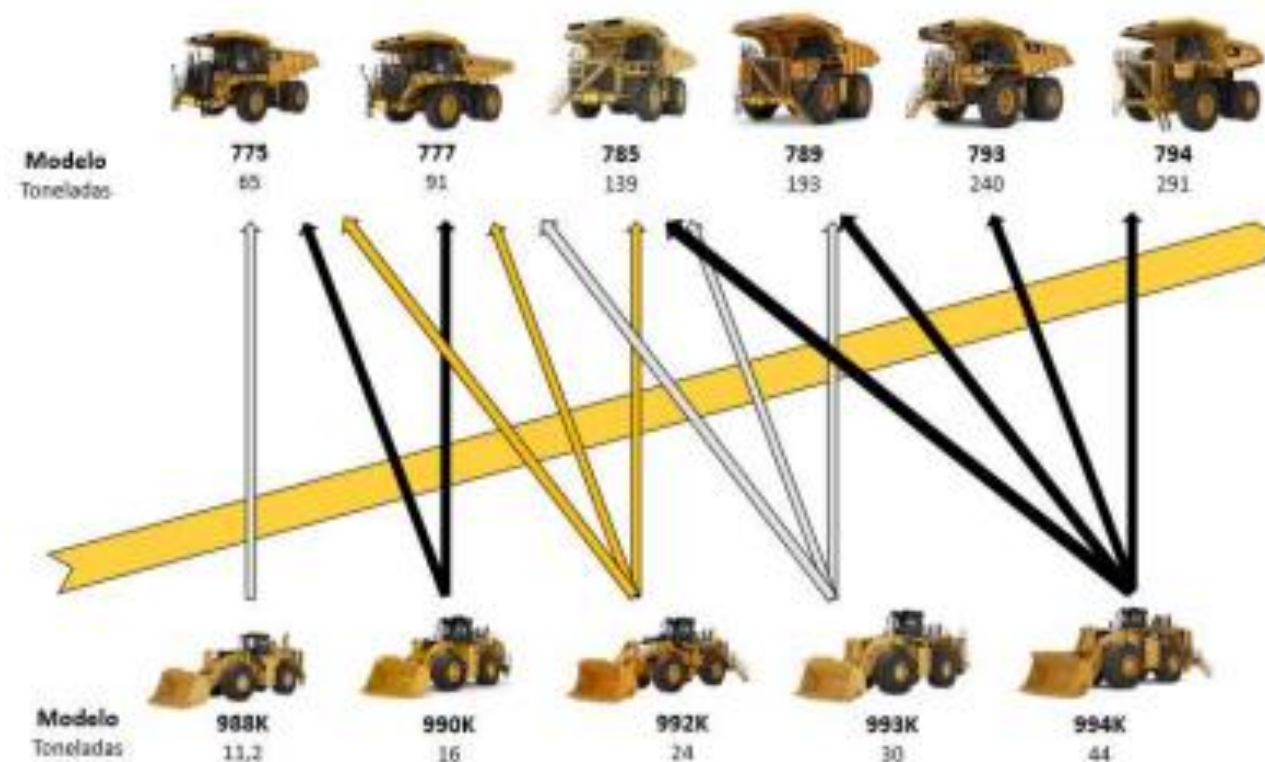
Figura 7 Match de Escavadeira e Caminhões fora de estrada



Fonte: Caterpillar (2020)



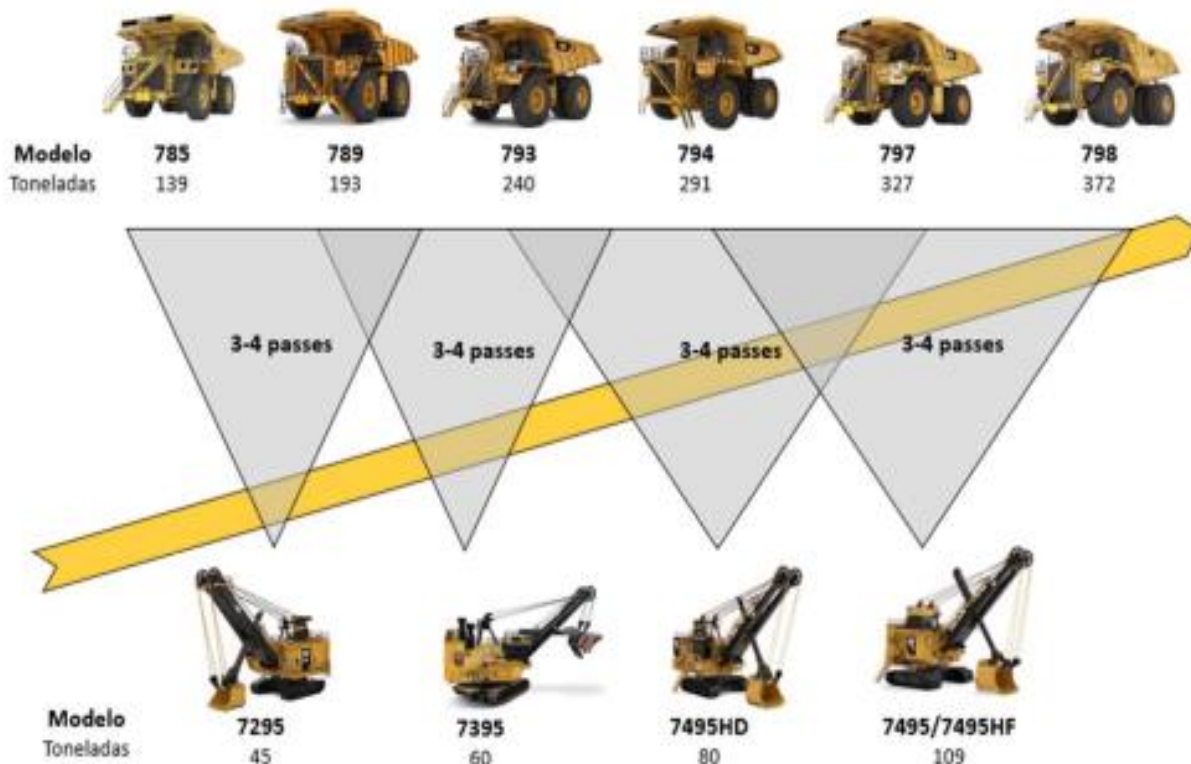
Figura 8 Match de pás carregadeiras e Caminhões fora de estrada



Fonte: Caterpillar (2020)



Figura 9 Match de Escavadeiras a cabo e Caminhões fora de estrada

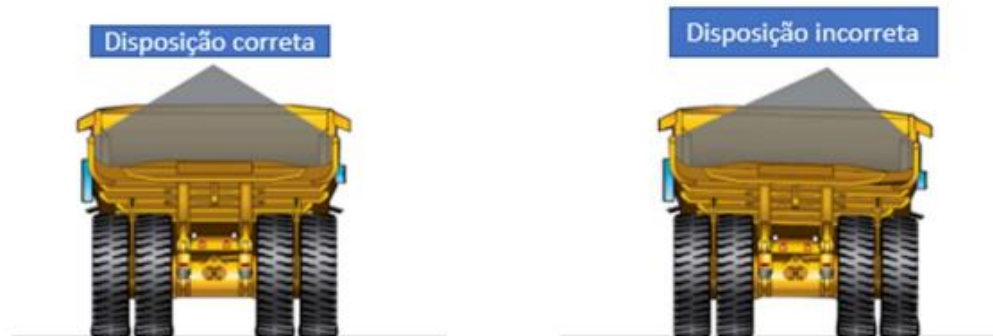


Fonte: Caterpillar (2020)

Segundo Messias (2022) a distribuição centralizada da carga no caminhão é essencial para uma operação segura, uma vez que a carga descentralizada pode provocar desgastes distintos nas suspensões e aumentar os esforços sendo capaz de torcer o chassi do equipamento como exemplificado na Figura 10. Para equilibrar essa carga, o comprimento do braço da máquina de carga deve ser suficiente para chegar ao centro da caçamba. A junção da escolha correta entre os equipamentos de transporte e carga e boas práticas pode estender a vida útil dos componentes, aumentando a sua Disponibilidade Física.



Figura 10 Forma correta do posicionamento da carga na balsa do caminhão.



Fonte: Caterpillar (2020)

3.8 Sistema de despacho

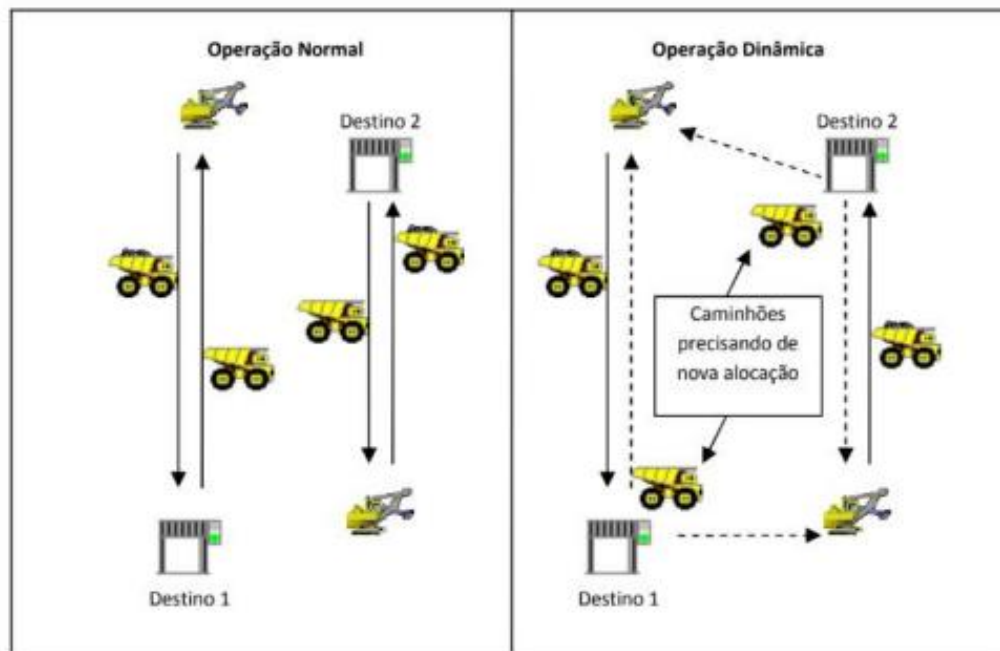
O Sistema de despacho é utilizado na gestão de frotas e possibilita potencializar o processo produtivo da mina, otimizando a frota através da redução de ociosidade de equipamento de carga e diminuição de números de equipamentos de transporte, atendendo os padrões de qualidade na usina de beneficiamento. (FREIRE, 2020)

O Sistema de Despacho Eletrônico é uma ferramenta de monitoramento das atividades de manutenção e operação da Mina, pois o seu perfeito funcionamento garante informações confiáveis e seguras ao processo. (PEREIRA et al., 2016)

Tu e Huka (1985) *apud* por Ferreira (2021), afirmam que os sistemas de despacho mais modernos, são capazes de alocar equipamentos em tempo real, podendo gerar um aumento de 3 a 15% de produtividade.

