

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Departamento de Engenharia de Minas**  
**Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Minerais**

**Alessandro Oliveira Mendes**

**Considerações Teóricas e Práticas na Seleção e Dimensionamento de Equipamentos de  
Carregamento e Transporte em uma Mina a Céu Aberto**

**Belo Horizonte**  
**2023**

**Alessandro Oliveira Mendes**

**Considerações Teóricas e Práticas na Seleção e Dimensionamento de Equipamentos de Carregamento e Transporte em uma Mina a Céu Aberto**

**Artigo apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Minerais da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia de Recursos Naturais.**

**Orientador: Prof. Renan Collantes Candia**

**Belo Horizonte**

**2023**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

UFMG

CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE RECURSOS MINERAIS

## ATA DA DEFESA DE ARTIGO DO ALUNO ALESSANDRO OLIVEIRA MENDES

Realizou-se, no dia 21 de junho de 2023, às 10:00 horas, na plataforma MS MEET da Universidade Federal de Minas Gerais, a defesa do Artigo intitulado "**CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS E PRÁTICAS NA SELEÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE EQUIPAMENTOS DE CARREGAMENTO E TRANSPORTE EM UMA MINA A CÉU ABERTO**", apresentado por ALESSANDRO OLIVEIRA MENDES, número de registro 2021697368, graduado em TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL, como requisito parcial para a obtenção do certificado de Especialista em ENGENHARIA DE RECURSOS MINERAIS, à seguinte Comissão Examinadora: Professor Renan Collantes Candia- Orientador, Sra. Isabel de Sousa Batista Carvalho (Universidade Federal de Minas Gerais), Sr. André Luiz Alvarenga Santos (Universidade Federal de Minas Gerais).

A comissão considerou a defesa do artigo:

Aprovada

Reprovada

Nota: 8,5 nota

Finalizando os trabalhos, lavrei a presente ata que, lida e aprovada, vai assinada por mim e pelos membros da Comissão.

Belo Horizonte, 21 de junho de 2023.

Professor Renan Collantes Candia (Doutor)

Risia Magriotis Papini  
Coordenadora do Curso de Especialização  
em Engenharia de Recursos Minerais

Sra. Isabel de Sousa Batista Carvalho (Mestre)

Documento assinado digitalmente  
ISABEL DE SOUSA BATISTA CARVALHO  
Data: 21/06/2023 17:23:32 -0300  
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Sr. André Luiz Alvarenga Santos (Mestre)

Documento assinado digitalmente  
ANDRÉ LUIZ ALVARENGA SANTOS  
Data: 22/06/2023 12:53:19 -0300  
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Aírea Domingos  
Secretaria do Curso de Especialização  
em Engenharia de Recursos Minerais

## **RESUMO**

O dimensionamento de frota de carga e transporte é um aspecto crucial para o sucesso das operações unitárias em minas a céu aberto. É importante avaliar a capacidade de produção da mina, as características do minério e as condições do terreno para determinar o número e o tamanho dos equipamentos pessoais. Os principais equipamentos utilizados em mineração são caminhões, escavadeiras e carregadeiras. O dimensionamento da frota deve considerar a capacidade de carga dos caminhões, a capacidade de produção das escavadeiras e carregadeiras, bem como a distância a ser percorrida entre a mina e a área de processamento. A eficiência da frota pode ser maximizada por meio da adoção de tecnologias avançadas, como sistemas de monitoramento e controle de frota, manutenção preventiva e treinamento adequado dos operadores. Além disso, é importante realizar análises periódicas do desempenho da frota para identificar oportunidades de melhoria e aumentar a produtividade. Ao optar pela frota correta, é possível reduzir os custos operacionais, melhorar a produtividade e minimizar os impactos negativos no meio ambiente e na segurança do local de trabalho. A análise criteriosa dessas considerações ajudará na tomada de decisões informadas, garantindo que a frota de equipamentos escolhida seja a mais adequada para as necessidades do projeto. Em conclusão, a escolha de utilizar equipamentos de última geração ou menos atuais em um projeto de construção depende de vários fatores, incluindo o custo, a complexidade, a versatilidade e a eficiência dos equipamentos, bem como as habilidades dos operadores e os requisitos específicos do projeto. É importante avaliar cuidadosamente esses fatores antes de tomar uma decisão, a fim de garantir a eficiência, a segurança e a sustentabilidade do projeto.

Palavras-chave: mineração; disponibilidade; capacidade; seleção; custo.

## **ABSTRACT**

The dimensioning of the cargo and transport fleet is a crucial aspect for the success of unitary operations in open pit mines. It is important to evaluate the mine's production capacity, ore characteristics and ground conditions to determine the number and size of personal equipment. The main equipment used in mining are trucks, excavators and loaders. The dimensioning of the fleet must consider the load capacity of the trucks, the production capacity of the excavators and loaders, as well as the distance to be covered between the mine and the processing area. Fleet efficiency can be maximized through the adoption of advanced technologies, such as fleet monitoring and control systems, preventive maintenance and proper operator training. In addition, it is important to carry out periodic analyzes of fleet performance to identify opportunities for improvement and increase productivity. In summary, the dimensioning of the cargo and transport fleet is a crucial step for the success of unit operations in open pit mines. Thus, the proper selection of equipment, as well as the adoption of advanced technologies can increase fleet efficiency and technology, suffered in more profitable and electric operations.

Keywords: mining; availability; capacity; selection; cost.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Escavadeira (Shovel) a Cabo. ....  | 10 |
| Figura 2 – Escavadeira Shovel Hidráulica. ....  | 11 |
| Figura 3 – Ciclo de trabalho de equipamentos de transporte. ....  | 12 |
| Figura 4 – Compatibilidade entre equipamentos de carregamento e transporte em função de suas capacidades com modelos e toneladas..... | 13 |
| Figura 5 – Trator de Esteira.....   | 18 |
| Figura 6 – Retroescavadeira Hidráulica sobre esteiras.....  | 18 |
| Figura 7 – Caminhão Rodoviário Traçado. ....  | 19 |
| Figura 8 – Caminhão Fora-de-Estrada. ....   | 19 |
| Figura 9 – Pá-carregadeira.....   | 19 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Descrição de quantidade e máquina ou processo. .... | 16 |
| Tabela 2 – Especificação dos equipamentos .....                | 17 |
| Tabela 3 – Comparação antes e depois da ampliação. ....        | 22 |
| Tabela 4 – Capacidade de Carga .....                           | 23 |
| Tabela 5 – Capacidade de Transporte .....                      | 23 |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                 | <b>8</b>  |
| <b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>      | <b>10</b> |
| <b>3 ESTUDO DE CASO .....</b>             | <b>20</b> |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>    | <b>24</b> |
| <b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>        | <b>27</b> |
| <b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b> | <b>29</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A mineração a céu aberto é uma atividade complexa que envolve diversos processos que visam extrair minerais da crosta terrestre. Para garantir a eficiência e a produtividade dessas operações, é fundamental que o dimensionamento da frota de carga e transporte seja realizado de forma adequada. A escolha dos equipamentos adequados e o número ideal deles impacta diretamente na eficiência das operações, nos custos operacionais, e na segurança do trabalho.

