



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**  
**ESCOLA DE MINAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE**  
**MINAS**



**TRADE-OFF ENTRE CAMINHÕES FORA DE ESTRADA A**  
**DIESEL E TROLLEY**

**BRUNO NASSER ARANTES**

OURO PRETO  
2021

**BRUNO NASSER ARANTES**

**TRADE-OFF ENTRE CAMINHÕES FORA DE ESTRADA A  
DIESEL E TROLLEY**

Monografia apresentada ao curso de graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para a obtenção de grau de Bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Carlos Enrique Arroyo Ortiz

OURO PRETO  
2021

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

A662t Arantes, Bruno Nasser.  
Trade-off entre caminhões fora de estrada a diesel e trolley.  
[manuscrito] / Bruno Nasser Arantes. - 2022.  
43 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. Carlos Enrique Arroyo Ortiz.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola  
de Minas. Graduação em Engenharia de Minas .

1. Planejamento de lavra. 2. Minas e recursos minerais -  
Carregamento e transporte. 3. Caminhões. I. Ortiz, Carlos Enrique Arroyo.  
II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 622.68

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Bruno Nasser Arantes**

### **Trade-Off entre Caminhões Fora de Estrada a Diesel e Trolley**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas

Aprovada em 31 de outubro

Membros da banca

Dr Carlos Enrique Arroyo Ortiz - Orientador(a) Universidade Federla de Ouro Preto  
M. Sc. Walter Schmidt Felsch Jr - WF Consultoria  
M. Sc. Alcides Eloy Cano Nuñez - UFCAT

Dr Carlos Enrique Arroyo Ortiz, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 31/10/2022



Documento assinado eletronicamente por **Carlos Enrique Arroyo Ortiz, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 31/10/2022, às 11:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0419673** e o código CRC **09CD2908**.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que participaram deste trabalho em todos os momentos de sua elaboração.

De forma especial agradeço:

À minha mãe Fátima do Rosário Nasser Arantes pelo apoio incondicional em todos os momentos.

Ao meu pai Geraldo Antônio Mendes Arantes pelo apoio, incentivo e pela valiosa contribuição técnica em todas etapas deste trabalho.

À minha irmã Alice Nasser Arantes, por estar sempre ao meu lado.

Ao Professor Dr. Carlos Enrique Arroyo Ortiz pela orientação e prontidão em contribuir no desenvolvimento deste trabalho.

À Equipe da Deswik Brasil, pela oportunidade de crescimento profissional e pessoal.

## RESUMO

O presente trabalho aborda um estudo relacionado à utilização de caminhões que utilizam o sistema *Trolley* como fonte alternativa de energia. O estudo consiste em uma apresentação do sistema e de como ele atua para melhorar o desempenho de tais veículos, além de proporcionar redução de consumo de combustível. Foi utilizado o *software Deswik* para auxiliar nas simulações e obter resultados para se realizar análises frente a utilização ou não de tal sistema. Para a simulação, uma mina de cobre fictícia foi escolhida, nela foram traçadas todas as rotas possíveis para que os caminhões levassem o material para a planta, a pilha de estéril ou para o estoque, sendo que para cada um destes destinos foram colocados trechos, com diferentes características, que permitiam a utilização do sistema *Trolley*. Foi utilizado o módulo *Deswik.LHS* para realizar a simulação envolvendo caminhões convencionais a diesel e os caminhões que utilizam o *Trolley*, sendo que para este foram feitas simulações utilizando todas as rotas e simulações utilizando os trechos de forma separada. Após a obtenção dos resultados, foram utilizados planilhas e gráficos para se realizar a análise comparativa e verificar quais seriam as vantagens de se utilizar o sistema *Trolleys* para tal mina.

**Palavras chaves:** *Trolley*; Frota de Caminhões Mineração; Caminhão Convencional a Diesel

## ABSTRACT

The present work approaches a study related to the use of trucks that use the Trolley system as an alternative source of energy. The study consists of a presentation of the system and how it works to improve the performance of such vehicles, in addition to providing a reduction in fuel consumption. was used the Deswik software to assist in the simulations and obtain results to carry out analyzes regarding the use or not of such a system. For the simulation, a fictitious copper mine was chosen, in it all possible routes were traced for the trucks to take the material to the plant, the sterile pile or to the stock, and for each of these destinations, sections were placed, with different characteristics, that allowed the use of the Trolley system . The Deswik.LHS module was used to perform the simulation involving conventional diesel trucks and trucks that use the Trolley, and for this, simulations were made using all routes and simulations using the sections separately. After obtaining the results, spreadsheets and graphs were used to carry out the comparative analysis and verify what would be the advantages of using the Trolleys system for such a mine.

**Keywords:** *Trolle*; Mining Truck Fleet; Conventional Diesel Truck

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - IMAGEM CAMINHÃO CATERPILLAR 795F ELÉTRICO – FONTE – SITE CATERPILLAR.....	14
FIGURA 2 - TRAJETO DOS CAMINHÕES SOMENTE UTILIZANDO DIESEL. ADAPTADO DE MAZUMDAR (P.1, 2011). ....	15
FIGURA 3 - TRAJETO DOS CAMINHÕES COM O AUXÍLIO DE <i>TROLLEYS</i> . ADAPTADO DE MAZUMDAR (P.1, 2011). ....	15
FIGURA 4 - FIGURA ILUSTRATIVA REFERENTE AO <i>DESWIK.LHS</i> .....	18
FIGURA 5 – DESWIK.CAD - IMAGEM DE TOPO MOSTRANDO AS ROTAS DA MINA.....	19
FIGURA 6 - DESWIK.CAD - IMAGEM LATERAL MOSTRANDO AS ROTAS DA MINA .....	19
FIGURA 7 - DESWIK.CAD - IMAGEM MOSTRANDO AS ROTAS, A CAVA E PILHA.....	20
FIGURA 8 - DESWIK.CAD - REPRESENTAÇÃO DAS ROTAS QUE UTILIZARÃO <i>TROLLEYS</i> .....	21
FIGURA 9 - RESULTADOS REFERENTES A CAMINHÕES CONVENCIONAIS.....	24
FIGURA 10 - RESULTADOS REFERENTES A CAMINHÕES <i>TROLLEYS</i> EM TODOS OS TRECHOS.....	25
FIGURA 11 - GRÁFICO COMPARATIVO CONVENCIONAL DIESEL X TODOS <i>TROLLEY</i> – CYCLETIME .....	26
FIGURA 12 - GRÁFICO COMPARATIVO CONVENCIONAL DIESEL X TODOS <i>TROLLEY</i> – MÉDIA VELOCIDADE.....	27
FIGURA 13 - GRÁFICO COMPARATIVO CONVENCIONAL DIESEL X TODOS <i>TROLLEY</i> – CONSUMO TOTAL DIESEL.....	27
FIGURA 14 - GRÁFICO COMPARATIVO CONVENCIONAL DIESEL X TODOS <i>TROLLEY</i> – DIESEL (L/H) .....	28
FIGURA 15 - RESULTADOS REFERENTES A CAMINHÕES <i>TROLLEYS</i> EM TRECHO DENTRO DA CAVA .....	29
FIGURA 16 - RESULTADOS REFERENTES A CAMINHÕES <i>TROLLEYS</i> EM TRECHO DA PILHA DE ESTÉRIL.....	30
FIGURA 17 - RESULTADOS REFERENTES A CAMINHÕES <i>TROLLEYS</i> EM TRECHO PARA PILHA DE ESTOQUE E PLANTA.....	30
FIGURA 18- GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE OS TRECHOS QUE UTILIZAM <i>TROLLEYS</i> – CYCLETIME .....	31
FIGURA 19 - GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE OS TRECHOS QUE UTILIZAM <i>TROLLEYS</i> – CYCLETIME CARREGADO.....	32
FIGURA 20 - GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE OS TRECHOS QUE UTILIZAM <i>TROLLEYS</i> – VELOCIDADE MÉDIA.....	33
FIGURA 21 - GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE OS TRECHOS QUE UTILIZAM <i>TROLLEYS</i> – DIESEL (L/H) .....	33

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – TABELA MOSTRANDO PASSOS REALIZADOS PARA O ESTUDO.....	16
TABELA 2 – INFORMAÇÕES QUE SERÃO ANALISADAS.....	23
TABELA 3 - TABELA COM AS INFORMAÇÕES DE CADA TRECHO QUE UTILIZA <i>TROLLEYS</i> .....	34