Existem duas formas de alocação de equipamentos, Dinâmica e Normal, como exemplificado na Figura 11. Segundo Pereira (2019) a locação dinâmica tende a utilizar o ciclo fechado para redução de tempo de ciclo, diminuindo o tempo de deslocamento vazio. (PEREIRA,2019)

Figura 11 Operação normal X Operação com despachos dinâmicos



Fonte: Pereira (2019)

A alocação dos equipamentos se trata de um processo de destaque e alta complexidade, que quando feita com maior precisão, o resultado gerado pode ser positivo e significativo, economicamente, para a organização.

Todas as alocações, independente se é dinâmica ou Normal (que envolve fator humano para tomada de decisões) deve utilizar critérios como Ritmo de produção, tempos de ciclos, atrasos operacionais como filas, qualidade, etc. Levando em consideração esses critérios no caso da alocação dinâmica o algoritmo do despacho trabalha analisando todas as possibilidades de alocações possíveis dos equipamentos, sendo que a decisão ótima se aplica naquela em que aumente a utilização física e minimize os atrasos operacionais consequentemente os tempos de ciclo (FERREIRA, 2021)

O Despacho eletrônico manual possibilita que o controlador tenha uma visão ampla da operação através da sala de controle monitorando os parâmetros mais significativos,

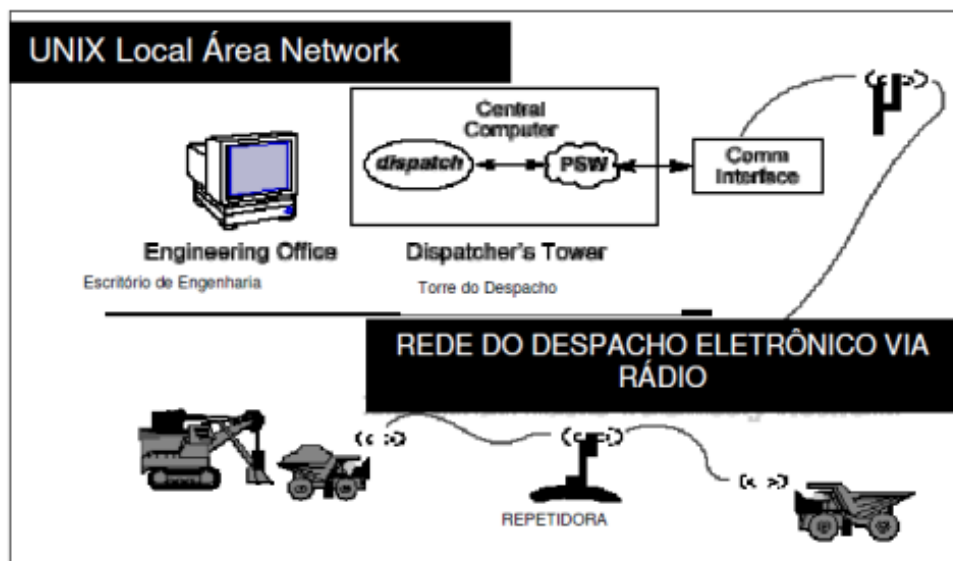


como material transportado, velocidades, localização, DMT, produtividade, tempos de ciclo. Para que apresente um bom desempenho o controlador deve criar fluxos e alocações de forma assertiva. (PEREIRA, 2019)

O Sistema de Despacho Eletrônico como um sistema de comunicação via rádio duplex (recebe e envia dados), tendo como função principal o controle da operação, manutenção e produção, onde todos os equipamentos disponibilizados na unidade (caminhões, carregadeiras, tratores, equipamentos de apoio, etc) possuem um sistema de comunicação de dados dentro de uma plataforma de comunicação via Global Positioning System (GPS), onde através de uma Interface Homem Máquina é possível controlar seu fluxo e enviar informações a uma central de controle. (LANA, 2006 *apud* PEREIRA et al., 2016)

O Sistema tem capacidade de realizar comunicação com sala de controle e equipamentos de mina, através do recebimento de dados. Segue como na Figura 12.

Figura 12 Esquema Simplificado de Despacho Eletrônico



Fonte: Pereira (2016)



As metas e objetivos operacionais devem estar equilibrados para utilizar com maior aproveitamento os ativos da mina (escavadeiras, caminhões, etc.). Para que hajam intervenções que resultem bons resultados, os usuários devem entender o funcionamento do sistema e as informações devem ser fundamentadas em dados para que se possa extrair um grande valor dessa tecnologia (FREIRE, 2020).

Ainda de acordo com Freire (2020) para manter a integridade dos dados é necessário elaborar controles do processo, os Indicadores de performance podem auxiliar na verificação da eficácia da operação, através deles podemos monitorar todas as ações vindas do campo. Garantir um bom funcionamento, pode otimizar a cadeia produtiva e eliminar desperdícios.

“Possuir uma equipe técnica-operacional treinada e capacitada a um bom controle de banco de dados ajudam a sustentar as melhorias, otimizar recursos, reduzir erros de produção e melhorar a qualidade do produto final” (FREIRE, 2020).

3.8.1 Smartmine

O SmartMine foi desenvolvido pela DEVEX, empresa nacional fundada em 1997, em 2016 se tornou internacional e em 2014 foi adquirido pelo grupo Hexagon.

É um sistema de gerenciamento de controle de tráfego de operações de mina, que usa técnicas de solução integrada em software e Hardware com simulação orientada a eventos e métodos estocásticos¹ de otimização (SILVA, 2015).

Esse sistema possui um suíte composto por um núcleo de funcionalidades padrões e uma série de funcionalidades extras, que apresenta como diferencial diversos controles podendo auxiliar no processo de tomada de decisões, controle e otimização da operação, redução de custo e aumento da eficiência operacional da mina (DEVEX, 2013).

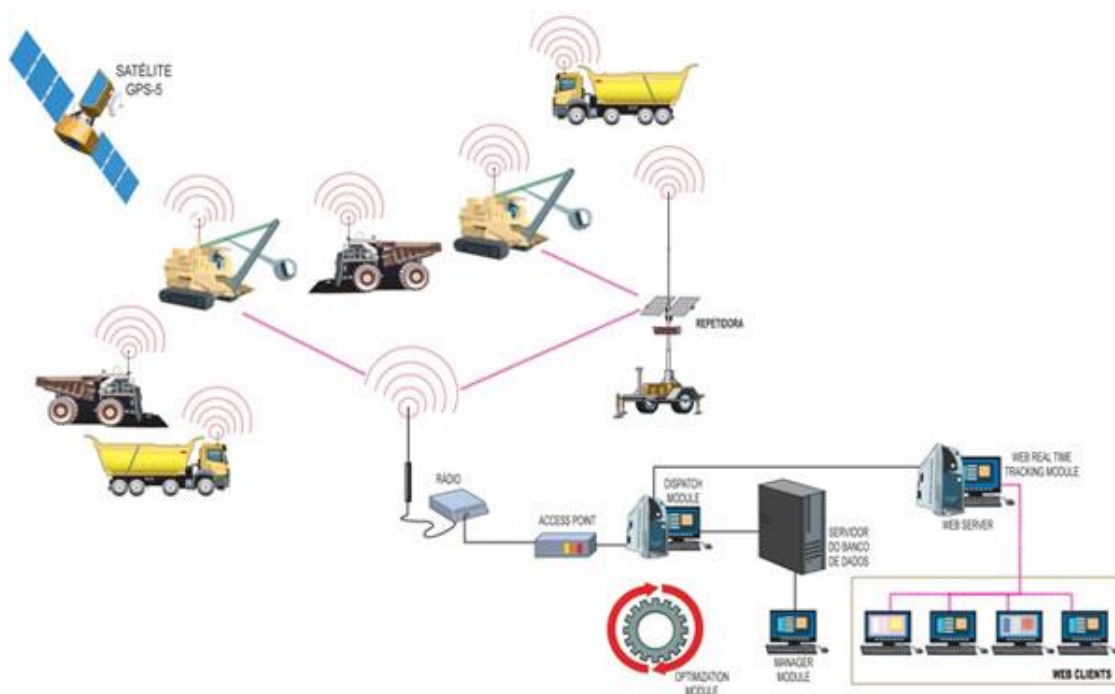
¹ Estocásticos, em teoria probabilística, o padrão estocástico é aquele cujo estado é indeterminado, com origem em eventos aleatórios.



O SmartMine possui uma tecnologia que garante que todos os eventos na mina, como troca de estados operacionais, carregamentos, alarmes, distâncias, tempos de ciclos, entre outros, sejam entregues e armazenados em um banco de dados com o registro de tempo preciso, indicando quando realmente ocorreu o evento, não correndo risco de perda de informações, mesmo que a rede corporativa ou servidor não estejam disponíveis (DEVEX, 2013).

De acordo com Pereira (2022) a comunicação para mudanças de planejamento de frente de lavra é feita via rádio pela sala de controle juntamente com o monitoramento de registros do Smartmine. O sistema, faz o gerenciamento de viagens mantendo registros de massa, origem, destino, dentre outros. A coleta dos dados é feita através do sinal de rádio e GPS, as informações em tempo real são coletadas por um ponto de acesso e registrados em um servidor do banco de dados, onde são feitas as consultas das informações sobre as movimentações da mina. A coleta e armazenamento de dados é representado pela Figura 13.

Figura 13 Funcionamento do sistema de gerenciamento de mina



Fonte: DEVEX, 2013.