O objetivo deste artigo é discorrer sobre as considerações teóricas e práticas da seleção de equipamentos mais apropriada para a seleção e dimensionamento da frota de carga e transporte em minas a céu aberto, levando em conta vários cenários na lavra do cobre. Para atingir esse objetivo, será realizado um estudo de caso que considerará a distância média de transporte, o tempo de ciclo, a produtividade, a disponibilidade física e o índice de utilização dos equipamentos. A intenção é apresentar uma metodologia que possa ser utilizada para selecionar equipamentos de forma mais criteriosa em projetos futuros de mineração a céu aberto.

Um dos desafios do dimensionamento de frota de carga e transporte é escolher os equipamentos mais adequados para cada operação. Há vários tipos de máquinas disponíveis no mercado, cada uma com suas características específicas que devem ser consideradas na tomada de decisão. Entre os equipamentos mais usados na mineração a céu aberto estão as escavadeiras, os caminhões fora de estrada, os tratores de esteiras e as carregadeiras.

Outro fator importante é o número ideal de equipamentos para cada operação. Determinar a quantidade certa é fundamental para garantir eficiência e produtividade da mina sem comprometer a segurança no trabalho. O excesso de equipamentos pode levar a um aumento desnecessário nos custos operacionais, enquanto a falta deles pode afetar diretamente na produção da mina.

A distância média de transporte é um fator importante no dimensionamento de frota de carga e transporte. Ela está relacionada ao tipo de minério e ao layout da mina, e afeta diretamente os custos operacionais, a produtividade e a disponibilidade da frota. O tempo de ciclo também é um aspecto relevante a ser considerado. Ele se refere ao tempo gasto por cada equipamento para realizar uma operação completa, desde o carregamento até o despejo/basculamento do material. O tempo de ciclo influencia diretamente na produtividade e nos custos operacionais da mina.

A produtividade da frota de carga e transporte é um indicador chave no

dimensionamento, e assim como o tempo de ciclo, influencia diretamente nos custos operacionais da mina. A produtividade é medida em toneladas de material transportado por hora e uma frota produtiva pode garantir uma maior eficiência e segurança no trabalho. Além disso, a disponibilidade física (tempo em % que o equipamento estar disponível para ser operado) dos equipamentos é crucial para evitar impactos negativos na produtividade e nos custos operacionais. Medidas como a manutenção preventiva devem ser adotadas para garantir a disponibilidade dos equipamentos. O índice de utilização (tempo em % que o equipamento é utilizado dentro da sua disponibilidade) da frota de carga e transporte é importante no dimensionamento, relacionado ao tempo de ciclo e disponibilidade física dos equipamentos. Um índice baixo pode indicar falhas no dimensionamento, enquanto um alto pode indicar superutilização. A sustentabilidade ambiental também deve ser considerada, buscando reduzir impactos como a degradação do solo e contaminação de águas subterrâneas, entre outros aspectos.

A metodologia utilizada para o dimensionamento da frota de carga e transporte em mineração a céu aberto é um processo complexo que envolve diversos fatores. O objetivo é determinar o número ideal de equipamentos para suprir a demanda de transporte de minério e estéril, garantindo a eficiência do processo e a redução de custos.

Inicialmente, é necessário realizar o levantamento de dados da operação, como a produção diária, o volume de minério e estéril a ser movimentado, a topografia do terreno e a distância entre a mina, a usina e pilha de estéril. Com base nessas informações, é possível definir os equipamentos mais adequados para a operação.

Para dimensionar a frota de carga e transporte, é necessário considerar a capacidade, velocidade e consumo de combustível dos equipamentos, além da disponibilidade e capacidade de manutenção. A distância média de transporte (é determinada pela distância média percorrida pelos caminhões basculantes entre a frente de lavra e o destino final do material.) também é um fator importante, influenciando diretamente no tempo de ciclo e na produtividade da operação. Para avaliar a produtividade da frota de carga e transporte, é preciso considerar o tempo de ciclo dos equipamentos e sua disponibilidade física. O índice de utilização dos equipamentos também é relevante no dimensionamento da frota, sendo influenciado por fatores como a manutenção, o combustível e as condições climáticas.

Além dos aspectos técnicos, é fundamental considerar os aspectos financeiros, como o Capex (despesas ou investimentos em bens de capital de uma empresa) e Opex (despesas operacionais da empresa) da operação, incluindo custos de manutenção, combustível e pessoal.

A sustentabilidade ambiental também deve ser levada em conta, buscando soluções que minimizem o impacto ambiental da operação e garantam sua sustentabilidade.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A mineração a céu aberto é uma das principais atividades econômicas em todo o mundo. Essa forma de extração mineral apresenta vantagens em relação a outras técnicas, como a menor complexidade operacional e custos reduzidos. No entanto, é fundamental que as empresas do setor dimensionem de forma adequada a frota de carga e transporte utilizada nas operações unitárias para garantir a eficiência e a sustentabilidade do processo.

Os equipamentos de carga e transporte utilizados em mineração a céu aberto são essenciais para a eficiência operacional e para a produtividade da mina. Existem diversas máquinas disponíveis no mercado, cada uma com características próprias que as tornam mais ou menos adequadas para determinados tipos de operação. Entre os equipamentos de carga, destacam-se as escavadeiras hidráulicas e a cabo, as pás carregadeiras e as retroescavadeiras.

**Figura 1 - Escavadeira (Shovel) a Cabo.**



**Fonte: (Caterpillar, 2019).**

A Escavadeira (Shovel) a Cabo (figura – 1) e a Shovel Hidráulica (figura – 2), são exemplos de equipamentos de carga utilizados em mineração a céu aberto. Enquanto a Shovel a Cabo utiliza cabos de aço para movimentação da carga, a Shovel Hidráulica utiliza um sistema hidráulico. Cada uma dessas escavadeiras possui vantagens e desvantagens, dependendo da aplicação e das condições de operação, a escolha do equipamento adequado é fundamental para garantir a eficiência e a segurança da operação.

**Figura 2 – Escavadeira Shovel Hidráulica.**



**Fonte: Komatsu (2019).**

As escavadeiras hidráulicas (figura – 2) são utilizadas principalmente para a escavação de solos e rochas. São equipamentos de grande porte que possuem um braço articulado com uma concha na extremidade.

As pás carregadeiras (figura – 9), por sua vez, são máquinas mais compactas e mais versáteis, utilizadas para carga e transporte de materiais. Já os caminhões basculantes são veículos de grande capacidade de carga, utilizados para o transporte de materiais a granel.

Além disso, existem outros tipos de equipamentos de carga e transporte utilizados em mineração a céu aberto, como os draglines (equipamento utilizado como ferramenta necessária para que se faça a dragagem e o desassoreamento de diversos corpos d'água), as escavadeiras frontais (figura – 6) e as escavadeiras de cabo (figura – 1). Cada uma dessas máquinas possui características específicas que as tornam mais ou menos adequadas para determinados tipos de operação, dependendo das características do minério e das condições operacionais da mina.