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>9</b>
2.1	OBJETIVO GERAL	9
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>11</b>
3.1	CAMINHÕES A DIESEL E <i>TROLLEYS</i>	11
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>16</b>
4.1	DESCRIÇÃO GERAL DOS EXPERIMENTOS	16
4.2	<i>Primeira etapa: Configuração do projeto sem a utilização dos Trolleys.</i>	20
4.3	<i>Segunda etapa: Configuração de projeto com a utilização dos Trolleys.</i>	21
4.4	<i>Terceira etapa: Configuração do projeto usando Trolleys para determinados trechos.</i>	22
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>23</b>
5.1	RESULTADOS PRIMEIRA ETAPA	24
5.2	RESULTADO SEGUNDA ETAPA	25
5.3	RESULTADO TERCEIRA ETAPA	29
5.4	ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE RESULTADO	31
5.5	ANÁLISE PARA ENTENDER OS RESULTADOS	34
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>36</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>38</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Tal trabalho tem por finalidade analisar a relação existente entre a utilização de caminhões fora de estrada movidos à diesel e a utilização dos mesmos caminhões híbridos, onde alternam entre a utilização de energia elétrica e do diesel.

Após longos anos visando somente lucros, as mineradoras modernas apresentam também uma evolução no que se diz respeito aos cuidados com o meio ambiente. Além do aumento do número de leis que visam proteger o meio ambiente, percebe-se um aumento no grau de preocupação das pessoas com a natureza. Pós grandes acidentes envolvendo as barragens que se romperam em Minas Gerais – Fundão em 2015 e Brumadinho em 2019 – as mineradoras estão sendo mais visadas quanto a atitudes que envolvem a proteção do meio ambiente e o que gira em torno de uma mineração sustentável e com maior preocupação ambiental.

No que se diz a respeito aos caminhões, pode-se dizer que o consumo de combustível está entre os maiores custos envolvendo os mesmos, além de uma fatia considerável nos custos totais da operação. Então, a busca por alternativas que busquem baratear tais valores são fruto de frequentes estudos, dentre tais, temos uma modalidade de caminhões híbridos, conhecidos como *Trolleys* que tem ganhado espaço nas minas por todo o mundo, são eles os veículos movidos tanto a diesel como a energia elétrica.

Neste presente estudo será abordada uma análise envolvendo os custos de se utilizar caminhões somente movidos a diesel, além da avaliação dos impactos ambientais existentes em tais veículos. Será realizada uma análise frente aos custos, impactos e desafios de se utilizar caminhões híbridos. Após tais análises, serão realizadas comparações entre ambos, a fim de explicar e exemplificar melhor o porquê dos *Trolleys* tenderem a ganhar mais espaço nas mineradoras. Além disso, será utilizado o *software Deswik*, onde através de um base de dados e um módulo responsável por simulações relacionadas à frota, chamado *Deswik.LHS*, serão realizadas simulações envolvendo a utilização de caminhões à diesel e *Trolleys* em determinados trechos de uma mina fictícia.

A indústria de mineração é vista como um local onde sempre ocorrem melhorias e onde os avanços tecnológicos tendem a chegar primeiro, tal busca por tais tecnologias tem por objetivo com que o seu equipamento possua a maior vida útil possível aliado à maior taxa de produção possível minimizando os custos e deixando toda a produção o mais barata possível.

## 2 OBJETIVO

### 2.1 Objetivo Geral

O objetivo central deste trabalho será o estudo de caminhões que utilizam *Trolleys*, são equipamentos que utilizam tanto do diesel quanto a energia elétrica para se locomoverem. Para o trabalho serão buscadas por informações relacionadas à utilização dos caminhões tradicionais movidos à diesel, realizar uma análise comparativa entre estes e os equipamentos que utilizam *Trolleys*. O estudo buscará entender as vantagens e desvantagens da utilização deste tipo de veículos, além de mostrar se realmente existe ganhos ambientais na utilização deles.

Tal estudo será realizado utilizando informações coletadas dos fabricantes de tais caminhões, oriundas de artigos, estudos encontrados na internet e utilizadas pelas indústrias, além da utilização do *software Deswik.LHS* que será responsável por realizar simulações envolvendo a utilização de caminhões movidos à diesel e caminhões do tipo *Trolleys*.

### 2.2 Objetivos específicos

Através do *software Deswik.LHS*, serão realizadas simulações onde serão conhecidos custos e impactos causados pela utilização ou não dos caminhões com *Trolleys*. O intuito é gerar dados e através destes dados analisar se será vantajoso utilizar tal modelo de transporte de carga ou não. Para tal estudo serão realizadas 3 etapas de testes descritas abaixo.

- Etapa 1: Serão utilizados somente caminhões que utilizam diesel.
- Etapa 2: Serão utilizados caminhões híbridos, que utilização tanto o diesel como o sistema *Trolley* como fonte de energia. Os *Trolleys* estarão instalados em 3 trechos específicos,
  - Trecho 1: Rota interna da fase 4 do empreendimento.
  - Trecho 2: Rota que levará até a pilha de estéril.
  - Trecho 3: Rota que levará do exterior da cava até a planta e à pilha de estéril.

Imagem ilustrativa representando tais trechos encontra-se no tópico 4.3 (Segunda etapa), figura 8.

- Etapa 3: Serão realizados testes envolvendo os trechos acima citados de forma separada, a fim de identificar quais trechos oferecem melhores resultados.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A mineração é uma indústria de base que movimenta alto volume de material, seja ele material estéril (que não possui valor econômico) ou minério (possui valor econômico). Tal movimentação se faz devido ao fato de que é necessário processar a rocha e/ou solo para se obter o material desejado para inúmeros fins. Para se transportar tais matérias existem algumas formas, mas, a mais utilizada, são os caminhões convencionais que utilizam diesel como fonte de energética, sendo que, segundo Quevedo (2009) tais veículos partem do ponto de carregamento para o local de basculamento, repetindo esse mesmo trajeto inúmeras vezes, sendo que neste trajeto possuem alguns pontos que são vistos como gargalos para a produção, a troca de operador, o tempo de espera para carregamento, o tempo de descarregamento, o tempo de manobra, tais pontos são muito importantes para se otimizar o processo. Além do caminhão citado anteriormente, existem outras opções para transporte de material, são elas: caminhões elétricos, caminhões híbridos, correias transportadoras, entre outros. Sendo que tais equipamentos podem ser utilizados de maneira conjunta a fim de otimizar o processo de lavra. Segundo o Quevedo (2009) para se realizar a escolha dos equipamentos que irão atender a necessidade da mina, além de realizar a avaliação dos fatores citados acima, é necessário também, a realização do plano de lavra de longo, visto que a partir daí será possível planejar aquisição dos equipamentos, tanto dos caminhões para transporte de material quanto dos demais que serão utilizados (escavadeiras, carregadeiras, tratores e outros tipos de caminhões).

#### 3.1 Caminhões a diesel e *Trolleys*

O grande desejo pela utilização de *Trolleys* se dá a dois principais motivos, a redução dos custos elevados na utilização do diesel aliada à jornada em busca de uma mineração mais sustentável e livre da utilização de combustíveis fósseis, que são vistos como grandes vilões para o meio ambiente, uma vez que os caminhões elétricos irão gerar uma diminuição substancial nas emissões de CO<sub>2</sub> e em busca de equipamentos de carga que entreguem maior eficiência na execução das demandas. Além dessas

vantagens, segundo Khazin e Tarasov (p.9, 2018) alguns tipos de caminhões do tipo *trolley* podem recuperar a energia cinética que é gerada a partir das frenagens e utilizá-la para se locomover em aclives. Isso deve-se à possibilidade que permite mudar a direção do fluxo de energia, permitindo realizar a armazenagem dela.

Como apresentado por Khazin e Tarasov (p.9, 2018) a utilização de caminhões que possuem a capacidade de se utilizar a energia elétrica traz grandes benefícios para a produção. A partir dessa tecnologia os caminhões recebem determinada potência extra, o que faz com eles possam atingir velocidades mais elevadas em determinados trechos, além de que irá ocorrer uma economia significativa de diesel, visto que os caminhões poderão trafegar com marchas onde o consumo de diesel será menor, já que a maioria da energia necessária para se deslocar por tal trecho será proveniente da eletricidade.