O Smartmine possui diversos processos de otimização e simulação que cumpre os objetivos das indústrias minerárias, que é a maximização de lucros e minimização de custos. Os softwares ainda têm um grande diferencial que está ligado à sua capacidade de se adequar a necessidade de seus clientes, focando na melhoria do resultado global das operações de mina (PEREIRA, 2022)

É importante ainda ressaltar que em todo e qualquer sistema, os processos precisam ser otimizados e monitorados. Para isso deve-se ter meios de levantamento e controle de dados permitindo, através de análises, verificar desvios. Uma das formas são os indicadores de performance.

3.9 Indicadores e KPI's de operação

De acordo com Ferreira (2021), os indicadores são parâmetros bem definidos que auxiliam no processo de tomada de decisão, eles servem para o acompanhamento o desempenho de um processo e verificação da viabilidade operacional com a tomada de medidas adequadas a realidade do empreendimento.

Já os KPI's (Indicadores chave de desempenho), são os indicadores considerados críticos, que medem os principais processos da empresa, são eles que possibilitam um melhor acompanhamento e gerenciamento do desempenho e também responsáveis pelo sucesso das estratégias (SOUZA, 2022).

Para abordagem no presente trabalho, identificamos os KPI's considerados de maior relevância para a mineração.



3.9.1 Produtividade

A produtividade é um dos KPI's essenciais se tratando de operação de lavra, é usada desde o início das operações na seleção dos equipamentos no dimensionamento de frota. Trata-se da relação da produtividade com o tempo, ou seja, qual a produção que o equipamento pode fazer durante um intervalo de tempo, geralmente medido dentro de uma hora efetiva. (PEREIRA 2019).

Para Ferreira (2021), a produtividade pode ser expressa em percentual ou em toneladas por hora (t/h).

“Quando expressa em percentual é determinada a partir da relação entre a capacidade real e a capacidade nominal dos equipamentos. Muitos equipamentos, como caminhões por exemplo, não conseguem transportar a massa correspondente à capacidade nominal devido às restrições mecânicas, em função do tempo de vida deles” (FERREIRA,2021).

Quando expressa em t/h a produtividade pode ser mostrada através da equação:

$$P = \frac{M}{HT}$$

Onde:

P= Produtividade

M= Massa

HT= Horas Trabalhadas

3.9.2 Disponibilidade Física (DF)

A disponibilidade física é o tempo em que o equipamento não está em manutenção, ou seja, encontra-se está disponível para a operação. Esse indicador é medido em porcentagem e leva em consideração as horas calendário e suas horas em manutenção



de um determinado período, em outros termos, tem sua relação entre tempo de hora ativo disponível e tempo de hora calendário (Ferreira 2021).

De acordo com Messias (2022), os fatores que podem reduzir a disponibilidade de um equipamento são:

- **Manutenções Preventivas:** que são as manutenções realizadas para reduzir falhas e quebras. Com isso, sabemos que esse indicador nunca chegará a 100% de efetividade.
- **Manutenções corretivas:** que se tratam de manutenções não programadas causadas por quebras ou falhas de equipamentos. Essas quebras podem ser provenientes de má organização de mina, falta de manutenções preventivas ou manutenções que não são feitas de maneira adequada, erros operacionais, dentre outros fatores.

O cálculo de disponibilidade física de equipamentos pode se dar através da equação:

$$DF = \frac{HD}{HH}$$

Onde:

DF: Disponibilidade Física

HD: Horas disponíveis para operação

HH: Horas horizonte ou horas calendário

3.9.3 Utilização Física (UF)

Sodre (2019) expõe que esse indicador corresponde a parcela de tempo em que o equipamento está disponível e está sendo utilizado. Ou seja, é representado pela porcentagem da relação entre as horas efetivamente operando e as horas disponíveis do equipamento.

Os Fatores que podem implicar nesse indicador são:



- Impedimentos operacionais: Que são problemas relacionados a motivos operacionais da gestão da área como preparação de frentes de lavra, condições climáticas que impeçam operações, paralisação de equipamentos por qualquer motivo, seja problema de área ou número de unidades, etc.
- Horas ociosas: Que são problemas relacionados a recursos humanos, como a falta ou deficiência de algum operador, como refeição, trocas de turno, absenteísmos, etc.

Abaixo a equação elucida o cálculo de utilização:

$$UF = \frac{HT}{HD}$$

Onde:

UF: Utilização Física

HT: Horas Trabalhadas

HD: Horas Disponíveis

3.9.4 Rendimento Operacional

O rendimento operacional segundo Racia (2016) é a relação entre as horas efetivamente trabalhadas e as horas programadas, ou seja, o produto da disponibilidade física pela utilização Física.

$$RO = DF * UF$$

Onde:

RO: Rendimento Operacional

DF: Disponibilidade física

UF: Utilização Física



3.9.5 Relação Estéril/Minério (REM)

A relação Estéril/Minério tem uma grande importância para o controle de qualidade, sua função consiste no monitoramento das atividades de lavra realizadas, já que têm uma relação próxima com o custo e a viabilidade. Esse KPI deve se manter próximo da meta estabelecida, pois há risco de, quando muito abaixo, pode haver estrangulamento da mina, colocando em risco a vida útil e muito acima pode ser que inviabilize economicamente o empreendimento (SOUZA, 2022).

A REM, pode ser demonstrada através da equação dada pela razão entre o volume de estéril que deve ser removido para cada volume de minério lavrado.

$$REM = \frac{\text{Volume de estéril removido}}{\text{Volume de minério lavrado}}$$

Esse KPI é de suma importância, pois, por mais que o estéril não possua valor econômico, o custo que ele tem na operação deve ser levado em consideração.

Ainda de acordo com Souza (2022), existem 3 espécies de Relação estéril/minério:

- REM econômica – Avalia o ponto de vista econômico dos custos operacionais face ao estéril extraído, sendo uma variável dinâmica. Seu cálculo é feito a partir da razão da tonelada de estéril pela tonelada de minério onde o custo de remoção de estéril é igual ao custo para lavra do minério.
- REM global – Limitada a quantidade de minério lavrado levando em consideração a economicidade do empreendimento, é estipulada a planejamento a longo prazo, tendo uma visão global da operação. Seu cálculo se dá através da razão do total de tonelada de estéril pelo total de tonelada de minério contido em uma cava;
- REM operacional – Deve ser monitorada no decorrer do sequenciamento de lavra, ou seja, a curto prazo, essa razão deve manter-se aderente a REM global. Seu



cálculo deve ser feito a partir da razão da tonelada de estéril pela tonelada de minério como resultado de uma expansão da cava;

3.9.6 Distância Média de Transporte (DMT)

O indicador, mede a aderência entre a distância média de transporte executada, disponibilizada pelo sistema de despacho, e a distância média de transporte planejada para a movimentação de estéril e minério.

De acordo com Melo (2020), a DMT muito grande entre pilhas de estéril, frentes de lavra e britador, implica em um maior tempo de ciclo que por sua vez aumenta o custo operacional.

O aumento da DMT, pode acarretar vários pontos críticos a serem observados como:

- Baixa produtividade dos caminhões
- Ociosidade de equipamentos de carga, impactando na produtividade e eficiência da operação
- Sobrecarga de caminhões fazendo com que trabalhem sempre no limite de sua produtividade máxima atual
- Maior desgaste e uma redução prematura da vida útil dos equipamentos de transporte, reduzindo também a disponibilidade mecânica e eventualmente impacto na produtividade global

Quanto menor a distância de transporte, maior é sua produtividade e menor o seu custo.

Para medir a DMT usada, pode-se usar a fórmula:

$$DMT = \frac{Massa * distância}{Massa}$$

E também podemos obter o custo de transporte em função da distância e massa através

da expressão de relação $\frac{R\$}{t*km}$



3.9.7 Carga Média

Silva (2016) diz que a carga média, tem finalidade de assegurar um bom índice de produtividade sem comprometer a mecânica do caminhão, os equipamentos de carga buscam distribuir a carga na báscula, deixando mais homogênea diminuindo também o desgaste unilateral dos componentes do caminhão (pneus).

Ainda de acordo com o autor, diante do aumento da produtividade (t/h), há uma redução no consumo específico de diesel, já que se transporta mais minério em uma viagem.

A sobrecarga de caminhões pode acarretar vários problemas na operação, ela pode influenciar diretamente no custo de manutenção, redução de disponibilidade física e redução de taxa de produção na mina, além de aumentar os tempos de ciclos e aumento de consumo de combustível.

$$CM = \frac{\sum massa (t)}{N^{\circ} \text{ de amostras}}$$

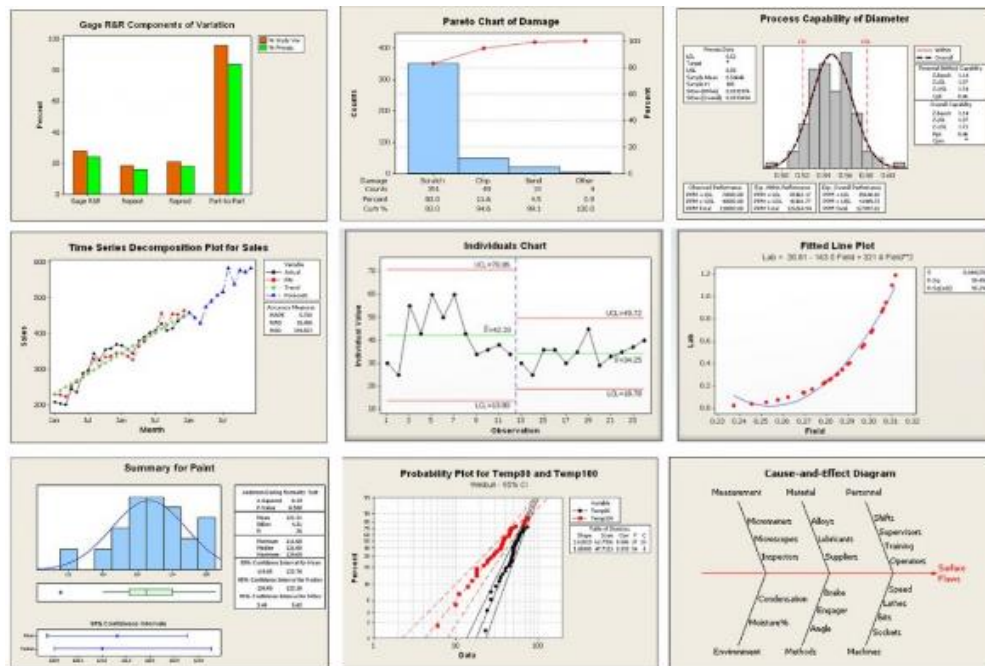
3.10 Análise Estatística Populacional

O Minitab é um software usado para análise estatística em grandes ambientes corporativos. Com ele, através de suas representações gráficas, representado pela Figura 14, é possível realizar análises amplas e planejamentos de melhorias contínuas. Com inúmeras ferramentas importantes, as medidas de dispersão, é um exemplo que pode auxiliar no entendimento da variabilidade dos dados. A variância e o Desvio padrão ajudam a entender como os valores em um conjunto de dados estão espalhados.