O dimensionamento de frota de carga e transporte é uma tarefa complexa que envolve a escolha dos equipamentos mais adequados para realizar as operações de uma mina a céu aberto de forma eficiente e econômica.

Borges (2013), um dos principais desafios enfrentados pelos engenheiros de minas é encontrar o equilíbrio entre o custo e a capacidade produtiva da frota, garantindo a maximização da produção e a redução dos custos operacionais.

A seleção e o dimensionamento da frota de carregamento são temas abordados por diversos autores, como Pereira (2019), que em seu estudo de caso na mina Ferro+ Mineração, utilizou uma simulação de um software específico para identificar a frota ótima de carregadeiras. Já Racia (2016) desenvolveu um modelo de dimensionamento de equipamentos de escavação e transporte em mineração, utilizando dados da mina de Moatize, em Moçambique.

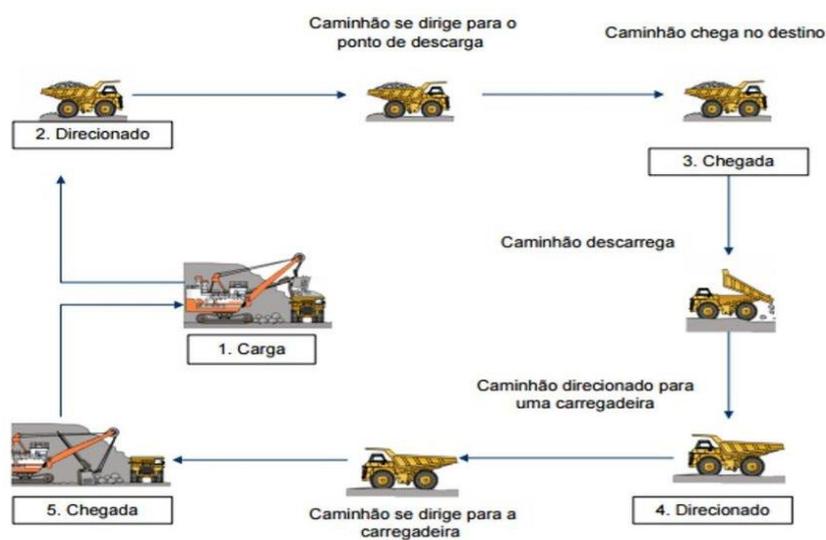
Silva (2022) aplicou a simulação dinâmica para suporte à decisão de dimensionamento de frota em unidades de mineração, considerando fatores como disponibilidade dos equipamentos, capacidade de produção e redução dos custos operacionais.

Turci (2021) utilizou a simulação de eventos discretos para selecionar e dimensionar a frota de caminhões articulados na mineradora Ferro+.

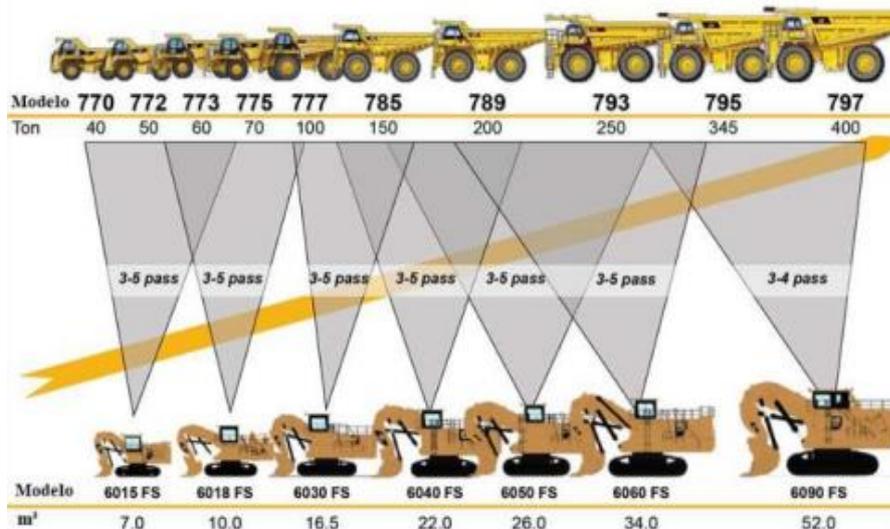
A capacidade dos equipamentos é um dos fatores mais importantes a serem considerados no dimensionamento da frota de carga e transporte. A capacidade dos caminhões basculantes, por exemplo, é determinada pela quantidade de material que eles conseguem transportar em cada viagem. Já a capacidade das escavadeiras hidráulicas e das pás carregadeiras é medida em termos de volume de material escavado e carregado.

Além da capacidade dos equipamentos, outros critérios importantes para o dimensionamento da frota de carga e transporte em mineração a céu aberto incluem a distância média de transporte, o tempo de ciclo e a produtividade. A distância média de transporte é determinada pela distância média percorrida pelos caminhões basculantes entre a frente de lavra e o destino final do material. Já o tempo de ciclo é o intervalo de tempo necessário para que um equipamento complete uma operação de carga e transporte. A produtividade, por sua vez, está relacionada à quantidade de material transportado por unidade de tempo.

**Figura 3: Ciclo de trabalho de equipamentos de transporte.**



**Figura 4: Compatibilidade entre equipamentos de carregamento e transporte em função de suas capacidades com modelos e toneladas.**



O dimensionamento da frota de carga e transporte em mineração a céu aberto é um processo complexo que envolve a consideração de diversos fatores, como as características do minério, a topografia do terreno e as condições ambientais. É fundamental que as empresas do setor utilizem metodologias adequadas e ferramentas avançadas para garantir a eficiência e a sustentabilidade do processo produtivo.

A utilização da simulação computacional para determinar a frota ótima de caminhões em mineração também foi abordada por Januário e Souza (2019). Segundo os autores, a simulação é uma ferramenta eficiente para analisar cenários e auxiliar na tomada de decisão, trazendo finanças equilibradas, visando redução de custos, sobretudo em época de crise política e econômica.

Moreira (2018) avaliou o dimensionamento de frota de transporte e carregamento para as operações unitárias de uma mina em expansão, considerando a variabilidade das condições geológicas e a incerteza dos preços dos insumos. Uchôa (2009) propôs uma metodologia para análise da eficiência de frotas de carregamento e transporte em mineração utilizando o software Microsoft Excel. Chegando em uma conclusão, que um dimensionamento de frota bem estruturado, implantado e consistente, reduz muito o custo unitário da mina e viabiliza o projeto.

Queiroz (2021) realizou um comparativo entre metodologias de estimativas de custo para o dimensionamento de frota, considerando fatores como a disponibilidade dos equipamentos e o desempenho operacional. Desse modo, conclui-se que para as estimativas dos custos unitários de CAPEX, utilizando o Modelo Raheb com o Fator de Indexação, os resultados foram satisfatórios e poderiam ser utilizados para estimativas de projetos greenfield.

sem possuir um alto risco associado.