Para se utilizar um caminhão que seja híbrido e possua a sua potência oriunda tanto de diesel como de energia elétrica é necessário realizar uma avaliação profunda nas condições disponíveis nos trechos da mina onde tais veículos serão utilizados. Segundo o Khazin e Tarasov (p.9, 2018) deve-se ficar atento às condições de estabilidade mecânica dos acessos e ter uma avaliação dos custos de instalação e manutenção dos sistemas de redes. Para se utilizar os *trolleys* são necessários sistemas de redes de contacto, subestações, postes de linhas de alta tensão, coletor de corrente presente nos caminhões, ou seja, toda uma equipe que não existia, que irá trabalhar voltada para que tal operação ocorra da melhor maneira possível. A necessidade de se possuir uma rede de energia é visto como o ponto complicador uma vez que é necessário a instalação de postes com redes fixas, sendo preciso realizar um estudo profundo sobre os melhores pontos ao qual se deve instalar tal infraestrutura, avaliar por quanto tempo aquele acesso estará disponível, uma vez que as rotas são constantemente modificadas para adequar ao plano de lavra da mina. Ou seja, devem ser acessos em que sua utilização deve ser mais prolongada, além de estarem em boas condições.

A utilização de caminhões que utilizam o moderno sistema de *trolleys*, segundo Mazumdar (p.1, 2011) traz significativos ganhos à produção da mina, além de que deixa aberta a possibilidade de se avaliar a possibilidade na redução da frota da mesma, o que poderá trazer grande economia para o empreendimento. Tais caminhões ainda poderão alcançar partes mais profundas da mina, visto que quando utilizam o sistema de *trolleys*

são capazes de superar aclives com inclinações maiores, além de aumento no ciclo de vida e a grande economia de combustível.

De um modo geral, a utilização de caminhões que utilizam *trolleys* como complemento para a sua fonte de energia, segundo o Khazin e Tarasov (p.9, 2019) o consumo de diesel, no trecho onde possuem os *trolleys*, é cerca de 50% a 60% menor, uma redução significativa que pode acarretar até 2 vezes menos emissões de gases nocivos à atmosfera, além de redução de cerca de 20% dos custos operacionais dos caminhões basculantes que tem como fonte principal de energia o diesel.

Como referência no mercado de produção de máquinas pesadas voltadas para a mineração, a Catterpillar, empresa norte-americana, que é uma das maiores e mais inovadores do mercado iniciou em 2020 a comercialização de caminhões que possuem sistema elétrico auxiliar, segundo informações do Lucas Duarte (2020) para a revista Caminhões e Carretas, tal tecnologia já havia sido lançada para o modelo 795f e será lançada para outros modelos da marca. A partir de uma rede a energia é transmitida ao caminhão para então ajudar tal equipamento a ter maior velocidade média, em trechos de aclive testados, houve ganho de 100% na velocidade média, visto modelos convencionais com redução de custos em cerca de 90%.

Abaixo a foto do caminhão 795F equipado com um coletor de energia pantógrafo, que são sistemas para transferência de energia, em uma subida, trecho no qual se utiliza a energia elétrica para se obter significativos ganhos na eficiência.



Figura 1 - Imagem caminhão Caterpillar 795F elétrico – Fonte – Site Catterpillar

No cotidiano da mina, em geral, os caminhões descem em busca do material vazios, então, no caminho de volta, sobre as rampas carregados, isso faz com que eles tenham que utilizar maior quantidade de diesel para se deslocar pelas subidas, local de maior dificuldade. Visto isso, a utilização dos *trolleys* é mais utilizada nestes trechos, conforme demonstrado nas figuras abaixo retiradas do artigo de Mazumdar (p.1, 2011). Na primeira figura, é retratado o trajeto sem a utilização dos *trolleys*, já no segundo, temos demonstrado a utilização do *trolleys* nos trechos de subida, o que faz com que ocorra menor gasto de combustível, além do aumento da força do equipamento, fazendo-o aumentar a velocidade média.

Nas duas imagens abaixo é possível entender como é a utilização do sistema *Trolley* por um caminhão. O caminhão é híbrido, ele não deixa de utilizar o diesel como combustível, ele utiliza a energia elétrica em determinados trechos. Abaixo, a representação do mesmo trajeto, porém um onde se utiliza redes de eletricidade como fonte de energia alternativa para os caminhões no trecho onde existe um aclave.

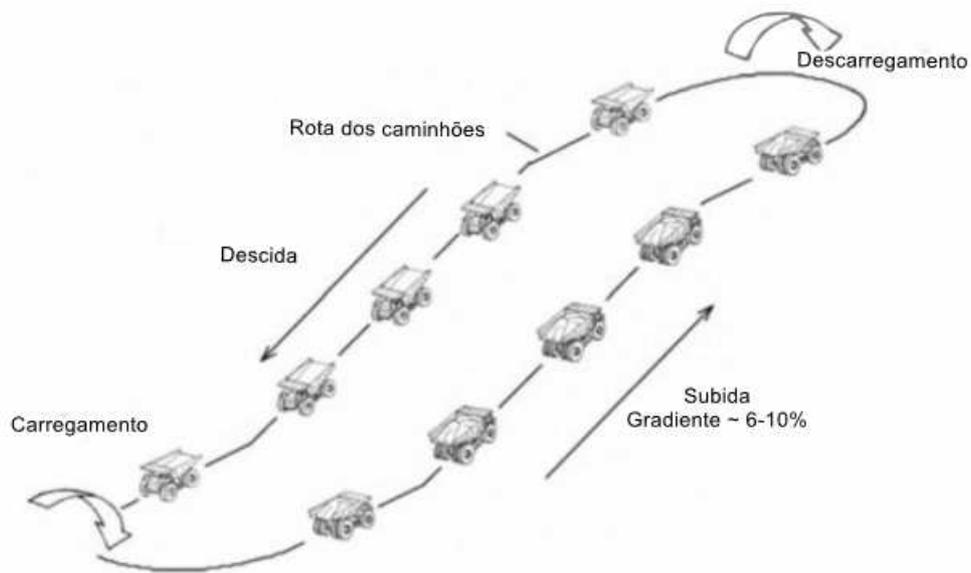


Figura 2 - Trajeto dos caminhões somente utilizando diesel. Adaptado de Mazumdar (p.1, 2011).

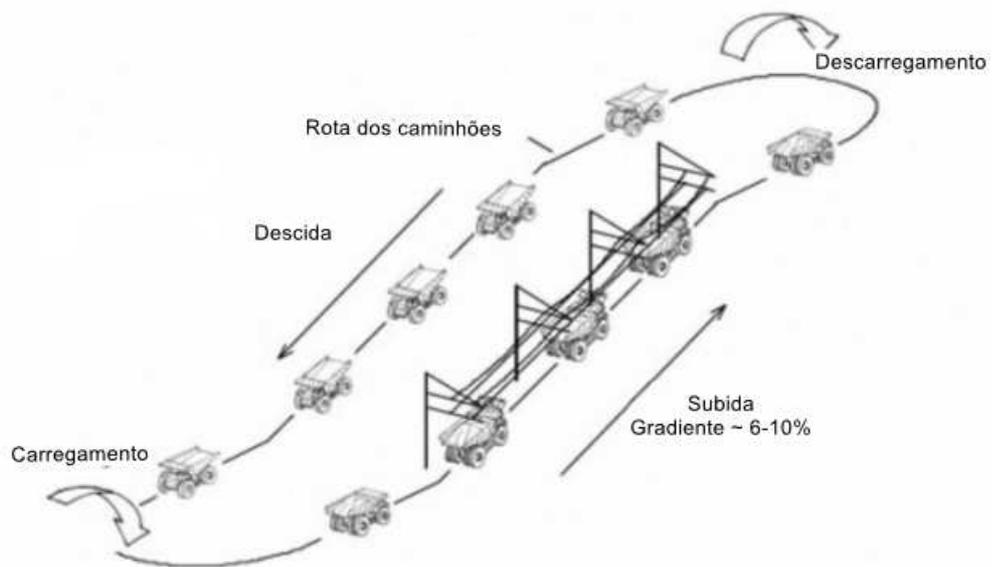


Figura 3 - Trajeto dos caminhões com o auxílio de *trolleys*. Adaptado de Mazumdar (p.1, 2011).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para os testes, serão seguidas as etapas seguintes descritas na tabela abaixo e explicitados nos tópicos seguintes.