O Software permite que os usuários calculem facilmente essas medidas inserindo os dados no programa e selecionando a medida de dispersão desejada. Essas medidas fornecem informações valiosas sobre a variabilidade dentro de um conjunto de dados, permitindo que pesquisadores e analistas identifiquem padrões, tendências ou valores discrepantes. (Minitab,2023).



Figura 14 Representações Gráficas do Minitab



Fonte: MINITAB (2023)

3.10.1 Teste de Normalidade e Graphical Summary.

O resultado do teste de normalidade indica se podemos ou não, rejeitar uma hipótese nula de que os dados vêm de uma população com distribuição Normal. Ou seja, se tem ou não pontos fora da curva. Casos específicos fora da curva, devem ser analisados e estudados. (Minitab,2023). Considerando-se que:

P-Valor $> 0,05$ distribuição Normal

P-Valor $< 0,05$ distribuição não Normal

P-Valor $< 0,05$ Porém A-Square < 30 então a distribuição é Normal

O Graphical Summary é o gráfico mais completo do Minitab, pois possui uma grande variedade estatística na mesma representação, como desvio padrão, média, mediana,

tamanho amostral. Esse gráfico pode apresentar mais eficiência nas informações complexas de maneira concisa (MINITAB,2023).

Ao finalizar a plotagem dos gráficos, pode-se observar o que segue:

O **desvio padrão** é a medida mais comum de dispersão, com ele identificamos o quão dispersos os dados estão da média. Como exemplo da Figura 15, a imagem da esquerda mostra que os dados estão com um baixo desvio padrão, já que os dados não estão dispersos, demonstrando estar próximos da média. Já a imagem da direita mostra que os dados estão com um alto desvio padrão, já que os pontos estão espalhados por uma gama de valores.

Figura 15 Representação de Desvio Padrão



Fonte: Adaptada pelo Acervo do Autor (2023)

O **coeficiente de variação** é uma medida da dispersão que descreve a variação nos dados em relação à média. Consideramos que:

Coeficiente de variação referência $\leq 15\%$

Coeficiente de variação ideal $\leq 9\%$

Esse valor pode ser obtido pela razão do desvio padrão pela média dos dados. A média é determinada como a concentração de dados de uma distribuição em apenas um valor, que é definido pela soma das amostras, dividido pela quantidade de amostras.



“A mediana e a média medem a tendência central. Mas os valores atípicos, chamados de outliers, podem afetar a mediana menos do que afetam a média. Se seus dados forem simétricos, a média e a mediana são semelhantes” (MINITAB,2023).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

No estudo em questão, a rotina de extração de minério e remoção de estéril, em sua parte operacional se inicia, com a preparação da área para que ela possa ser desmontada mecanicamente por escavadeiras ou rompedores caso o minério seja friável, após é realizado o carregamento com a utilização de escavadeiras hidráulicas e carregadeiras. O transporte é feito com caminhões Fora de estrada com capacidade de 60t no qual são direcionados pelo controlador de tráfego para o local de carregamento e basculamento do material.

O Sistema de despacho utilizado na mina é o Smartmine com alocação Normal que atende as premissas oferecidas, diante da quantidade de equipamentos na frota. O fluxo de produção, mudanças de planejamento são feitos via rádio pelo controle de tráfego, de acordo com os apontamentos dos operadores registrados pelo Smartmine. Com uma base de dados consolidada, buscada através de SQL, que é uma linguagem padrão para manipulação de registros em bancos de dados relacionais, adaptamos as tabelas do banco de dados a realidade e trouxemos de forma prática os principais KPI's, Produtividade, Massa Movimentada, Horas trabalhadas, UF, DF, etc.

A massa transportada é considerada um dos KPI's mais importantes, pois dela que conseguimos extrair outros indicadores, por não possuir balança embarcada e nem sistema integrado com balança o valor usado em cada viagem é a média das pesagens realizadas (de acordo com material e modelo de equipamento) e são inseridos manualmente no sistema, para a criação dessa carga média utilizamos uma planilha automatizada e o sistema Smartmine para fazer sorteios aleatórios das viagens a serem pesadas de acordo com a regra criada no sistema, quando usado o sorteio da planilha o



controlador de tráfego envia mensagens pro operador de transporte e quando sorteada via sistema, essa mensagem já é enviada automática sem interferência humana. Logo seguida, têm-se uma planilha secundária, demonstrada na Figura 16, que busca esses valores, com ela, conseguimos saber se a quantidade de amostras de determinada litologia, são suficientes para atualização de carga média.

Figura 16 Planilha de atualização de Cargas Médias

Data Inicial		Data Final	
01/03/2023		11/06/2023	

Acompanhamento de Massa Média												
MODELO	Material	CM SMARTMINE	ÚLTIMA ALTERAÇÃO	Data Início da Amostragem	Data Fim da Amostragem	Número de Pesagens	Peso Líquido	Desvio Padrão (t)	Coeficiente de Variação	Nº de Pesagens ideal >=	Nº de Pesagens ideal	Fórmula que comprova o Nº ideal
CFE	ESTERIL	58,48	45064,00	01/03/2023	11/06/2023	77	57,97	5,96	10%	16	16	16
CFE	MINERIO HEM			01/03/2023	11/06/2023	130	63,23	6,25	10%	15	15	15
CFE	MINERIO IF			01/03/2023	11/06/2023	445	58,99	14,47	25%	92	92	92
CFE	MINERIO IFH			01/03/2023	11/06/2023	185	59,77	13,40	22%	77	77	77
CFE	REJEITO FILTRAGEM			01/03/2023	11/06/2023	1	59,89	0,00	0%	0	0	0
CFE	PRODUTO			01/01/2023	09/04/2023	0						
CFE	MINERIO BLEND			01/01/2023	09/04/2023	16	60,94	4,72	8%	9	9	9

Fonte: Adaptada pelo Acervo do Autor (2023)

Essa planilha já nos dá uma prévia dos dados, se podemos ou não já fazer a alteração da carga média, e também são analisados o Desvio Padrão e o Coeficiente de variação, que são medidas de dispersão. De acordo com a regra criada, são pesadas 5% de viagens aleatórias de cada litologia para chegar na quantidade ideal para fazer a carga média.

O próximo passo é averiguar se todas as amostras estão coerentes com o esperado ou se existem outliers que merecem ser estudados. Na maioria das análises estatísticas que vamos fazer, devemos considerar os outliers, porém nesta situação em específico, cálculo de carga média, eles devem ser desconsiderados pois o resultado será imputado manualmente no sistema, e implicará em todas as viagens dessa litologia e modelo de equipamento de transporte.



Para se obter uma resposta baseada em análise estatística, coletamos do banco de dados as pesagens e usamos o software Minitab para fazer análise, tratamento de dados e por fim a determinação do valor da carga média.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

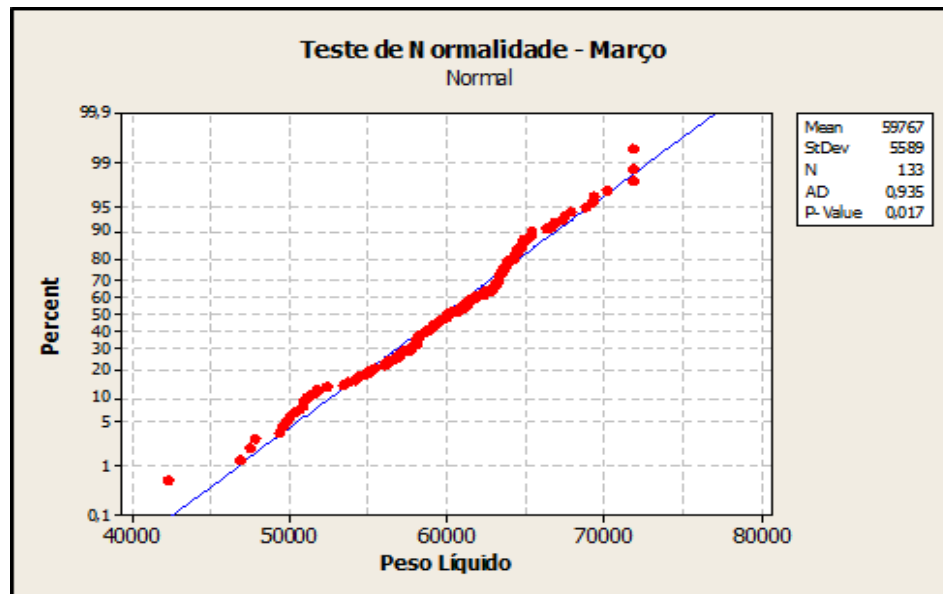
De acordo com o descrito acima, foram separadas amostras de pesagens dos últimos 4 meses de uma determinada litologia de minério dos Caminhões Fora de Estrada Sany Modelo SKT90S. Para auxílio da análise, foram usados o resumo Gráfico e o Gráfico de Normalidade do Minitab. As imagens abaixo se referem as análises dos meses de março, abril, maio e junho, identificadas por seus respectivos títulos.