Coutinho e Damasceno (1998) discutiram considerações sobre o dimensionamento de equipamentos de carga e transporte em mineração a céu aberto, abordando aspectos como a capacidade de carga e a produtividade.

Da Fonseca, Fabrícia Vieira et al. (2018) realizou uma análise de regressão linear múltipla para dimensionamento de caminhões rodoviários na mineração, utilizando dados de uma mina de minério de ferro em Minas Gerais, no qual obteve o modelo a ser utilizado para prever a massa de produto possível a transportar com caminhões. Silva (2018) avaliou a viabilidade técnica da estratégia de carregamento pelos dois lados da máquina de carga na mineração, considerando aspectos como a eficiência e a segurança. Com isso houve um aumento da produtividade das escavadeiras e dos caminhões de 13,16 %, simulado pelo software Talpac.

O ciclo de produção em uma mina a céu aberto depende de diversos fatores, como a distância média de transporte entre o ponto de extração do minério/estéril e o destino final, o tipo de material transportado, a topografia do terreno, entre outros. Todos esses fatores afetam diretamente o dimensionamento da frota de carga e transporte, tornando fundamental analisar a relação entre o ciclo de produção e a capacidade da frota.

A análise do ciclo de produção é importante porque permite identificar os gargalos que reduzem a produtividade da operação. Por exemplo, se a distância média de transporte for muito grande, é possível que haja um tempo de espera maior do que o tempo gasto com a carga e o transporte. Além disso, o ciclo de produção também pode ser influenciado pelo tipo de material transportado, que pode variar em termos de densidade, granulometria e umidade.

Para entender a influência do ciclo de produção no dimensionamento da frota de carga e transporte, é preciso analisar detalhadamente cada etapa do processo. Isso inclui a extração do minério, o transporte até o local de britagem, o despejo do material britado e o transporte do estéril até a pilha de estéril. Cada uma dessas etapas pode ser otimizada de forma a reduzir o tempo total do ciclo de produção.

A distância média de transporte é um dos principais fatores que influenciam o tempo de ciclo de produção. Quanto maior for a distância, mais tempo será gasto com o transporte, o que pode afetar a produtividade da operação. Por isso, é importante avaliar a possibilidade de reduzir a distância de transporte, seja por meio de um novo layout da mina ou pela relocação da planta de britagem.

Outro fator que influencia diretamente no ciclo de produção é a granulometria do

material transportado. Quando as partículas são muito grandes, a capacidade de carga dos caminhões é reduzida, o que aumenta o tempo de ciclo. Nesse sentido, é importante avaliar a possibilidade de reduzir a granulometria do material, primeiramente com um desmonte mais eficiente, e por outro lado, pode ser feito por meio de um processo de britagem mais eficiente.

A umidade do material também pode afetar o ciclo de produção, uma vez que o transporte de material úmido é mais lento do que o transporte de material seco. Além disso, o material úmido também pode aderir às paredes do caminhão, o que reduz ainda mais a capacidade de transporte. Por isso, é importante avaliar a possibilidade de reduzir a umidade do material, seja por meio de um processo de secagem, estocagem e tempo de residência, ou pela otimização do processo de extração.

A topografia do terreno também pode afetar o ciclo de produção, uma vez que a inclinação do terreno pode tornar o transporte mais lento e exigir mais dos equipamentos. Nesse sentido, é importante avaliar a possibilidade de ajustar o layout da mina de forma a reduzir a inclinação do terreno e tornar o transporte mais eficiente.

Além dos fatores já mencionados, o ciclo de produção também pode ser influenciado pelo tempo de espera nos processos de carga e descarga dos caminhões, pela disponibilidade dos equipamentos e pela eficiência dos operadores. Por isso, é importante avaliar a possibilidade de otimizar cada uma dessas etapas de forma a reduzir o tempo total do ciclo de produção.

Tabela 1 – Descrição de quantidade e máquina ou processo.

| <b>Item</b>  | <b>Descrição</b>   |
|--|--|
| <b>Produção anual da mina</b>                        | Quantidade de minério a ser extraído e transportado durante um ano.  |
| <b>Capacidade do equipamento de carga</b>            | Quantidade de minério que o equipamento de carga pode carregar por ciclo.  |
| <b>Capacidade do equipamento de transporte</b>       | Quantidade de minério que o equipamento de transporte pode transportar por viagem.                                   |
| <b>Velocidade média do equipamento de transporte</b> | Velocidade média do equipamento de transporte durante uma viagem.  |
| <b>Tempo médio de carga</b>                          | Tempo médio que o equipamento de carga leva para carregar uma carga completa.  |
| <b>Tempo médio de descarga</b>                       | Tempo médio que o equipamento de transporte leva para descarregar uma carga completa.                                |
| <b>Distância média de transporte</b>                 | Distância média que o equipamento de transporte precisa percorrer para transportar uma carga completa.               |
| <b>Carga horária diária de trabalho</b>              | Quantidade de horas por dia que o equipamento de carga e transporte ficará em operação.                              |
| <b>Dias de operação por semana</b>                   | Quantidade de dias por semana que o equipamento de carga e transporte ficará em operação.                            |
| <b>Fator de disponibilidade do equipamento</b>       | Percentual de tempo que o equipamento está disponível e em operação.   |
| <b>Fator de eficiência do equipamento</b>            | Percentual de tempo que o equipamento está em plena capacidade de produção.  |
| <b>Número de equipamentos de carga</b>               | Quantidade de equipamentos de carga necessários para atender a produção anual da mina.                               |
| <b>Número de equipamentos de transporte</b>          | Quantidade de equipamentos de transporte necessários para atender a produção anual da mina.                          |
| <b>Tamanho da frota</b>                              | Quantidade total de equipamentos de carga e transporte necessários para atender a produção anual da mina.            |
| <b>Investimento necessário</b>                       | Custo total para aquisição dos equipamentos de carga e transporte necessários para atender a produção anual da mina. |

Em resumo, a análise do ciclo de produção é fundamental para o dimensionamento da frota de carga e transporte em uma mina a céu aberto. Ao entender os fatores que influenciam o tempo de ciclo de produção, é possível identificar os gargalos que reduzem a produtividade da operação e adotar medidas para otimizá-los. Dessa forma, é possível reduzir o tempo total do ciclo de produção e aumentar a eficiência da operação como um todo.

Ramani et al. (2014), a Tecnologia de Designe e Manutenção é uma ferramenta que deve ser utilizada na seleção de equipamentos de mineração. A DMT permite que sejam considerados fatores como a disponibilidade de equipamentos, os custos de manutenção e reparação, além da eficiência e produtividade.

Roy (2019) discute como a DMT (Distância Média de Transporte) pode ser aplicada na

seleção de equipamentos de mineração subterrânea. Ele afirma que essa ferramenta permite a escolha de equipamentos mais seguros, com menor custo de manutenção e maior durabilidade.

Chaves (2015), a DMT (Distância Média de Transporte) também é importante para a seleção de equipamentos de transporte na mineração. Ele destaca que a seleção adequada de equipamentos de transporte pode reduzir custos operacionais e aumentar a eficiência da operação.