1	Utilização de um projeto hipotético base previamente configurado no software <i>Deswik.CAD</i> .
2	Utilização do módulo <i>Deswik.LHS</i> para fornecer informações relacionadas ao deslocamento de caminhões.
3	Seleção dos trechos para utilização do <i>Trolley</i> .
4	Seleção do caminhão – Komatsu 940E-4
5	Realização da simulação utilizando caminhões convencionais a diesel.
6	Realização da simulação utilizando caminhões híbridos movidos a diesel e que utilizam o sistema <i>Trolley</i> em todos os três trechos pré-definidos de maneira conjunta.
7	Realização da simulação utilizando caminhões híbridos movidos a diesel e que utilizam o sistema <i>Trolley</i> em todos os três trechos pré-definidos de maneira separada.
8	Análise e comparação entre os resultados obtidos.

Tabela 1 – Tabela mostrando passos realizados para o estudo

### 4.1 Descrição geral dos experimentos

Para se realizar os testes utilizando os caminhões que utilizam *Trolleys* e os que não utilizam tal sistema foi utilizado o *Software Deswik*. O módulo *Deswik.CAD* é responsável pela modelagem visual das informações existentes em um projeto de

mineração, além de outras várias funcionalidades que não serão utilizadas para desenvolver os testes a seguir. Para os testes, foi utilizado um projeto hipotético que é utilizado para testes e treinamentos, foram criados dentro do software sólidos que serão lavrados, figuras representativas da pilha de estéril, dos estoques e das plantas e foram desenhadas as rotas, através de linhas, por onde os caminhões se locomovem. Após tais informações serem adicionadas ao projeto, se utilizou outros módulos chamados *Deswik.SCHED* e *Deswik.Blend* para se realizar o sequenciamento e a blendagem dos sólidos que serão lavrados (não irei especificar com maiores detalhes como é feito tal processo, visto que não é o objetivo do estudo).

O principal módulo do estudo é o *Deswik.LHS (Landform and Haulage)*, ele utiliza as informações imputadas anteriormente pelos outros módulos para fazer análises referentes à movimentação de materiais e gerar informações quanto ao deslocamento dos caminhões utilizados para o transporte de materiais. Através dele é possível gerar cenários adotando diferentes estratégias (seja buscando minimizar ou maximizar distâncias percorridas, tempo de ciclo, elevações, podendo combinar mais de uma opção) e através destes cenários, avaliar as informações geradas através dos dados reportados, que irão gerar informações contendo o tempo de ciclo, a distância percorrida para levar determinado material para o seu destino (planta, estoque ou pilha de estéril), consumo, entre outras informações.

Dentro do *Deswik.LHS* utilizaremos cenários onde serão realizados estudos em um mesmo trecho, porém usando caminhões que utilizam *Trolleys* e os mesmos caminhões sem a utilização de tal sistema. O objetivo do estudo é avaliar os resultados e analisar as diferenças para descobrir qual dos dois modos será o mais vantajoso para determinado trecho.

Layout da aba Scenarios do *Deswik.LHS*.

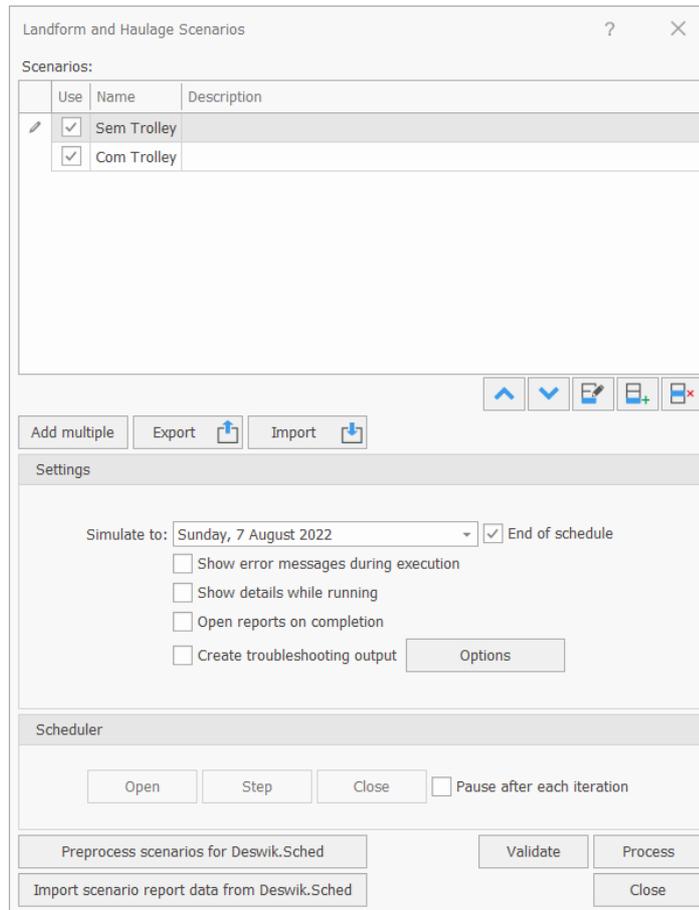


Figura 4 - Figura ilustrativa referente ao *Deswik.LHS*

O estudo foi realizado utilizando caminhões Komatsu 940E-4 movidos à diesel. Tais caminhões foram configurados utilizando premissas contidas nos catálogos encontrados no site da Komatsu . Segundo o catalogo Komatsu, o caminhão fora de estrada é considerado como um dos veículos terrestres que possui maior capacidade de carga do mundo, vazio ele pesa aproximadamente 210.000kg (Duzentos de dez mil quilos) e carregado, pesa aproximadamente 502.000kg (Quinhentos e dois mil quilos) totalizando, aproximadamente, 300.000kg (trezentos mil quilos) de capacidade para transporte de carga.

A mina onde se está se realizando o teste conta com 4 fases para a operação de extração do mineral cobre, sendo que em cada uma dessas fases existem rotas internas, rotas externas e rotas de destino

Nas imagens abaixo, representadas as rotas existentes no projeto. Em vermelho, são as rotas internas, são aquelas rotas que mostram os caminhos a serem percorridos pelos caminhões dentro da cava; em verde, as rotas externas, são aquelas rotas que irão demonstrar o caminho que os caminhões percorrem fora da cava; em rosa, as rotas de destino, são aquelas rotas em que os caminhões terão de fazer para chegar aos destinos dos materiais.