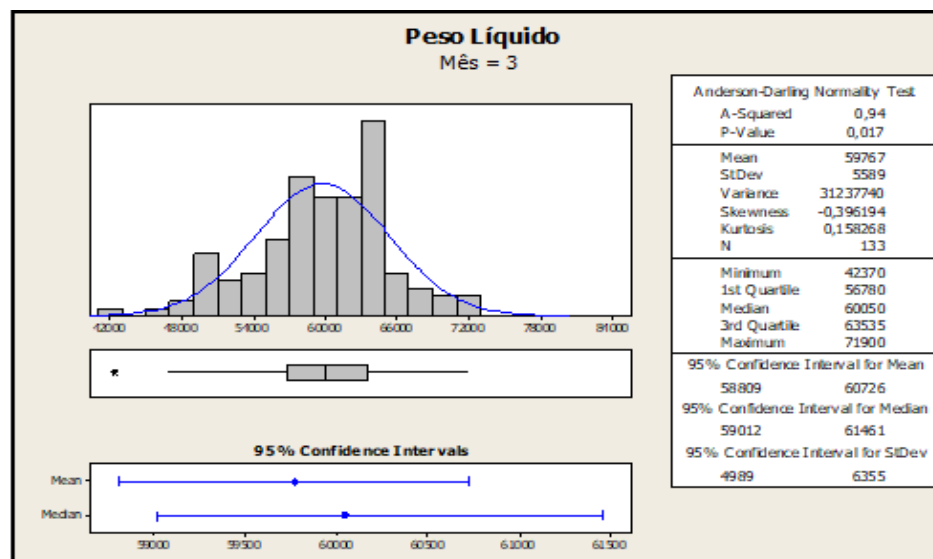
Março:

Figura 17 Teste de Normalidade Março



Fonte: Acervo do Autor (2023)

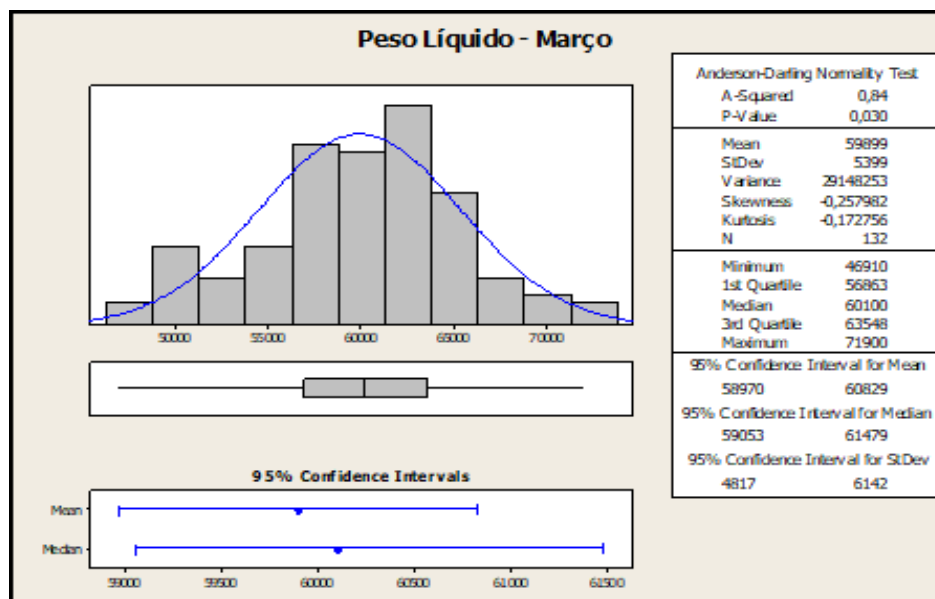
Figura 18 Graphical Summary Março Sem Tratamento



Fonte: Acervo do Autor (2023)



Figura 19 Graphical Summary Março Com Tratamento



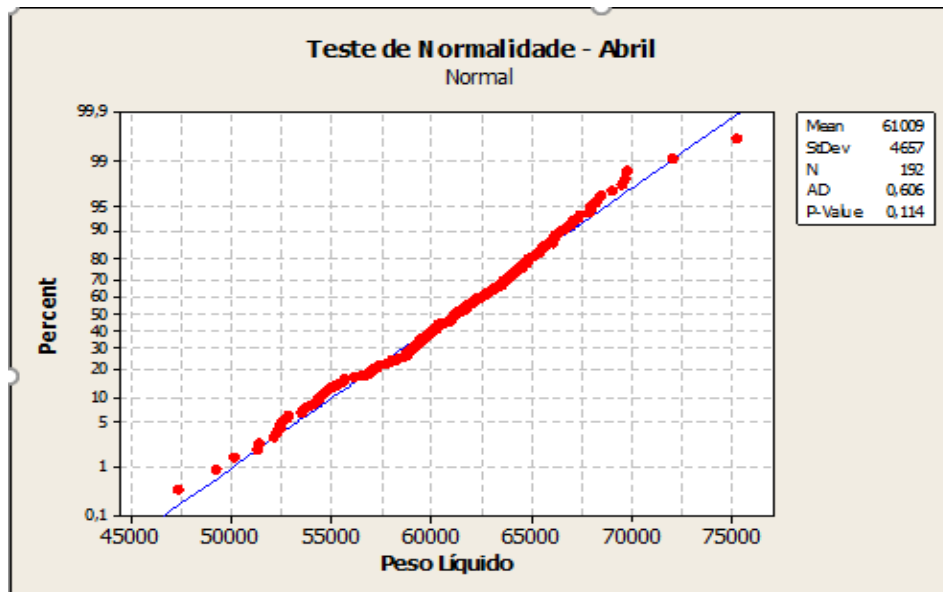
Fonte: Acervo do Autor (2023)

O gráfico de teste de normalidade do mês de março representado pela Figura 17, mostra que os dados seguem uma distribuição normal ($P\text{-Value} > 0,05$), com presença de valores discrepantes. A Figura 18 confirma a presença de 01(um) outlier que precisa de análise e já nos traz uma prévia dos dados estatísticos. Após o tratamento de dados a versão gráfica final demonstrada através da Figura 19, diz que naquela população de dados o Desvio Padrão é de 5,4 t por viagem com 9% de coeficiente de variação, sendo um valor aceitável para inserção no sistema. A carga média desse mês foi 59,90t.



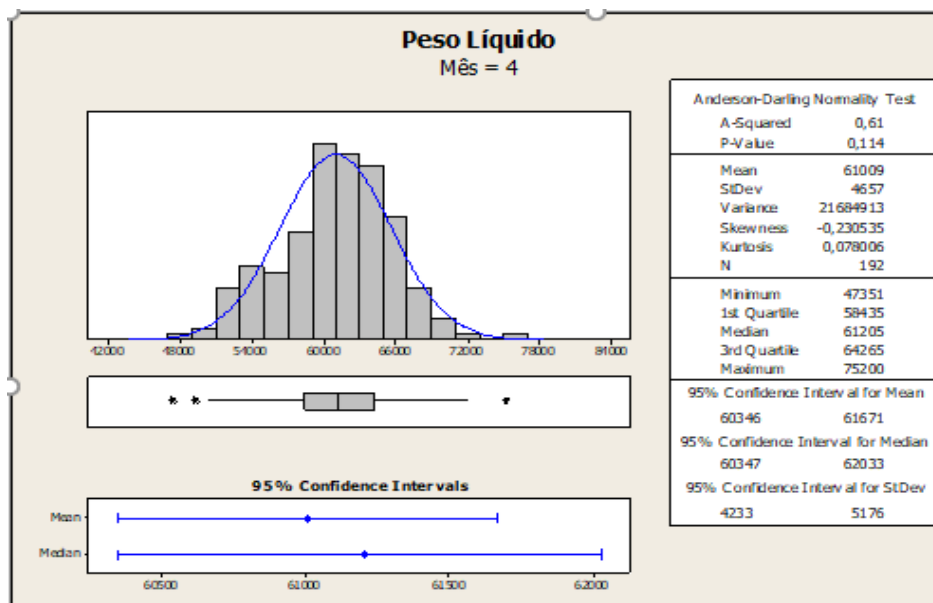
Abril:

Figura 20 Teste de Normalidade Abril



Fonte: Acervo do Autor (2023)

Figura 21 Graphical Summary Abril Sem Tratamento

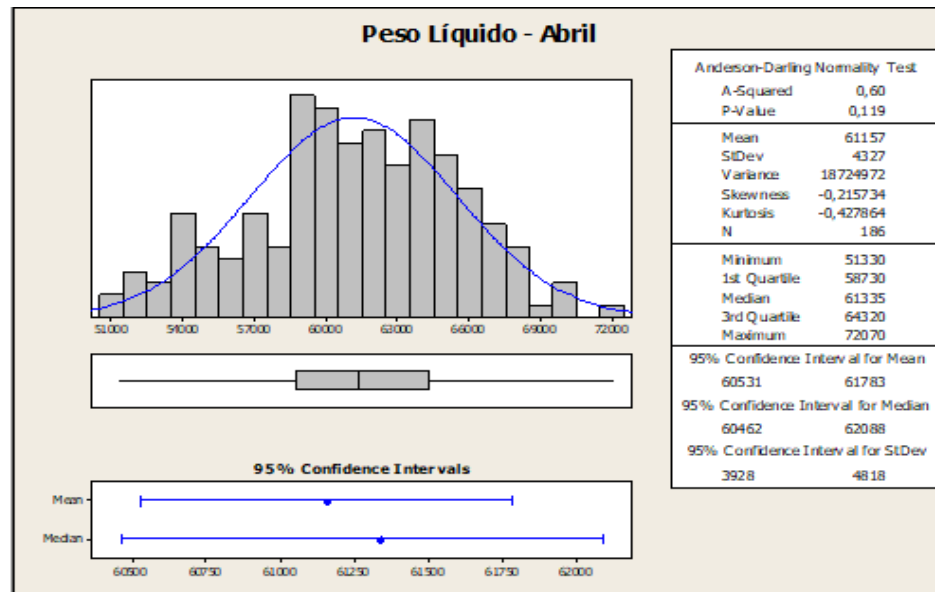


Fonte: Acervo do Autor (2023)