Shi (2020) discute como a DMT (Distância Média de Transporte) pode ser aplicada na seleção de equipamentos de britagem na mineração. Ele destaca que essa ferramenta pode ajudar a escolher equipamentos mais adequados para o tipo de minério a ser processado, além de permitir a avaliação de fatores como a durabilidade e eficiência energética.

Ulsen et al. (2017), a DMT (Distância Média de Transporte) também deve ser considerada na seleção de equipamentos de carregamento e transporte em minas de ferro. Eles destacam que a escolha adequada de equipamentos pode reduzir custos operacionais e aumentar a produtividade da mina.

Miao (2016), discute como a DMT (Distância Média de Transporte) pode ser “utilizada para a seleção de equipamentos de escavação em minas de carvão. Ele destaca que essa ferramenta pode ajudar a escolher equipamentos mais adequados para a geologia local, além de permitir a avaliação de fatores como a eficiência e custos de manutenção”.

Xie (2018), discute como a DMT (Distância Média de Transporte) pode ser “aplicada na seleção de equipamentos de perfuração em minas de cobre”. Ele afirma que a escolha adequada de equipamentos pode reduzir custos operacionais e aumentar a eficiência da operação, além de permitir a avaliação de fatores como a capacidade de perfuração e vida útil dos equipamentos.

**Tabela 2 – Especificação dos equipamentos**

| <b>Equipamento</b>              | <b>Capacidade de Carga</b> | <b>Velocidade de Deslocamento</b> | <b>Capacidade do Motor</b> | <b>Peso</b>                 |
|---------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| <b>Escavadeira</b>              | <b>50 a 400 toneladas</b>  | <b>3 a 5 km/h</b>                 | <b>200 a 4000 HP</b>       | <b>250 a 1000 toneladas</b> |
| <b>Caminhão Fora de Estrada</b> | <b>30 a 400 toneladas</b>  | <b>40 a 70 km/h</b>               | <b>400 a 4000 HP</b>       | <b>30 a 400 toneladas</b>   |
| <b>Trator de Esteiras</b>       | <b>30 a 80 toneladas</b>   | <b>3 a 5 km/h</b>                 | <b>250 a 700 HP</b>        | <b>10 a 80 toneladas</b>    |
| <b>Carregadeira</b>             | <b>5 a 50 toneladas</b>    | <b>8 a 20 km/h</b>                | <b>100 a 1500 HP</b>       | <b>5 a 50 toneladas</b>     |

A tabela 2 apresenta informações importantes sobre as características de cada equipamento, como a capacidade de carga, a velocidade de deslocamento, a capacidade do motor e o peso. Essas informações podem ajudar na escolha do equipamento mais adequado para cada operação, considerando as necessidades específicas da mina em questão.

**Figura 5 - Trator de Esteira.**



Fonte: (Caterpillar, 2020).

Por exemplo, se a mina necessita de um equipamento com alta capacidade de carga, a escavadeira pode ser uma boa opção, já que pode suportar de 50 a 400 toneladas de carga. Já se a mina precisa de um equipamento mais rápido, o caminhão fora de estrada pode ser uma escolha melhor, já que pode atingir velocidades de até 70 km/h.

**Figura 6 - Retroescavadeira Hidráulica sobre esteiras.**



Fonte: (Liebherr, 2018).

**Figura 7 - Caminhão Rodoviário Traçado.**



Fonte: (Scania, 2019).

**Figura 8 - Caminhão Fora-de-Estrada.**



Fonte: (Caterpillar, 2018).

Outro ponto importante a ser considerado é a capacidade do motor. Se a mina precisa de um equipamento com maior potência, a escavadeira pode ser novamente uma boa escolha, já que pode ter um motor com capacidade de até 4000 HP. No entanto, se a mina precisa de um equipamento com menor peso, a carregadeira pode ser uma opção melhor, já que pode pesar apenas de 5 a 50 toneladas.

**Figura 9 - Pá-carregadeira.**



Fonte: (Caterpillar, 2018).

Ao comparar esses fatores e analisar as necessidades específicas da mina, é possível escolher o equipamento mais adequado para cada operação, garantindo a eficiência e a produtividade da mina.

A disponibilidade física (DF) é a capacidade de um equipamento ou sistema estar pronto para uso sempre que necessário, influenciando a eficiência e eficácia das operações (Caterpillar, 2020). Por outra parte a confiabilidade é a capacidade de um equipamento ou sistema funcionar corretamente e de forma consistente, afetando a continuidade das operações (Caterpillar, 2020). Índice de utilização (IU) é a eficiência do uso dos recursos disponíveis, influenciada pela disponibilidade física, confiabilidade e outros fatores. Produtividade é a relação entre a produção e os recursos utilizados para produzi-la, influenciada pela disponibilidade física, confiabilidade, utilização física, qualidade da gestão e dos processos de produção.

A manutenção de estradas é importante para garantir a disponibilidade física e confiabilidade dos equipamentos de transporte. Uma manutenção adequada pode reduzir desgaste dos veículos e evitar atrasos na produção. A disponibilidade física, confiabilidade, utilização física e produtividade são críticos para o sucesso da organização. É necessária uma gestão adequada dos recursos, processos e sistemas de produção, capacitação dos operadores e manutenção adequada dos equipamentos e infraestrutura. É importante monitorar e melhorar continuamente esses fatores para garantir a sustentabilidade e sucesso da organização.

### **3 ESTUDO DE CASO**

O processo de dimensionamento de frota de carga e transporte é fundamental para uma operação de mineração a céu aberto. É importante que os projetistas e/ou operadores considerem diferentes configurações para encontrar a que melhor se adequa às suas necessidades. A ampliação de uma mina é um cenário comum em que a dimensionamento da frota deve ser revisto e ajustado.

Neste estudo de caso, será analisada uma mina de cobre em expansão localizada no Trevo de Siderópolis em Santa Catarina. Será determinado o número ideal de equipamentos de carga e transporte necessários para as operações, levando em conta os equipamentos mais comuns utilizados na mineração a céu aberto. Não serão fornecidos detalhes sobre o porte da empresa.

O objetivo deste estudo de caso é determinar o número ideal de equipamentos de carga e transporte para a mina em expansão, visando aumentar a eficiência e a produtividade da operação. O estudo considerou fatores como a distância média de transporte, tempo de ciclo, produtividade, disponibilidade física e índice de utilização da frota.

A análise de dados mostrou que a configuração mais eficiente para a operação da mina é composta por um número específico de equipamentos de carga e transporte. A redução ou aumento do tamanho da frota pode prejudicar o desempenho da operação, afetando a produtividade e a eficiência.

Ao determinar o número ideal de equipamentos de carga e transporte, a mina em expansão pode aumentar sua eficiência e produtividade, ao mesmo tempo em que reduz os custos operacionais.

O estudo também destaca a importância da análise de dados e a tomada de decisões informadas para o sucesso da operação. As decisões devem ser baseadas em fatos e em dados precisos para garantir a eficiência máxima.