Figura 5 – Deswik.CAD - Imagem de topo mostrando as rotas da mina

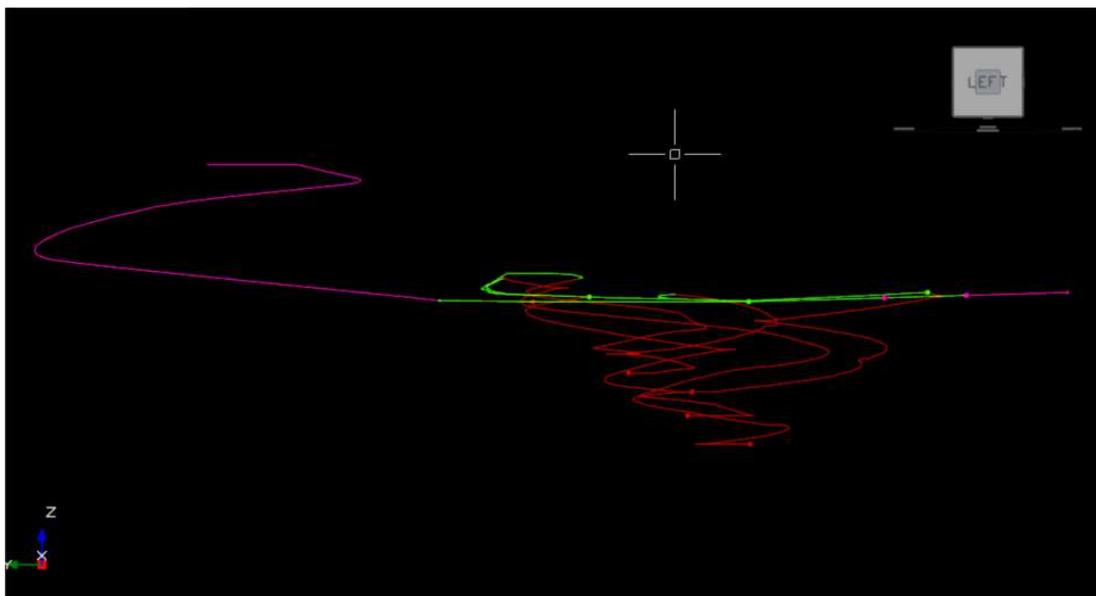


Figura 6 - Deswik.CAD - Imagem lateral mostrando as rotas da mina

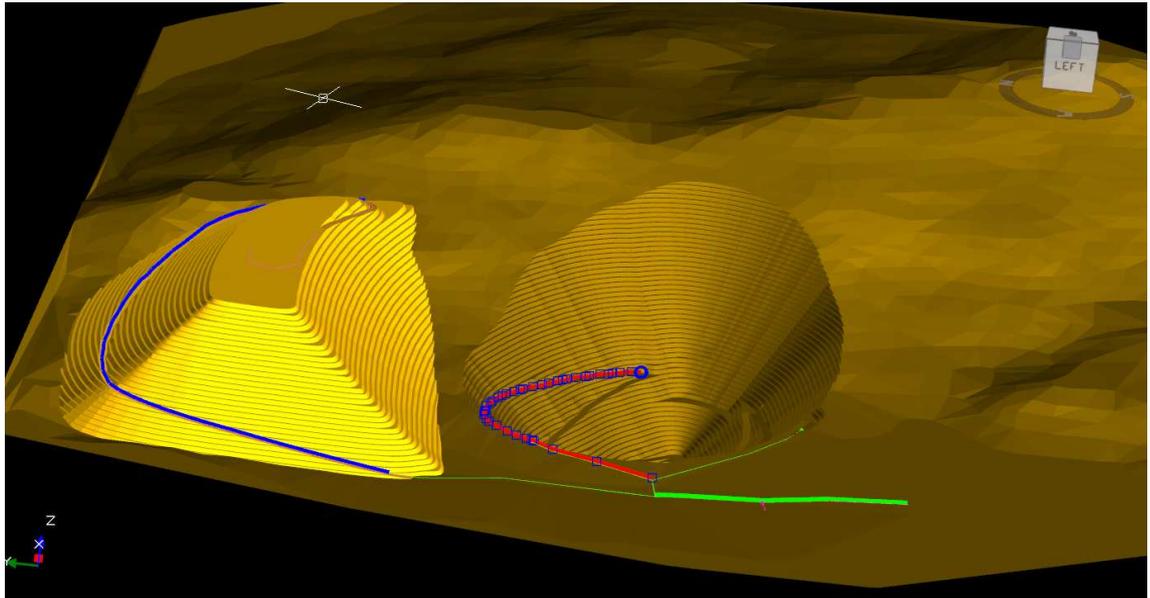


Figura 7 - Deswik.CAD - Imagem mostrando as rotas, a cava e pilha

Como configuração geral para a execução do *Deswik.LHS* são utilizadas as rotas dos equipamentos que foram criadas, são criados conectores entre essas rotas e os sólidos de lavra e da pilha de estéril, utilizado o arquivo *Deswik.Sched* que contém informações relacionadas ao sequenciamento, arquivo *Deswik.Sched* onde são imputadas informações relacionadas à dependência da pilha de estéril, informações relacionadas aos pontos das rotas que contém *Trolleys*, premissas relacionadas aos caminhões e suas respectivas destinações (Tais informações não serão abordadas mais a fundo, visto não se tratarem do objetivo do estudo, foram colocadas aqui como informativo do funcionamento do modulo.)

#### 4.2 Primeira etapa: Configuração do projeto sem a utilização dos *Trolleys*.

Para análise dos caminhões que não são movidos apenas por diesel, foi utilizado a configuração básica do módulo *Deswik.LHS*. Nessa configuração, utilizou-se o caminhão Komatsu 930E-4 convencional.

O objetivo dessa etapa é avaliar como se comportará os caminhões tradicionais na mina em estudo. Será visto a soma dos tempos de ciclo cheio de vazio e a média deles, além da avaliação do consumo de combustível.

#### 4.3 Segunda etapa: Configuração de projeto com a utilização dos Trolleys.

Para se configurar um projeto que contém equipamentos que utilizam as redes de *Trolley* é necessário informar onde serão os trechos que serão colocados tais equipamentos.

Na imagem abaixo, são representados os locais onde serão adicionados equipamentos que utilizam *Trolleys*. Em azul, a rota que levará à pilha de estéril; Em vermelho, rota da fase 4 do empreendimento; Em verde, rota externa que irá até a pilha de estoque à planta.

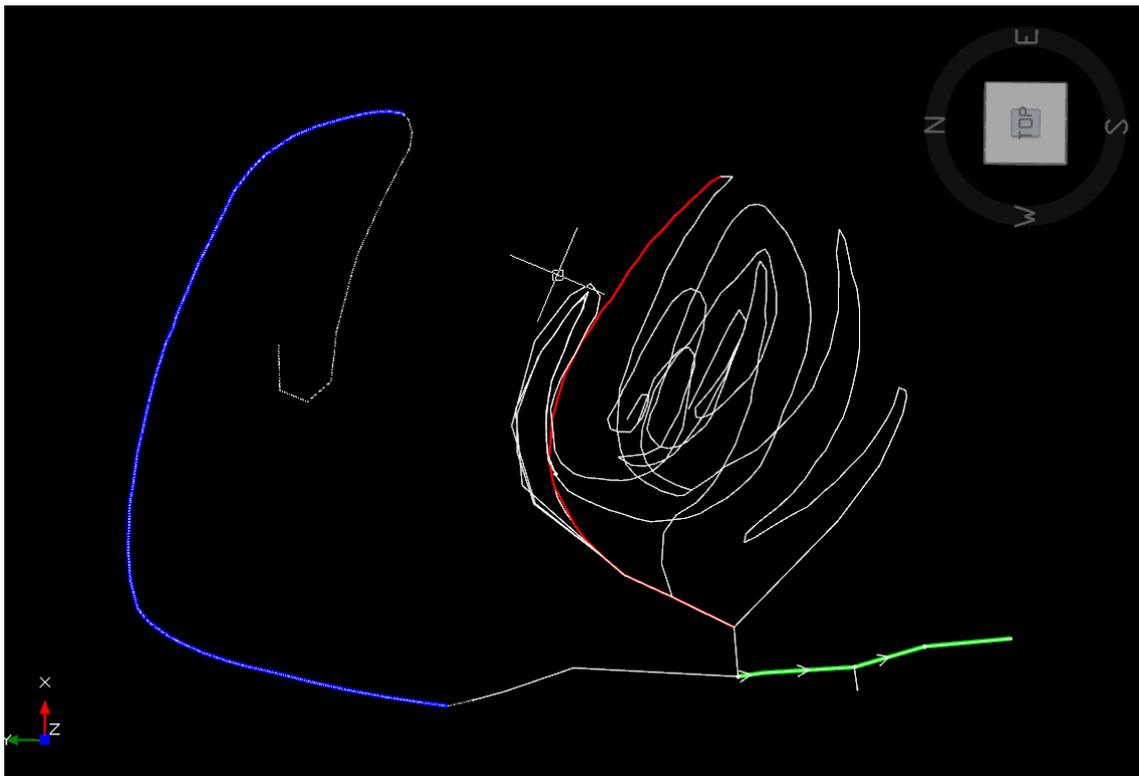


Figura 8 - Deswik.CAD - Representação das rotas que utilizarão *Trolleys*.

**4.4 Terceira etapa:** Configuração do projeto usando *Trolleys* para determinados trechos.

Para essa etapa, serão realizados testes com cada uma das rotas específicas dos *Trolleys* de maneira separada, com intuito de identificar quais são as rotas que apresentam maiores vantagens quanto à utilização de tal equipamento.

Serão realizados testes com:

- *Trolley* interno da mina (linha em vermelho)
- *Trolley* da pilha de estéril (linha em azul)
- *Trolley* da planta (linha em verde)

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o estudo dos sistemas *Trolleys*, onde foi possível obter determinado conhecimento sobre a maneira como ele é utilizado e quais são as suas principais vantagens e desvantagens, aliado à utilização do software *Deswik*, que através do módulo *Deswik.LHS* foi responsável por apresentar uma simulação de como seria a utilização de tais caminhões em determinados trechos da mina.