Figura 22 Graphical Summary Abril Com Tratamento



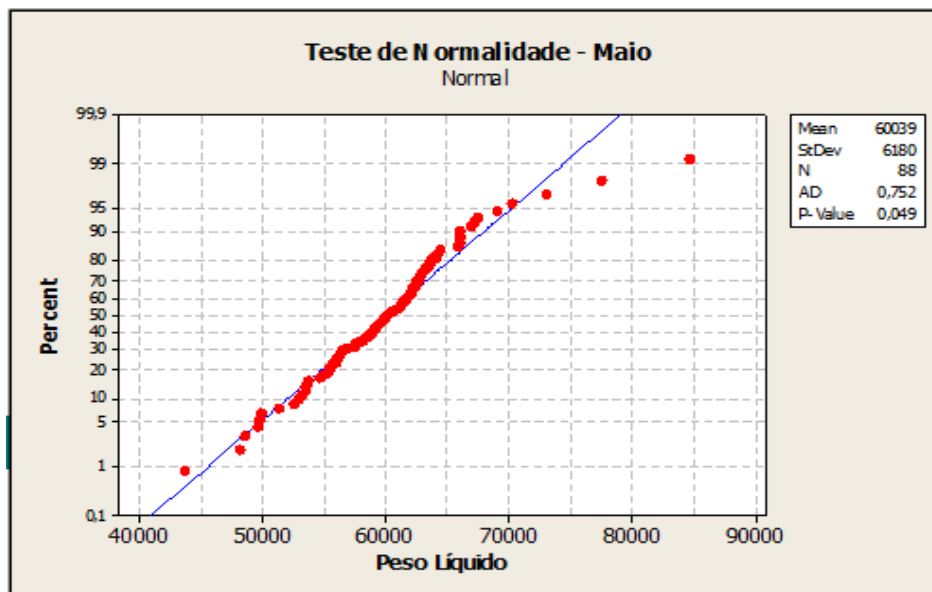
Fonte: Acervo do Autor (2023)

O gráfico de teste de normalidade do mês de abril representado pela Figura 20, mostra que os dados seguem uma distribuição normal ($P\text{-Value} > 0,05$), com presença de valores discrepantes. A Figura 21 confirma essa presença, identificando 06(seis) outliers que precisam análise e já nos mostra uma prévia dos dados estatísticos. Após o tratamento de dados a versão gráfica final demonstrada através da Figura 22, diz que naquela população de dados o Desvio Padrão é de 4,33 t por viagem com 7% de coeficiente de variação, sendo um valor aceitável para inserção no sistema. A carga média do período foi de 61,16t.



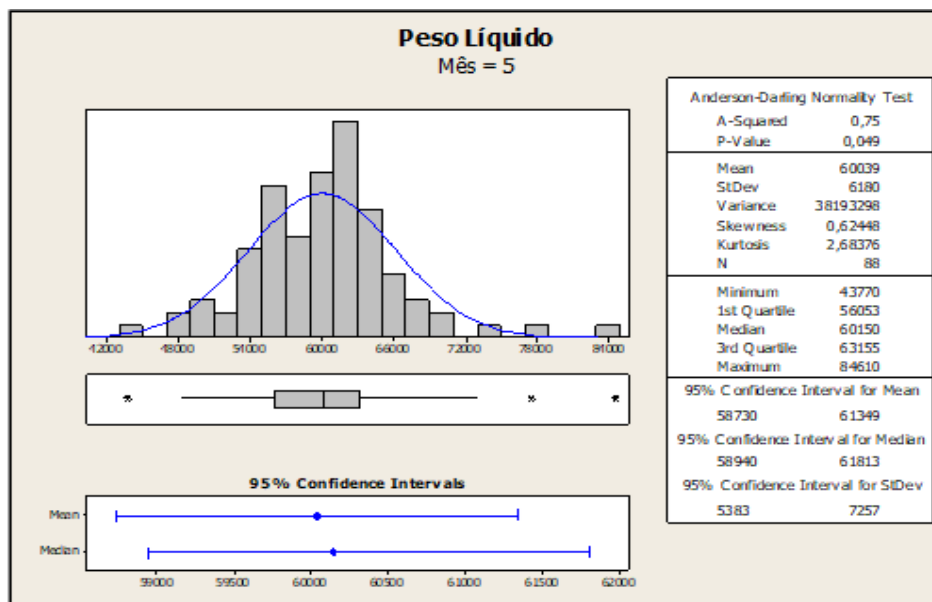
Maio:

Figura 23 Teste de Normalidade Maio



Fonte: Acervo do Autor (2023)

Figura 24 Graphical Summary Maio Sem Tratamento

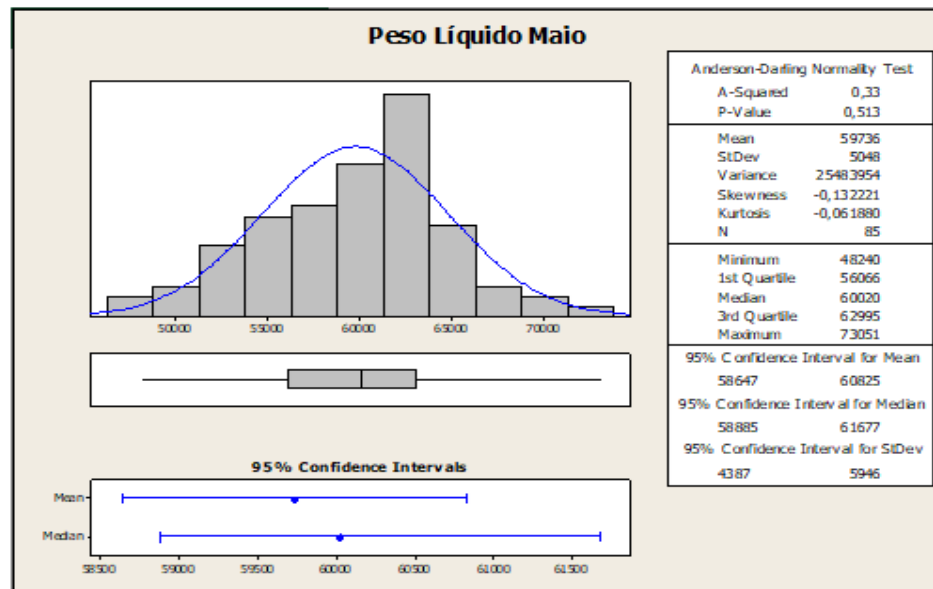


Fonte: Acervo do Autor (2023)





Figura 25 Graphical Summary Maio com Tratamento



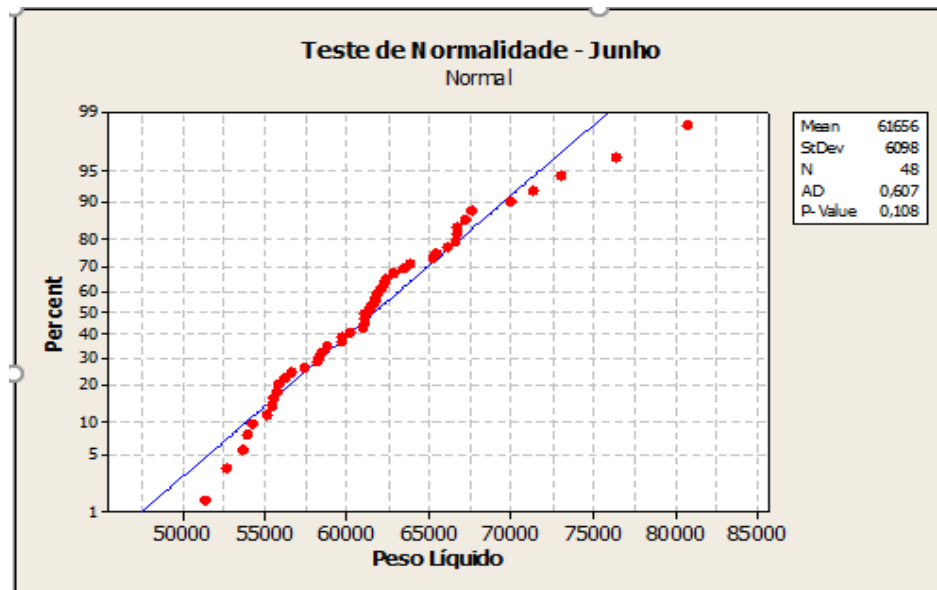
Fonte: Acervo do Autor (2023)

O gráfico de teste de normalidade do mês de maio representado pela Figura 23, mostra que os dados seguem uma distribuição normal ($P\text{-Value} > 0,05$), com presença de valores discrepantes. A Figura 24 confirma essa presença, identificando 03(três) outliers que precisam análise e já nos mostra uma prévia dos dados estatísticos. Após o tratamento de dados a versão gráfica final demonstrada através da Figura 25, diz que naquela população de dados o Desvio Padrão é de 5,04 t por viagem com 8,5% de coeficiente de variação, sendo um valor aceitável para inserção no sistema. A carga média do período foi de 59,74t.



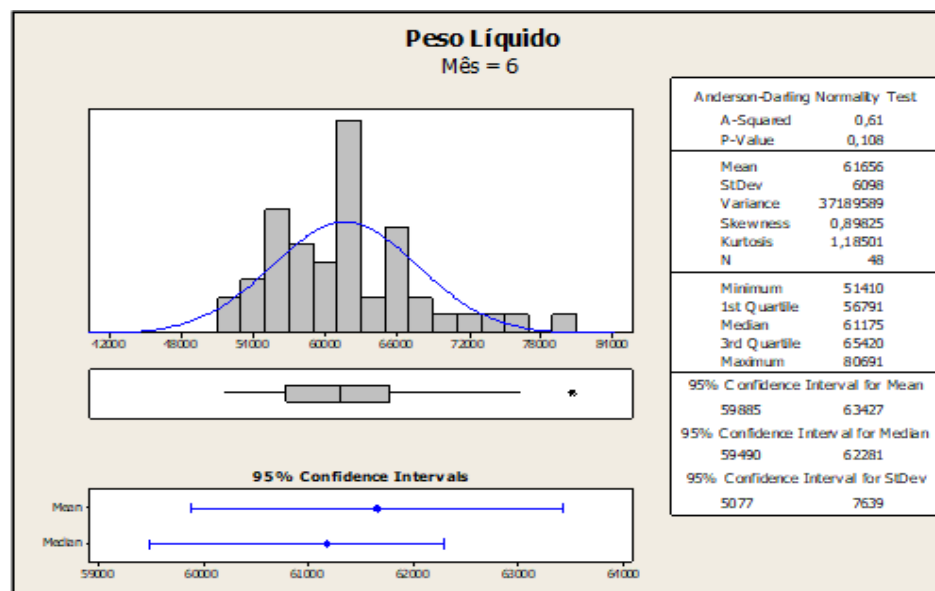
Junho:

Figura 26 Teste de Normalidade Junho



Fonte: Acervo do Autor (2023)

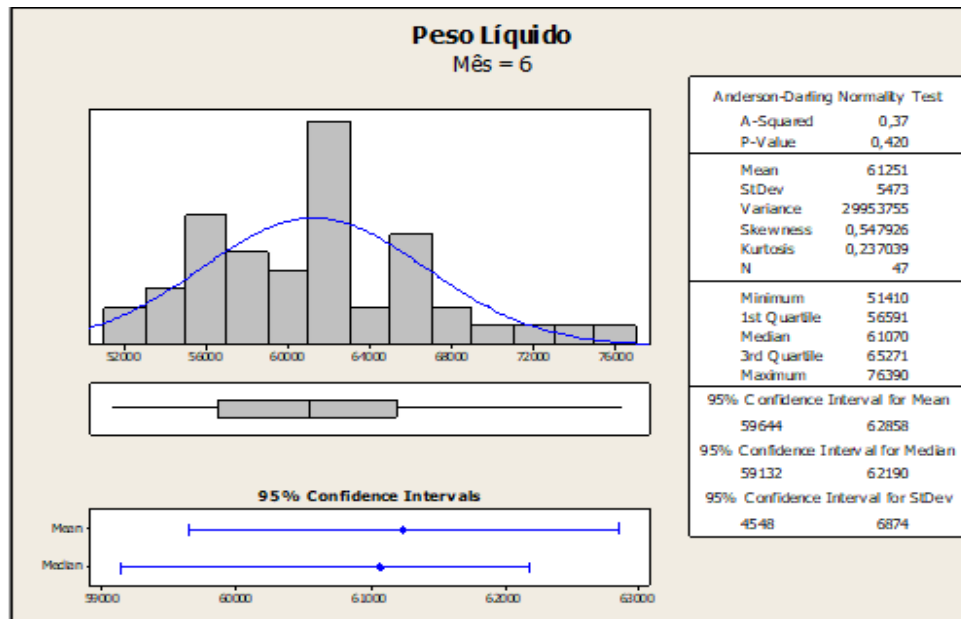
Figura 27 Graphical Summary Junho Sem Tratamento



Fonte: Acervo do Autor (2023)



Figura 28 Graphical Summary Junho Com Tratamento



Fonte: Acervo do Autor (2023)

O gráfico de teste de normalidade do mês de junho representado pela Figura 26, mostra que os dados seguem uma distribuição normal ($P\text{-Value} > 0,05$), com presença de valores discrepantes. A Figura 27 confirma essa presença, identificando 01(um) outlier que precisa de análise e já nos mostra uma prévia dos dados estatísticos. Após o tratamento de dados a versão gráfica final demonstrada através da Figura 28, diz que naquela população de dados o Desvio Padrão é de 5,47 t por viagem com 8,9% de coeficiente de variação, sendo um valor aceitável para inserção no sistema. A carga média do período foi de 61,26t.



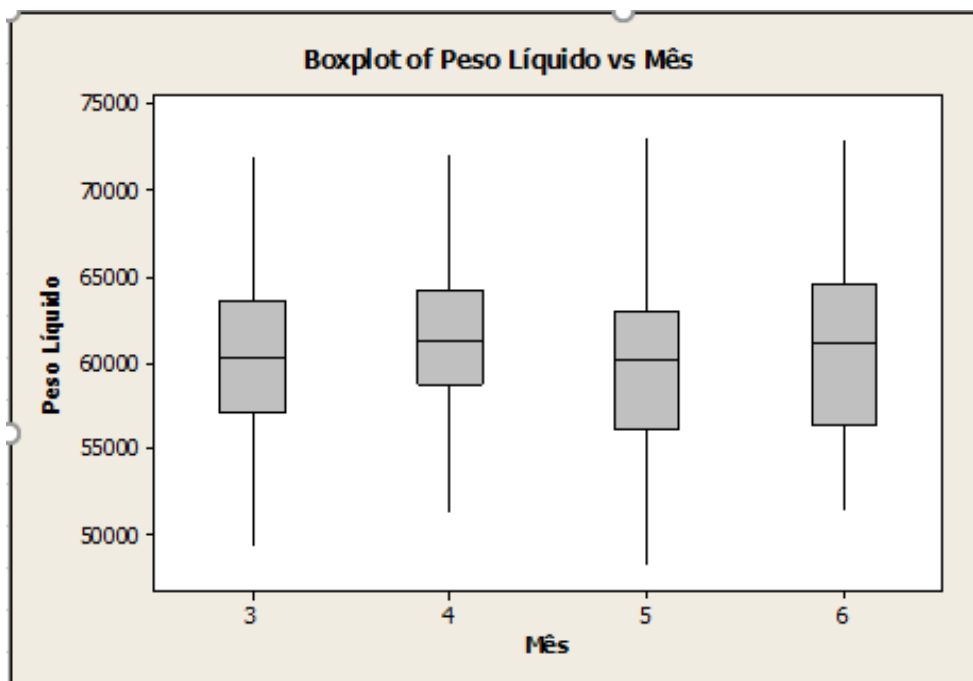
Em resumo, como mostrado na Tabela 01 todos os meses ficaram com um coeficiente de variação aceitável, já que a nossa meta é até 9% e com o menor desvio padrão possível.

Tabela 1 - Carga Média de Amostragem

Mês	Número de amostras	Outils Retirados	Carga média (kg)	Desvio Padrão (kg)	Coeficiente de Variação
Março	132	1	59.899	5.399	9,0%
Abril	186	6	61.157	4.327	7,1%
Maio	85	3	59.736	5.048	8,5%
Junho	47	1	61.251	5.473	8,9%

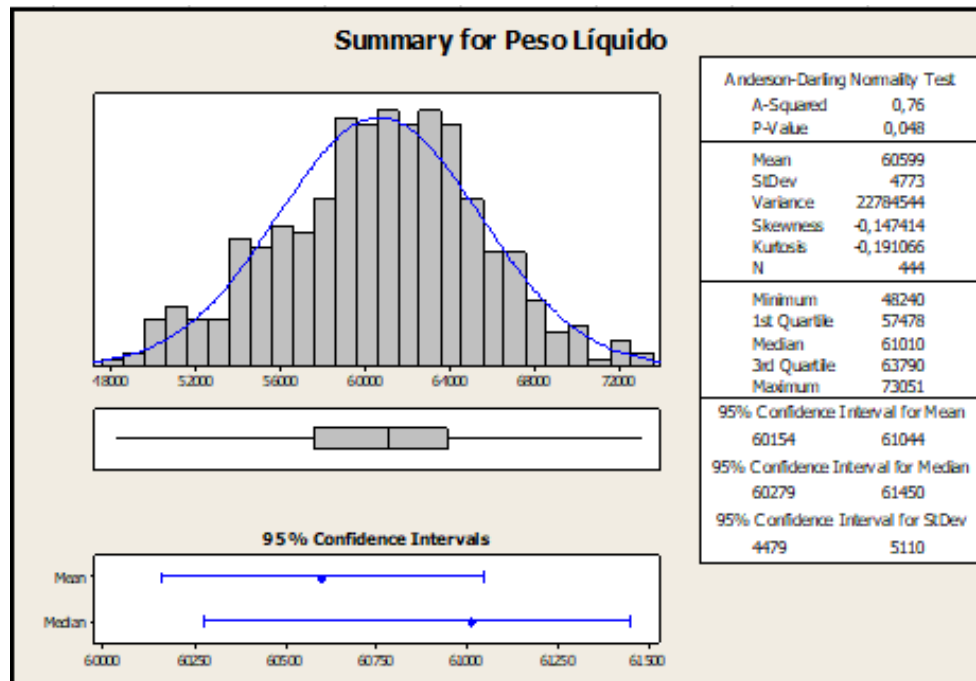
Fonte: Acervo do Autor (2023)

Figura 29 Comparativo BoxPlot



Fonte: Acervo do Autor (2023)

Figura 30 Graphical Summary Geral com Tratamento



Fonte: Acervo do Autor (2023)

Os gráficos, apesar de terem quantidades bem diversificadas de amostra, mostram que a média de carga para essa litologia vem se mantendo próxima ao esperado.

Como demonstrado não há um padrão de carga, dois meses ficaram com uma média esperada e dois com média abaixo. O último mês em especial, apesar de ter apresentado um número de amostras bem menor que os demais, mostra que a maioria das viagens, por mais que não se entram na parte central do eixo, a tendência das viagens está um pouco acima do valor esperando, se caracterizando como ótimo, já que o equipamento tem um limite de uso de 65t. O ideal analisando o nosso box plot é que as viagens quebrem essa variabilidade e se concentrem no valor estipulado pelo fornecedor. Após a análise fez-se um levantamento sobre as possíveis causas da variabilidade dessas cargas:



- Falta de conhecimento técnico do operador, quanto ao material, sua densidade e volume.
- Falta de experiência de carregamento pelo operador
- Praça com Dificuldade de manobra, deixando o caminhão mau posicionado.
- Aderência em excesso de material argiloso na báscula.

Como sugestão de melhoria e padronização de carga, foi sugerido algumas medidas para que a carga não ficasse abaixo do esperado e apresentasse variação dentro do esperado:

- Pesagem da primeira viagem para conseguir dimensionar melhor a carga;
- Instalação de balança rodoviária;
- Controle de desvio Padrão Semanal;
- Padronização de nº de conchadas por material;
- Integração da Balança rodoviária com Smartmine de modo que o operador já receba o valor da carga feita.
- Tamanho amostral maior;
- Redução de Carga Morta, termo explicado no parágrafo abaixo, nos equipamentos, inserir procedimento de conferência e na manutenção preventiva incluir a realização limpeza.

A carga morta, que é um termo usado na mineração para se referir a materiais mais argilosos que se aderem à caçamba dos caminhões, gerando muitas perdas na produção e aumentando os riscos nas operações.