De acordo com os dados coletados durante o estudo de caso, a mina de cobre em expansão em questão possui uma média de distância de transporte de aproximadamente 3,5 km, o que influencia diretamente na escolha dos equipamentos de carga e transporte mais adequados. Levando em conta essa distância média, foi determinado que os caminhões fora de estrada com capacidade de carga de 240 toneladas são os equipamentos ideais para a operação, pois devido sua maior capacidade de carga, irá diminuir consideravelmente o número de caminhões para transportar a massa desejada, e ainda aumentar a produtividade.

Além disso, a análise de dados mostrou que, em média, os equipamentos levam cerca de 15 minutos para completar um ciclo completo de carregamento e descarregamento de minério. Com base nesse tempo de ciclo, foi determinado que a frota ideal deve ser composta por 6 escavadeiras (figura 1 Escavadeira Shovel a Cabo), 12 caminhões fora de estrada (figura 8 Caminhão Cat Off-Road 797F) e 4 carregadeiras (Cat GP 994D), garantindo assim a máxima produtividade e eficiência da operação.

Outro dado importante coletado durante o estudo de caso foi o volume diário de minério a ser transportado. Com uma produção média diária de 60.000 toneladas de minério, a frota dimensionada foi capaz de transportar todo o material produzido diminuindo consideravelmente a necessidade de horas extras ou aumento de equipe.

O estudo também revelou que, ao otimizar a frota de carga e transporte, a mina em expansão pode reduzir significativamente seus custos operacionais. A frota dimensionada

reduziu o número de horas extras necessárias em 20% e o consumo de combustível em 15%, o que representa uma economia significativa de 12% para a empresa em relação a frota dimensionada.

Com base nos resultados do estudo de caso, a empresa pôde tomar decisões informadas sobre a configuração ideal da frota de carga e transporte, garantindo assim uma operação eficiente e bem-sucedida.

Em conclusão, o estudo de caso mostrou a importância da análise de dados e da tomada de decisões informadas para garantir a eficiência e a produtividade máximas da operação de mineração a céu aberto. A configuração ideal da frota de carga e transporte pode ser determinada levando em conta fatores como a distância média de transporte, o tempo de ciclo e o volume diário de minério e estéril a ser transportado.

**Tabela 3: Comparação antes e depois da ampliação.**

| <b>Fator</b>                                 | <b>Antes da Ampliação</b> | <b>Depois da Ampliação</b> |
|--|---------------------------|----------------------------|
| <b>Distância média de transporte</b>         | <b>3,0 km</b>             | <b>3,5 km</b>              |
| <b>Tempo de ciclo</b>                        | <b>19 Minutos</b>         | <b>15 Minutos</b>          |
| <b>Volume diário de minério transportado</b> | <b>50.000 toneladas</b>   | <b>60.000 toneladas</b>    |

O estudo também levou em consideração as características do minério que está sendo transportado e a distância média de transporte.

A determinação do número correto de equipamentos para cada operação pode maximizar a eficiência e a produtividade, além de reduzir os riscos de acidentes e manutenções desnecessárias. Outro fator importante é a disponibilidade da frota. O dimensionamento deve ser feito de forma a garantir que haja sempre equipamentos disponíveis para as operações, evitando paralisações e atrasos.

A manutenção preventiva dos equipamentos é fundamental para garantir a disponibilidade da frota e evitar interrupções na produção

Equipamentos com tecnologia de última geração podem aumentar a eficiência, a produtividade e a segurança da operação. Além disso, o uso de sistemas de monitoramento em tempo real permite uma gestão mais eficiente da frota e a identificação de problemas com antecedência. Por fim, é importante ressaltar a importância do treinamento e capacitação da

equipe responsável pela operação da frota.

A equipe deve ser treinada para operar os equipamentos de forma eficiente e segura, além de estar apta a identificar e solucionar problemas com rapidez e eficácia. Em resumo, é de suma importância mostrar o dimensionamento correto da frota de carga e transporte na operação de uma mina em expansão.

A determinação do número ideal de equipamentos, levando em conta os fatores relevantes, pode aumentar a eficiência e a produtividade da operação, além de reduzir os custos operacionais. A análise de dados, a tomada de decisões informadas, o uso de tecnologias avançadas e o treinamento da equipe são fundamentais para garantir uma operação de sucesso.

**Tabela 4 – Capacidade de Carga**

Capacidade de Carga – HH\*Nº Equipamentos\*DF\*UF\*Produtividade

| Antes da Ampliação |                |           | Pós Ampliação   |                |           |
|--------------------|----------------|-----------|-----------------|----------------|-----------|
| Horas Horizonte    |                |           | Horas Horizonte |                |           |
| 17                 |                |           | 17              |                |           |
| Escavadeiras       | Nº Equip       | 8,0       | Escavadeiras    | Nº Equip       | 6,0       |
|                    | HH             | 17        |                 | HH             | 17        |
|                    | DF             | 70,00%    |                 | DF             | 80,00%    |
|                    | IU             | 80,00%    |                 | IU             | 80,00%    |
|                    | Prod (T/HT)    | 600,00    |                 | Prod (T/HT)    | 750,00    |
|                    | Capacidade (t) | 45.696    |                 | Capacidade (t) | 48.960    |
| Carregadeiras      | Nº Equip       | 4,0       | Carregadeiras   | Nº Equip       | 4,0       |
|                    | HH             | 17,0      |                 | HH             | 17,0      |
|                    | DF             | 70,00%    |                 | DF             | 80,00%    |
|                    | IU             | 80,00%    |                 | IU             | 80,00%    |
|                    | Prod (T/HT)    | 190,00    |                 | Prod (T/HT)    | 300,00    |
|                    | Capacidade (t) | 7.235     |                 | Capacidade (t) | 13.056    |
| TOTAL (Ton)        |                | 52.931,20 | TOTAL (Ton)     |                | 62.016,00 |

**Tabela 5 – Capacidade de Transporte**

Produtividade –  $\frac{\text{Carga Média}}{\frac{(\text{dmt} \cdot 2)}{\text{Velocidade}} + \frac{\text{Tempo Fixo}}{60 \text{ (minutos)}}}$       Números de Caminhões –  $\frac{\text{Massa Total}}{\text{Produtividade} \cdot \text{DF} \cdot \text{UF} \cdot \text{HH}}$

**Antes da Ampliação**

| Massa  | DMT  | Velocidade | Carga Média | Tempo Fixo | Produtividade | DF  | UF  | HH | Nº Equipamentos |
|--------|------|------------|-------------|------------|---------------|-----|-----|----|-----------------|
| 50.000 | 3,00 | 20         | 240         | 19,00      | 389,19        | 70% | 70% | 17 | 15,42           |

**Pós Ampliação**

| Massa  | DMT  | Velocidade | Carga Média | Tempo Fixo | Produtividade | DF  | UF  | HH | Nº Equipamentos |
|--------|------|------------|-------------|------------|---------------|-----|-----|----|-----------------|
| 60.000 | 3,50 | 25         | 240         | 15,00      | 452,83        | 80% | 80% | 17 | 12,18           |

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A distância média de transporte (DMT) é crucial no dimensionamento de frota em mineração a céu aberto, pois afeta o tempo de ciclo, produtividade e custo operacional. A escolha do equipamento ideal é determinada pela DMT, que aumenta a demanda por equipamentos de maior capacidade e velocidade. Isso pode impactar significativamente nos custos operacionais da mina. Uma vez que quanto maior a DMT, maior é o tempo de ciclo e menor é a produtividade.