São geradas inúmeras informações após a execução da simulação a partir de tal módulo, porém, serão analisadas as informações relacionadas aos seguintes relatórios gerados:

Informação em Inglês	Informação em Português
<i>Cycle Time</i>	tempo de ciclo
<i>Cycle time loaded</i>	tempo de ciclo carregado
<i>Cycle time unloaded</i>	tempo de ciclo descarregado
<i>Fuel algorithm per cycle</i>	algoritmo de combustível por ciclo
<i>Fuel algorithm</i>	algoritmo de combustível total
<i>Fuel algorithm loaded</i>	algoritmo de combustível do caminhão carregado
<i>Fuel algorithm unloaded</i>	algoritmo de combustível do caminhão descarregado

Tabela 2 – Informações que serão analisadas

As informações são geradas a partir de planilhas do *Excel*, tais planilhas serão tratadas para que seja possível chegar aos resultados nas colunas do relatório citadas acima, para se realizar a análise envolvendo a utilização ou não de caminhões que utilizam *Trolleys*.

A partir de tal conteúdo foram obtidas as seguintes conclusões. Nas tabelas geradas contendo o conteúdo, as colunas com as informações são divididas por ano, representando o ano do empreendimento, indo do ano 1 até o ano 10.

## 5.1 Resultados primeira etapa

Após configurar o projeto para que ele fosse executado contando com a utilização de caminhões convencionais, movidos à diesel, executou-se o módulo Deswik.LHS onde foram obtidas as seguintes informações.

SOURCE MATERIAL		MINA		Caminhões convencionais - Diesel										
DESTINATION MATERIAL		(Tudo)												
		Rótulos de Coluna												
Valores	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total Geral			
Média de CYCLETIME	26.89	26.62	27.30	27.76	29.50	32.72	33.20	36.46	38.50	42.52	32.21			
Média de CYCLETIME LOADED	19.55	19.77	20.67	21.27	22.70	25.03	25.40	27.79	29.45	32.45	24.45			
Média de CYCLETIME UNLOADED	7.35	6.85	6.64	6.48	6.80	7.69	7.80	8.67	9.05	10.08	7.76			
Média de AVG SPEED (km/h)	28.22	27.06	25.33	24.47	23.03	22.00	22.16	21.20	20.27	19.62	23.35			
Média de TOTAL DISTANCE (km)	7.55	7.11	6.90	6.81	7.08	7.98	8.13	8.97	9.26	10.26	8.03			
Média de FUEL ALGORITHM1 PER CYCLE	81.14	83.13	91.51	96.50	110.26	131.93	135.93	158.79	174.83	203.70	127.16			
Soma de FUEL ALGORITHM1	9,901,461	13,195,536	14,133,869	14,495,059	17,352,960	21,337,310	21,014,548	24,147,078	27,704,568	32,755,534	196,037,923			
Soma de DIESEL (L/h)	183	190	201	206	226	245	249	263	275	291	240			

Figura 9 - Resultados referentes a caminhões convencionais

Os resultados apresentados acima mostram as informações que serão utilizadas como base para o estudo, visto que utilizam caminhões convencionais, movido à diesel. Tais veículos foram escolhidos para o estudo uma vez que grande maioria das mineradoras do mundo o utilizam como principal maneira de transporte de material.

Com base nos resultados acima, serão realizadas comparações a fim de entender quais seriam os benefícios de se utilizar caminhões que utilizam *Trolleys* em projetos de mineração. Para a seguinte análise serão levadas em conta tempos de ciclo, média de velocidade, distância média de transporte, consumo de combustível.

No cenário mostrado acima, obteve-se como resultado uma média de tempo de ciclo de 32.21 minutos. Para o caminhão carregado, o tempo de ciclo médio é de 24.45 minutos e para o caminhão vazio o tempo médio é de 7.76 minutos. Tal tempo é contabilizado em uma distância média de 8.08 km. Tendo como velocidade média 23.35 km/h. Quanto ao consumo, foi gasto em média 127.16 litros de diesel por ciclo, totalizando 196 037 923 litros durante toda a operação, com média de 240 litros por hora sendo gastos.

## 5.2 Resultado segunda etapa

A segunda etapa do estudo fará uma análise envolvendo a utilização de *Trolleys* em todos os trechos onde ele existirá, conforme no tópico 4.3, será a rota que levará até a pilha de estéril, a rota que irá até o estoque e planta e a rota interna da fase 4.

Essa etapa tem por objetivo analisar quais seriam os efeitos caso os caminhões que utilizam *Trolleys* fossem utilizados em diferentes trajetos da mina, sendo utilizados durante quase toda a vida útil do empreendimento.

Como resultado, é esperado que ocorra a diminuição no tempo de ciclo do caminhão quando carregado, visto que o *Trolley* possui como objetivo aumentar a velocidade de tais equipamentos em trechos de aclave, que, geralmente são os trechos onde o caminhão se encontra carregado e como consequência um aumento na velocidade média. Outro ponto importante em que se é esperado resultados expressivos é quanto ao consumo de diesel, uma vez que o caminhão, em determinados trechos, passará a utilizar energia elétrica para alimentar o motor, logo, é esperado que ocorra redução no consumo de combustível por ciclo, consumo total de combustível e na média de litros gastos por hora.

SOURCE MATERIAL		Caminhões <i>Trolleys</i> - Todos os trechos									
DESTINATION MATERIAL											
Rótulos de Coluna											
Valores	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total Geral
Média de CYCLETIME	26.91	26.58	27.04	27.27	28.78	31.68	31.73	34.42	35.95	39.36	31.02
Média de CYCLETIME LOADED	19.56	19.73	20.40	20.78	21.98	23.99	23.93	25.75	26.90	29.28	23.26
Média de CYCLETIME UNLOADED	7.35	6.85	6.64	6.48	6.80	7.69	7.80	8.67	9.05	10.08	7.76
Média de AVG SPEED (km/h)	28.17	27.10	25.75	25.21	23.85	23.00	23.79	23.21	22.56	21.78	24.45
Média de TOTAL DISTANCE (km)	7.55	7.11	6.90	6.81	7.08	7.98	8.13	8.97	9.26	10.26	8.03
Média de FUEL ALGORITHM1 PER CYCLE	74.32	69.28	71.69	72.38	81.98	97.48	92.78	104.08	109.98	126.30	90.27
Soma de FUEL ALGORITHM1	9,076,019	11,021,261	11,028,510	10,587,549	12,512,230	15,399,276	13,761,072	15,276,100	17,293,714	19,612,907	135,568,638
Soma de DIESEL (L/h)	167	159	159	154	168	184	172	178	184	190	173

Figura 10 - Resultados referentes a caminhões *Trolleys* em todos os trechos

No estudo, teve-se como resultado uma média de tempo de ciclo de 31.02 minutos. Para o caminhão carregado, o tempo de ciclo médio é de 23.26 minutos e para o caminhão vazio o tempo médio é de 7.76 minutos. Tal tempo é contabilizado em uma distância média de 8.03 km. Tendo como velocidade média 23.45 km/h. Quanto ao

consumo, foi gasto em média 90.27 litros de diesel por ciclo, totalizando 135 568 638 litros durante toda a operação, com média de 173 litros por hora sendo gastos.

Como forma de melhor analisar os resultados gerados a partir do teste feito com os caminhões que utilizam os *Trolleys*, serão utilizados gráficos comparando os resultados com os do caminhão convencional (movido à diesel).