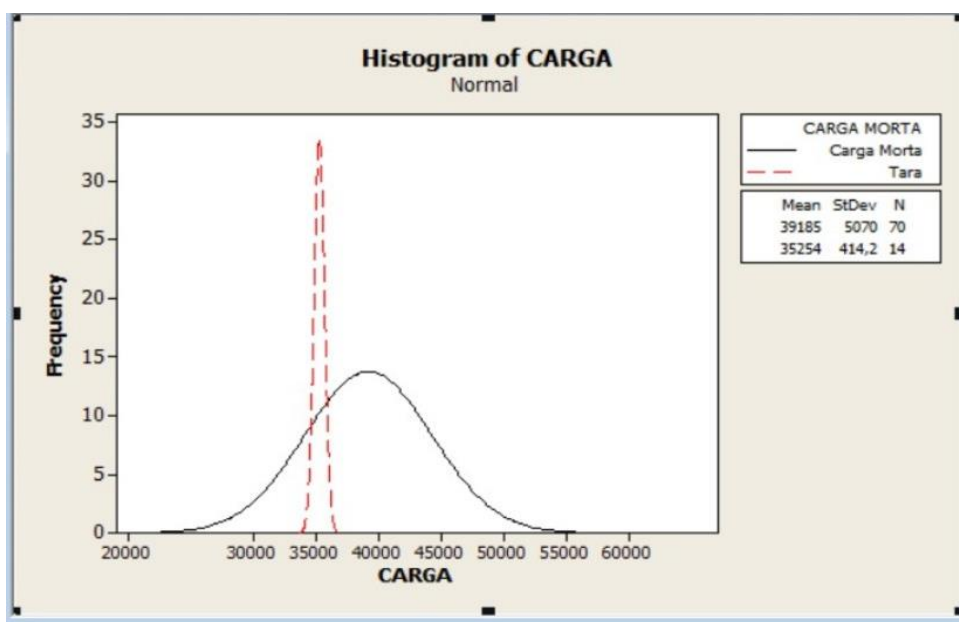
No último mês das análises, foi feito uma quantidade expressiva de amostras, onde foram retiradas as taras² dos equipamentos aleatoriamente, para saber qual a quantidade média de carga morta estava ficando em cada caminhão, com essas amostras foi

² A **tara** do **caminhão** é o peso vazio do veículo, ou seja, o peso total do **caminhão** sem nenhuma carga adicional



identificado que estão carregando uma média, de 5,07 t de carga morta por viagem identificado pelo desvio padrão, como mostra na Figura 32, onde a linha traçada em vermelho mostra que as taras reais ficam centralizadas na faixa de 35t e as taras aleatórias para carga morta, traçado em preto, mostram uma grande variabilidade de valores.

Figura 31 Gráfico de Carga Morta



Fonte: Acervo do Autor (2023)

No que no fim do mês trata-se de uma perda de aproximadamente 35.000 toneladas, o que equivale a quase dois turnos de um dia, causando perda de produtividade. Para sanar essa questão, ainda serão definidas metas mais eficazes junto a estudos de viabilidade para redução dessas cargas mortas.



6. CONCLUSÕES

De acordo com os dados do estudo de carga média através de análises estatísticas, concluiu-se que as ferramentas estatísticas são eficazes para a definição do indicador, levando em conta os cenários possíveis atuais, podendo haver alguma falha devido a questão de número de amostras, já que hoje, apesar da meta de pesagens, ainda há desvios que impedem o seu cumprimento.

Ainda, a validação foi comprovada por meio da comparação mensal de resultados levantados pela massa alimentada do britador, base seca, com o valor de movimentação da mina para o estoque.

Esse resultado mostra que em todos os meses a diferença entre o valor transportado, e o valor alimentado está em torno de 1%, como mostra a Tabela 02, sendo uma ótima aderência aos valores usados.

Tabela 2 -Aderência com Massa Alimentada

Mês	Destino EROM	Mina Base SECA	ITM Base Secca	Umidade	% de alimentação X Base seca
Março	405.035,70	370.607,67	361.604,74	8,5%	1,02
Abril	380.484,02	348.142,88	333.500,70	8,5%	1,04
Maio	397.274,93	363.506,56	352.749,89	8,5%	1,03
Junho	391.838,99	358.532,68	363.833,00	8,5%	0,99

Fonte: Acervo do Autor (2023)

Outra observação é que os desvios e o Coeficiente de variação em todos os meses estão também abaixo do intervalo aceitável, fornecendo previsões de valores coerentes. Sendo assim, apesar da Carga média não ser um valor prático de se encontrar, já que é demandado um tempo para coleta e tratamento de dados, podemos afirmar que a obtenção desse valor é confiável.



REFERÊNCIAS

ANM - Agência Nacional de Mineração. Anuário Mineral Brasileiro: principais substâncias metálicas / Agência Nacional de Mineração; coordenação técnica de Marina Dalla Costa. – Brasília: ANM, 2020.

ANM –Agência Nacional de Mineração – Exploração Mineral – ANM. Disponível em: . <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/exploracao-mineral>. Acesso em: 05 de março de 2023

BALLOU, R. H. Gerenciamento da cadeia de suprimentos: Logística empresarial. 5 ed. Porto Alegre, Bookman, 2006.

BORGES, T. C. Análise Dos Custos Operacionais De Produção No Dimensionamento De Frotas De Carregamento E Transporte Em Mineração. (Dissertação de Mestrado do curso de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro preto 2013.

COUTINHO, H. L. Melhoria Contínua Aplicada Para Carregamento E Transporte Na Operação De Mina A Céu Aberto. (Dissertação de Mestrado do curso de PósGraduação em Engenharia Mineral do Departamento de Engenharia de Minas), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

CURI, Adilson. Lavra de Minas. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

DEVEX TECNOLOGIA E SISTEMAS. Treinamento teórico Dispatch. Minas Gerais, 2013. < Acessado pelo acervo do autor>

FERREIRA, Daniel Lemos. Dimensionamento De Frota Utilizando Indicadores Operacionais De Uma Mina A Céu-Aberto No Alto Paranaíba. (Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Minas do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG), Araxá/MG, 2021

FERREIRA, Leonardo Assis. Escavação e exploração de Minas a Céu Aberto. Juiz de Fora: 2013

FREIRE, Carlos Alexandre C. A Importância do despacho na otimização da cadeia Produtiva na Mineração.2020 < <https://www.linkedin.com/pulse/import%C3%A2ncia-do-despacho-na-otimiza%C3%A7%C3%A3o-da-cadeia-c-freire/?originalSubdomain=pt>> acessado em 15 de abril de 2023.



GOMES, Renato de Souza; Resende, Fábio Luciano M. Ganhos Operacionais com a Padronização de Carga Média Transportada: Exemplo de inovação Tecnológica na Mina de Gongo Soco.

LAGES, Augusto Ribeiro. Estudo Preliminar Da Influência Do Porte De Veículos De Carregamento E Transporte Nos Custos Operacionais De Minas A Céu Aberto (Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia de Minas da UFMG), 2018

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. Fundamentos de metodologia Científica. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003

LOPES, J. R. Viabilização técnica e econômica da lavra contínua de minério de ferro com uso de sistema de britagem móvel “In Pit” auto propelido. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, p. 90, 2010

MELO, S. O. Estudo De Tempos De Ciclo De Carregamento E Transporte De Minério Em Uma Mina A Céu Aberto. (Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Minas), Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá, 2020.

MESSIAS, Rafael Ribeiro Drumond E Sousa. Influência Do Número De Passes Na Produtividade De Carregamento Em Minas A Céu Aberto ((Trabalho de Conclusão apresentado ao Departamento De Engenharia De Minas), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022.

OLIVEIRA, Fabricia Benda; CANDOTTI, Calvin da Silva, MARQUES, Rodson de Abreu. Geologia Aplicada. Vol IV. Espírito Santo: 2022

PEREIRA, Leonardo Olivera; COTA, Priscila Mara. Primarização X Terceirização: Um estudo de caso comparativo na atividade de manutenção do sistema de despacho eletrônico. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. 2016.

PEREIRA, Bruno Inácio. Seleção E Dimensionamento Da Frota De Carregamento Via Simulação Estudo De Caso Mina Ferro + Mineração (Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto), Ouro Preto, 2019.

PEREIRA, Filipe Augusto Rodrigues. Comparação Dos Valores Da Massa Lavrada Fornecida Pela Topografia Com Os Registros Do Smartmine Em Uma Mina De Minério De Ferro. (Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto), Ouro Preto, 2022.



RACIA, Ismael Momade; Desenvolvimento de um modelo de dimensionamento de equipamento de escavação e de transporte em mineração. (Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Minas, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul), Porto Alegre/RS, 2016.

ROMIE, Rafael. Desmonte de Rochas com explosivos. 2018.
<<https://minerajr.ufop.br/blog.desmonteporexplsoivos.html>> acesso em 06 de abril de 2023.

RODOVALHO, Edmo Cunha. “Aplicações de ferramentas de simulação em operações mineiras para determinação de índices operacionais utilizados em planos de lavra adaptados ao estudo de caso da Mineração Casa de Pedra - CSN (Congonhas/MG)” (Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto), Ouro Preto, 2013.

SILVA, Rhaymá do Carmo. Aplicação Da Padronização Da Carga Média De Transporte De Minério Como Iniciativa De Incremento De Produtividade E Redução De Custos. (Programa de Pós-Graduação Latu Sensu da Faculdade de Geologia, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA) Pará, 2016.

SILVA, Júlio César Teodoro. Customização de software intensivo- Smartmine (Monografia de conclusão de curso apresentada ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras para a obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação), Lavras/MG ,2003.

SODRÉ, Décio Farias. Análise De Tempos E Movimentos E Dimensionamento De Frota De Uma Mina A Céu Aberto. (Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto), Ouro Preto, 2019.

SOUZA, Bruna Fernandes de. Kpis E Indicadores De Qualidade No Planejamento De Lavra De Curto Prazo (Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas.), Ouro Preto, 2022.

SUPORTE MINITAB < <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/20/help-and-how-to/>> acessado em 22 de junho de 2023.

TRUEMAN, E. In pit crushing: tha application and benefits of track mounted crushing equipment. Goldfields mining expo. Wertern Austrália. 2001.

<https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/exploracao-mineral> acesso em 05 de março de 2023



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG
Campus Avançado de Poços de Caldas
Rodovia José Aurélio Vilela, nº 11.999 - Cidade Universitária
CEP: 37715-400 - Poços de Caldas/MG



BERNARDES, Mariana. Lavra: o que é, métodos utilizados e a regulamentação < <https://www.minasjr.com.br/lavra-o-que-e-metodos-regulamentacao/>> acesso em 02 de março de 2023.



Curso de Especialização
em Engenharia Mineral