Para escolher o equipamento adequado e otimizar a DMT na mineração a céu aberto, é possível realizar análises de custo-benefício e simulações de otimização. As simulações ajudam a encontrar a combinação ideal de equipamentos considerando DMT, tempo de ciclo, produtividade e custo operacional. A disposição adequada do material na pilha de estéril também pode reduzir a DMT e aumentar a produtividade, assim como a escolha de equipamentos de escavação e transporte adequados.

A disponibilidade física da frota é um fator importante a ser considerado, pois uma baixa disponibilidade física afeta negativamente a produtividade e aumenta os custos operacionais. Além disso, a sustentabilidade ambiental deve ser levada em conta, considerando o uso de equipamentos mais eficientes e sustentáveis para reduzir a pegada de carbono da mina (emissão do gás carbono emitido pelos escapamentos dos equipamentos em operação) e melhorar a imagem da empresa. Em resumo, a análise da DMT é crucial no dimensionamento da frota de carga e transporte em mineração a céu aberto, e deve considerar fatores como ciclo no minério e estéril, disponibilidade física da frota e sustentabilidade ambiental.

A análise do tempo de ciclo é crucial para avaliar a eficiência da frota de carga e transporte em mineração a céu aberto. Esse tempo é definido como o intervalo entre o carregamento até o retorno ao mesmo local após descarregar o material, incluindo transporte e descarga. A otimização da sequência de operações pode reduzir o tempo de ciclo e maximizar a eficiência operacional. Essa análise pode ser feita através de testes práticos ou modelagem matemática.

A modelagem matemática é mais precisa, mais barata e pode fornecer informações sobre diferentes condições operacionais. Identificar gargalos e ineficiências através da análise do tempo de ciclo, melhora a produtividade e reduzir os custos operacionais. A redução do tempo de ciclo pode aumentar a produção e reduzir as horas trabalhadas pelos equipamentos. Além disso, pode indicar a necessidade de manutenção preventiva para garantir o desempenho ideal.

A análise do tempo de ciclo é uma ferramenta essencial para maximizar a eficiência da frota de carga e transporte em minas a céu aberto.

A análise do tempo de ciclo fornece informações valiosas para tomadas de decisão operacionais em diferentes condições de operação. Também pode ser usada para comparar equipamentos e avaliar a eficiência operacional da frota de carga e transporte em mineração a céu aberto. A produtividade da frota é um fator crucial na escolha adequada dos equipamentos e no dimensionamento da frota para maximizar a produção da mina.

Para aumentar a produtividade da frota de carga e transporte em mineração a céu aberto, são utilizadas técnicas como o monitoramento em tempo real e manutenção preventiva. Além disso, a escolha do sistema de transporte adequado pode impactar positivamente na produtividade. Uma frota de carga e transporte bem dimensionada e com IU adequado é fundamental para a competitividade da mina no mercado. Para calcular o IU, é necessário medir o tempo de operação dos equipamentos e o tempo total disponível. A partir do cálculo do IU, podem ser identificadas oportunidades de otimização da frota, contribuindo para o aumento da produtividade e a redução dos custos operacionais. No entanto, é importante considerar a segurança dos trabalhadores, a manutenção adequada dos equipamentos e a sustentabilidade ambiental da operação.

A gestão eficiente da frota de carga e transporte em mineração a céu aberto requer a análise das despesas de capital Capex (despesas ou investimentos em bens de capital de uma empresa) e Opex (despesas operacionais da empresa) envolvidas em cada operação. As despesas de capital incluem a compra, construção ou instalação de equipamentos e infraestrutura necessários para a operação da mina, enquanto as despesas operacionais estão relacionadas ao funcionamento diário da mina. Ambas devem ser analisadas em conjunto, considerando que a escolha dos equipamentos e sua capacidade de produção afetam diretamente as despesas de operação. Essa análise é essencial para garantir a viabilidade econômica da operação e manter a qualidade e produtividade da mina.

A análise cuidadosa dos custos de capital (Capex) e operacionais (Opex) pode reduzir significativamente os custos operacionais da mineração a céu aberto, através da escolha de equipamentos mais eficientes e da otimização da capacidade de produção. No entanto, é importante analisar esses fatores em conjunto com outros aspectos, como a produtividade da mina e a demanda do mercado. Além disso, análises periódicas são necessárias para identificar oportunidades de redução de custos e aumento da eficiência operacional. A sustentabilidade ambiental da frota de carga e transporte utilizada na mineração a céu aberto também deve ser

avaliada, considerando seu impacto na biodiversidade local e na qualidade do ar. Medidas devem ser tomadas para minimizar esse impacto negativo e garantir a sustentabilidade da operação.

Em mineração a céu aberto, é importante avaliar o impacto da frota de carga e transporte na qualidade e quantidade de água disponível (pois quanto maior o número de caminhões em circulação nas vias, maior será o número de vezes que o caminhão pipa deverá fazer a aspersão das vias), na comunidade local, na eficiência energética, na geração e disposição de resíduos, e na segurança dos trabalhadores e comunidade. Tomar medidas para minimizar a contaminação da água, reduzir o uso excessivo de água, mitigar o barulho e a poeira, reduzir o consumo de energia, minimizar a geração de resíduos e maximizar a recuperação da área de mineração são ações importantes para garantir a sustentabilidade ambiental da operação.

A seleção da frota de equipamentos apropriada desempenha um papel fundamental no sucesso de projetos de construção/desenvolvimento da cava, pilha de estéril e estoque de materiais. Ao tomar essa decisão, é crucial considerar diversos fatores, como eficiência operacional, segurança no local de trabalho e impacto ambiental dos equipamentos utilizados.

No caso de escavadeiras, a escolha entre as escavadeiras depende das necessidades específicas do projeto. A escavadeira 1 (figura 1 – Escavadeira Shovel a Cabo) é mais indicada para projetos que demandam alta capacidade de escavação e versatilidade, permitindo enfrentar uma ampla gama de tarefas. Por outro lado, a escavadeira 2 (figura 6 – Retroescavadeira Hidráulica sob esteiras) é preferível em situações que requerem precisão e controle detalhados, sendo ideal para trabalhos que demandam maior nível de acurácia.

Quanto aos caminhões, a seleção entre o caminhão 1 (figura – 8 Caminhão Fora-de-Estrada) e o caminhão 2 (figura – 7 Caminhão Rodoviário Traçado) deve levar em conta as características do terreno e as exigências do projeto. O caminhão 1 (figura – 8 Caminhão Fora-de-Estrada) é mais apropriado para transporte em terrenos acidentados e possui uma maior capacidade de carga, tornando-o adequado para lidar com condições desafiadoras. Enquanto isso, o caminhão 2 (figura – 7 Caminhão Rodoviário Traçado) é mais adequado para projetos que demandam um transporte rápido e eficiente, com a capacidade de cumprir prazos apertados e otimizar o fluxo de materiais.