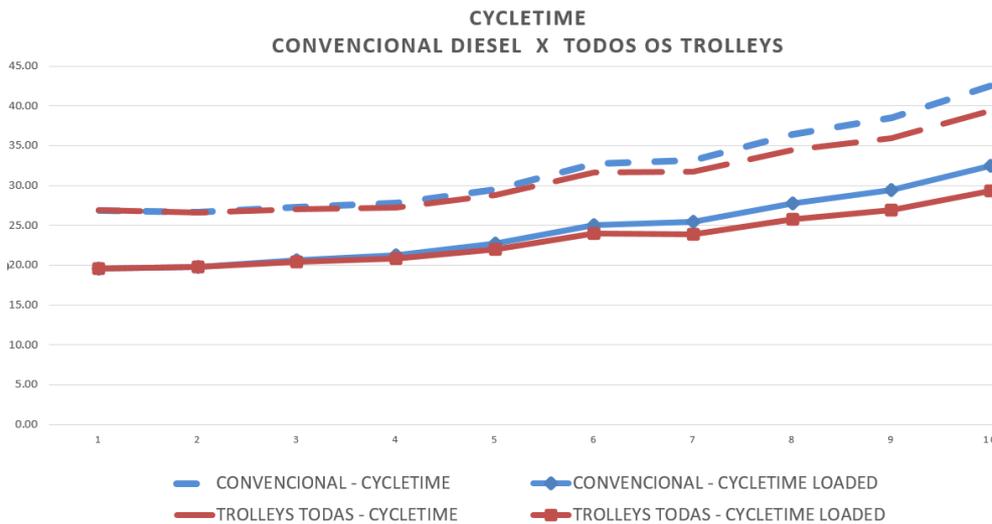


Figura 11 - Gráfico comparativo convencional diesel X Todos *Trolley* – Cycletime

A partir do gráfico (Cycletime x Anos) acima é possível perceber que houve certa redução nos tempos de ciclo em praticamente todos os períodos de lavra. Tal redução deve-se ao fato de que com a utilização do *Trolley* os caminhões conseguem manter uma velocidade média maior do que sem a sua utilização principalmente em trechos em aclave. Logo, é possível perceber que houve melhorias no quesito tempo.

Abaixo, uma análise comparativa envolvendo a velocidade média dos caminhões.

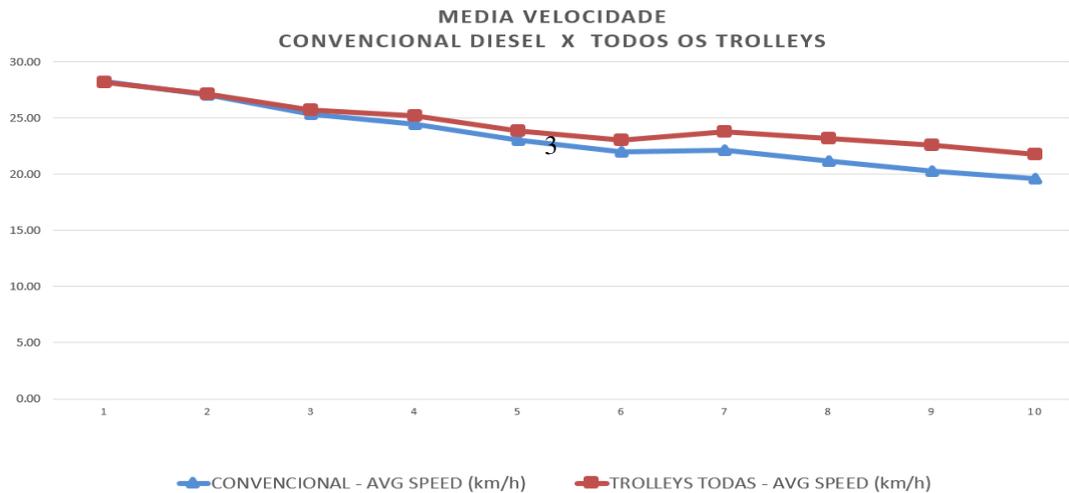


Figura 12 - Gráfico comparativo convencional diesel X Todos Trolley – média velocidade

A partir do gráfico acima fica mais evidente o porquê da diminuição do tempo de ciclo, deve-se ao fato de que a média de velocidade em km por hora dos caminhões que utilizam *Trolleys* é maior do que os caminhões convencionais.

Abaixo, uma análise comparativa envolvendo a o consumo total de diesel dos caminhões.

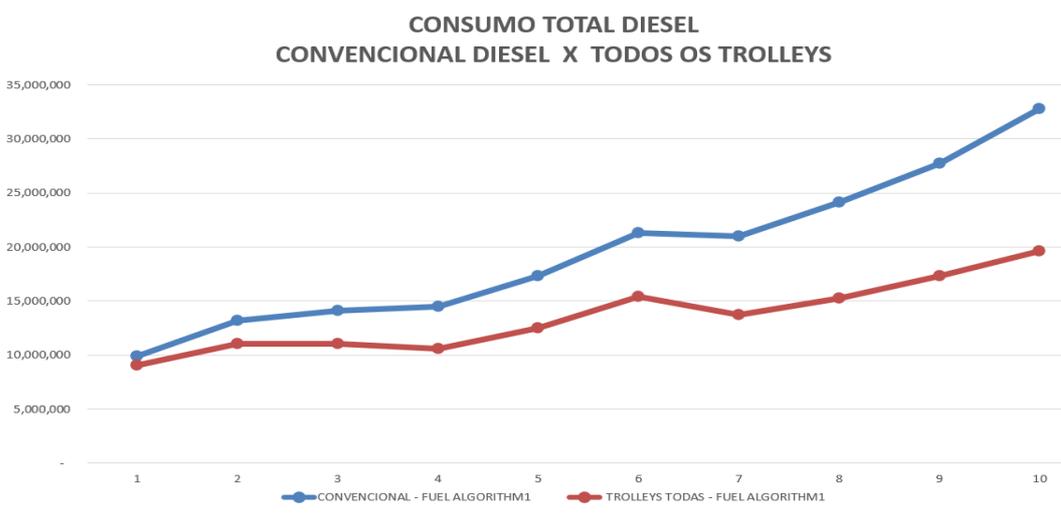


Figura 13 - Gráfico comparativo convencional diesel X Todos Trolley – Consumo total diesel

No gráfico acima fica evidente como o consumo de diesel por parte dos caminhões que não utilizam a eletricidade como fonte alternativa de energia é maior do que aqueles que utilizam os *Trolleys*. Com um consumo menor de diesel é possível ter um menor custo, consequentemente o *OPEX (Operational Expenditure)* é reduzido.

Abaixo, uma análise comparativa envolvendo a o consumo de litros de diesel por hora dos caminhões.

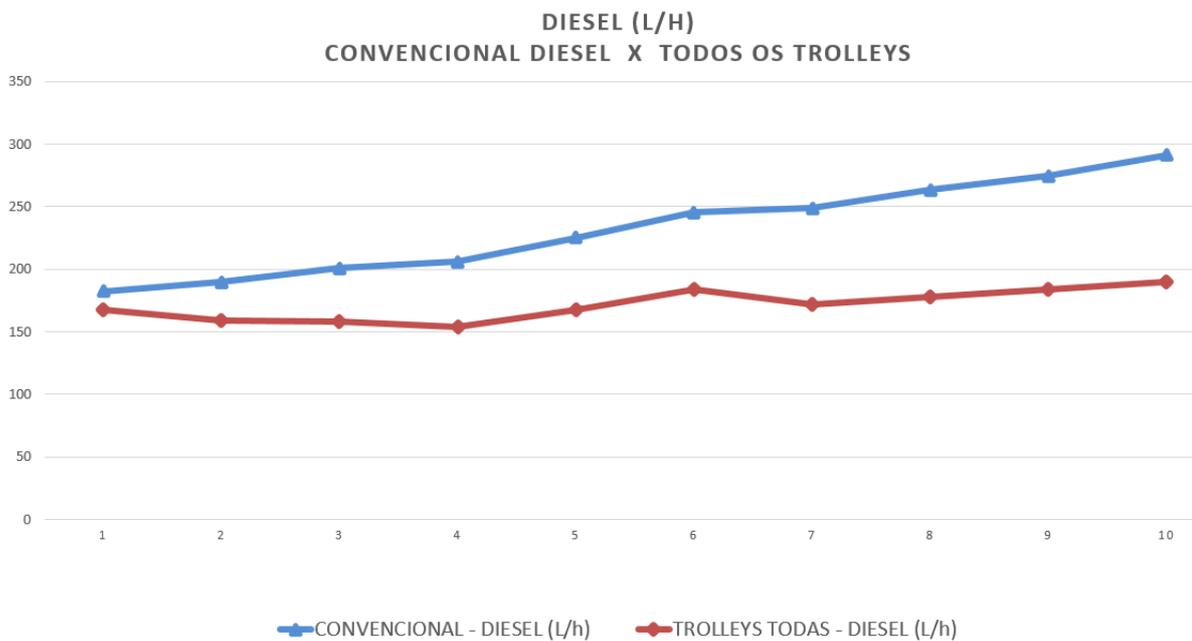


Figura 14 - Gráfico comparativo convencional diesel X Todos Trolley – Diesel (L/h)

No gráfico acima é representado o consumo de litros de diesel por hora, demonstrando de uma outra forma como os caminhões que utilizam *Trolleys* são mais econômicos no que se diz respeito ao diesel.