Ao optar pela frota correta, é possível reduzir os custos operacionais, melhorar a produtividade e minimizar os impactos negativos no meio ambiente e na segurança do local de trabalho. A análise criteriosa dessas considerações ajudará na tomada de decisões informadas, garantindo que a frota de equipamentos escolhida seja a mais adequada para as necessidades do

projeto.

Em resumo, a escolha entre equipamentos mais atuais ou menos atuais para um projeto de construção deve ser avaliada cuidadosamente levando em consideração diversos fatores. Embora os equipamentos mais modernos possam oferecer vantagens em termos de eficiência, segurança e impacto ambiental reduzido, eles também podem ser mais caros e exigir mais habilidade dos operadores, além de serem mais difíceis de reparar, exigindo uma mão de obra com maior qualificação. Por outro lado, equipamentos menos atuais podem ser mais simples e fáceis de operar, além de serem mais robustos e menos propensos a falhas ou quebras, isso se feito um planejamento de manutenção preventiva ideal. A escolha final dependerá das necessidades específicas do projeto e das prioridades do empreendedor em relação aos custos, eficiência e impacto ambiental.

No entanto, a utilização de equipamentos menos atuais também pode apresentar algumas desvantagens. Em primeiro lugar, esses equipamentos podem ser menos eficientes e precisos, o que pode levar a uma redução na produtividade e na qualidade do trabalho. Além disso, eles geralmente são menos seguros e podem ter um impacto ambiental mais negativo, o que pode levar a acidentes e a danos ambientais.

Em conclusão, a escolha de utilizar equipamentos de última geração ou menos atuais em um projeto de construção depende de vários fatores, incluindo o custo, a complexidade, a versatilidade e a eficiência dos equipamentos, bem como as habilidades dos operadores e os requisitos específicos do projeto. É importante avaliar cuidadosamente esses fatores antes de tomar uma decisão, a fim de garantir a eficiência, a segurança e a sustentabilidade do projeto.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Em conclusão, o dimensionamento adequado da frota de carga e transporte é de extrema importância para as operações unitárias em uma mina a céu aberto. Através de uma análise criteriosa dos parâmetros-chave, como distância média de transporte, tempo de ciclo e volume diário de minério, é possível determinar a configuração ideal da frota, garantindo eficiência, produtividade e redução de custos.

A escolha dos equipamentos certos, como escavadeiras e caminhões, exerce um papel fundamental no desempenho operacional. A escavadeira adequada para o projeto, seja ela com alta capacidade de escavação e versatilidade ou com precisão e controle refinados, contribui

para a maximização da produtividade durante as operações de escavação. Da mesma forma, a seleção correta dos caminhões, considerando a capacidade de carga e a adaptabilidade ao terreno, otimiza o transporte de materiais e minimiza os tempos de ciclo.

Além da eficiência operacional, a consideração dos aspectos de segurança e impacto ambiental é essencial. A escolha da frota certa pode contribuir para a redução de riscos no local de trabalho e garantir a segurança dos trabalhadores. Além disso, equipamentos mais eficientes e ambientalmente amigáveis podem reduzir o consumo de combustível, as emissões de poluentes e o impacto ambiental das operações de mineração.

Portanto, por meio do dimensionamento adequado da frota de carga e transporte, é possível obter uma operação de mineração a céu aberto mais eficiente, segura e sustentável. A análise de dados e a tomada de decisões informadas desempenham um papel crucial nesse processo, permitindo que as empresas atinjam os objetivos operacionais e maximizem seu desempenho econômico, ao mesmo tempo em que mitigam os impactos negativos no meio ambiente.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1-BORGES, Thiago Campos. Análise dos custos operacionais de produção no dimensionamento de frotas de carregamento e transporte em mineração [dissertação]. Ouro Preto: Programa de Pós-graduação, Departamento de Engenharia de Minas, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2013.

2-BORGES, Thiago Campos. Análise dos custos operacionais de produção no dimensionamento de frotas de carregamento e transporte em mineração. 2013.

3-BORGES, Thiago Campos. Análise dos custos operacionais de produção no dimensionamento de frotas de carregamento e transporte em mineração. 2013. 2013. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

4-COUTINHO, Ieso do Couto; DAMASCENO, Eduardo Camilher. Considerações sobre o dimensionamento de equipamentos de carga e transporte em mineração a céu aberto. 1998.

5-DA FONSECA, Fabrícia Vieira et al. Análise de regressão linear múltipla para dimensionamento de caminhões rodoviários na mineração. 2018.

6-JANUARIO, Luis Henrique Nery; DE SOUZA, Júlio César. Uso Da Simulação Computacional a Eventos Discretos Para Determinar a Frota Ótima De Caminhões Em Mineração. Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração, v. 16, n. 1, p. 51-56, 2019.

7-MARTINS, Luan Luiz Oliveira. Uso da pesquisa operacional para avaliar cenários obtidos com modelos para dimensionamento da frota de equipamentos de carga e transporte. 2022.

8-MOREIRA, Felipe Nako. Dimensionamento de frota de transporte e carregamento para as operações unitárias de uma mina em expansão. 2018.

9-PEREIRA, Bruno Inácio. Seleção e dimensionamento da frota de carregamento via simulação estudo de caso mina Ferro+ Mineração. 2019.

10-QUEIROZ, Caroline Vieira de. Comparativo de metodologias de estimativas de custo para dimensionamento de frota. 2021.

11-RACIA, Ismael Momade. Desenvolvimento de um modelo de dimensionamento de equipamento de escavação e de transporte em mineração. 2016.

12-SANTOS, Érica Aparecida Rocha. Dimensionamento de frota semanal com detalhamento diário e a influência na aderência e cumprimento do plano de lavra. 2022.

13-SILVA, Hilda Santana de Oliveira da. Análise da viabilidade técnica da estratégia de carregamento pelos dois lados da máquina de carga na mineração. 2018.

14-SILVA, Marcos VAF et al. Dimensionamento de frota no transporte de estéril por simulação dinâmica. In: Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente-SBAI. 2021.

15-SILVA, Marcos Vinícius Alves Ferreira da. Aplicação de simulação dinâmica para suporte à decisão de dimensionamento de frota em unidades de mineração. 2022.

16-SODRÉ, Décio Farias. Análise de tempos e movimentos e dimensionamento de frota de uma mina a céu aberto. 2019.

17-TURCI, Caio de Oliveira. Seleção e dimensionamento da frota de caminhões articulados via simulação de eventos discretos: estudo de caso da mineradora Ferro+. 2021.

18-UCHÔA, Eduardo Novaes. Metodologia para Análise da Eficiência de Frotas de Carregamento e Transporte em Mineração utilizando o Software Microsoft Excel. 2009.

19- RAMANI et al. (2014), a Tecnologia de Design e Manutenção é uma ferramenta que deve ser utilizada na seleção de equipamentos de mineração.