Logo, tomando-se como base todos os parâmetros analisados os caminhões que utilizam *Trolleys* em todos os trechos da mina em questão são mais vantajosos do que os caminhões convencionais.

### 5.3 Resultado terceira etapa

Para a terceira etapa das análises, foram realizados testes envolvendo caminhões que utilizam Trolleys em trechos específicos da mina, sendo as rampas dentro da cava, rota externa que leva à pilha de estéril e a rota externa que leva à planta e ao estoque. O objetivo dessa análise é entender e avaliar como os trechos são afetados pela utilização dos caminhões que utilizam eletricidade.

A partir da Figura 7, no tópico 4.3, é possível ver a localização dos trechos que irão conter os *Trolleys*.

Para a rota da fase 4, que está dentro da cava, foram obtidos os seguintes resultados após executar a simulação contendo *Trolley* para tal trecho.

SOURCE MATERIAL		(Tudo)												
DESTINATION MATERIAL		(Tudo)		Caminhões Trolleys - Trecho de mina										
		Rótulos de Coluna												
Valores		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total Geral		
Média de CYCLETIME		26.89	26.62	27.31	27.76	29.50	32.72	33.17	36.16	37.84	41.38	31.98		
Média de CYCLETIME LOADED		19.55	19.77	20.67	21.28	22.70	25.03	25.37	27.49	28.79	31.30	24.22		
Média de CYCLETIME UNLOADED		7.35	6.85	6.64	6.48	6.80	7.69	7.80	8.67	9.05	10.08	7.76		
Média de AVG SPEED (km/h)		28.22	27.06	25.31	24.46	23.03	22.00	22.20	21.57	21.02	20.45	23.56		
Média de TOTAL DISTANCE (km)		7.55	7.11	6.90	6.81	7.08	7.98	8.13	8.97	9.26	10.26	8.03		
Média de FUEL ALGORITHM1 PER CYCLE		81.14	83.13	91.48	96.48	110.26	131.92	134.77	151.82	160.71	179.60	122.24		
Soma de FUEL ALGORITHM1		9,901,480	13,195,523	14,131,181	14,492,638	17,352,983	21,336,773	20,857,329	23,271,179	26,042,607	29,337,560	189,919,251		
Soma de DIESEL (L/h)		183	190	201	206	226	245	247	256	262	267	234		

Figura 15 - Resultados referentes a caminhões Trolleys em trecho dentro da cava

No estudo, teve-se como resultado uma média de tempo de ciclo de 31.98 minutos. Para o caminhão carregado, o tempo de ciclo médio é de 24.22 minutos e para o caminhão vazio o tempo médio é de 7.76 minutos. Tal tempo é contabilizado em uma distância média de 8.03 km. Tendo como velocidade média 23.56 km/h. Quanto ao consumo, foi gasto em média 122.24 litros de diesel por ciclo, totalizando 189 919 251 litros durante toda a operação, com média de 234 litros por hora sendo gastos.

A segunda análise envolvendo trechos específicos que utilizam *Trolleys* foi realizada na pilha de estéril, conforme os resultados abaixo.

SOURCE MATERIAL		(Tudo)												
DESTINATION MATERIAL		(Tudo)		Caminhões Trolleys - Trechos esteril										
		Rótulos de Coluna												
Valores		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total Geral		
Média de CYCLETIME		26.86	26.54	26.98	27.21	28.72	31.61	31.71	34.67	36.55	40.43	31.19		
Média de CYCLETIME LOADED		19.52	19.69	20.35	20.73	21.92	23.92	23.91	26.00	27.50	30.36	23.43		
Média de CYCLETIME UNLOADED		7.35	6.85	6.64	6.48	6.80	7.69	7.80	8.67	9.05	10.08	7.76		
Média de AVG SPEED (km/h)		28.27	27.20	25.84	25.31	23.96	23.09	23.80	22.83	21.78	20.90	24.30		
Média de TOTAL DISTANCE (km)		7.55	7.11	6.90	6.81	7.08	7.98	8.13	8.97	9.26	10.26	8.03		
Média de FUEL ALGORITHM1 PER CYCLE		77.08	72.13	74.83	75.87	86.04	101.51	97.06	114.20	127.92	154.74	98.67		
Soma de FUEL ALGORITHM1		9,377,349	11,342,765	11,447,156	11,005,927	12,928,165	15,815,776	14,161,858	16,425,587	19,371,643	23,444,008	145,320,235		
Soma de DIESEL (L/h)		173	164	165	160	173	189	177	190	204	222	185		

Figura 16 - Resultados referentes a caminhões Trolleys em trecho da pilha de estéril

Nos resultados acima, para a pilha de estéril, obteve-se como resultado uma média de tempo de ciclo de 31.19 minutos. Para o caminhão carregado, o tempo de ciclo médio é de 23.43 minutos e para o caminhão vazio o tempo médio é de 7.76 minutos. Tal tempo é contabilizado em uma distância média de 8.03 km. Tendo como velocidade média 24.30 km/h. Quanto ao consumo, foi gasto em média 98.67 litros de diesel por ciclo, totalizando 145 320 235 litros durante toda a operação, com média de 185 litros por hora sendo gastos.

O terceiro trecho, é a rota que leva até a pilha de estoque e a planta. É um trecho composto por maior número de retas, logo não é esperado resultado muito expressivo de economia de combustível ao se utilizar caminhões *Trolley*. Conforme resultados abaixo.

SOURCE MATERIAL		(Tudo)				Caminhões Trolleys - Trecho estoque e planta									
DESTINATION MATERIAL		(Tudo)													
						Rótulos de Coluna									
Valores		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total Geral			
Média de CYCLETIME		26.94	26.67	27.35	27.81	29.56	32.79	33.25	36.50	38.56	42.59	32.26			
Média de CYCLETIME LOADED		19.59	19.82	20.72	21.33	22.76	25.10	25.45	27.84	29.51	32.51	24.50			
Média de CYCLETIME UNLOADED		7.35	6.85	6.64	6.48	6.80	7.69	7.80	8.67	9.05	10.08	7.76			
Média de AVG SPEED (km/h)		28.12	26.96	25.25	24.38	22.92	21.92	22.09	21.15	20.22	19.57	23.27			
Média de TOTAL DISTANCE (km)		7.55	7.11	6.90	6.81	7.08	7.98	8.13	8.97	9.26	10.26	8.03			
Média de FUEL ALGORITHM1 PER CYCLE		78.37	80.27	88.40	93.02	106.21	127.91	132.80	155.64	171.01	199.37	123.67			
Soma de FUEL ALGORITHM1		9,600,150	12,874,090	13,717,955	14,079,145	16,937,048	20,921,401	20,771,032	23,873,549	27,288,664	32,342,494	192,405,527			
Soma de DIESEL (L/h)		177	185	195	200	220	240	246	260	270	287	235			

Figura 17 - Resultados referentes a caminhões Trolleys em trecho para pilha de estoque e planta

Nos resultados acima, para o trecho que vai até a pilha de estoque e planta, obteve-se como resultado uma média de tempo de ciclo de 32.26 minutos. Para o caminhão carregado, o tempo de ciclo médio é de 24.50 minutos e para o caminhão vazio o tempo médio é de 7.76 minutos. Tal tempo é contabilizado em uma distância média de 8.03 km. Tendo como velocidade média 23.27 km/h. Quanto ao consumo, foi gasto em média 123.67 litros de diesel por ciclo, totalizando 192 405 527 litros durante toda a operação, com média de 235 litros por hora sendo gastos.

## 5.4 Análise comparativa entre resultado

Como análise final, serão utilizados gráficos contendo os resultados obtidos para se avaliar qual o trecho mais vantajoso.

Primeiro teste comparativo será realizado utilizando os dados do tempo de ciclo dos equipamentos. Os tempos médios de cada ano foram aplicados em um gráfico para facilitar a visualização e o entendimento das informações. A figura abaixo apresenta tal comparação.

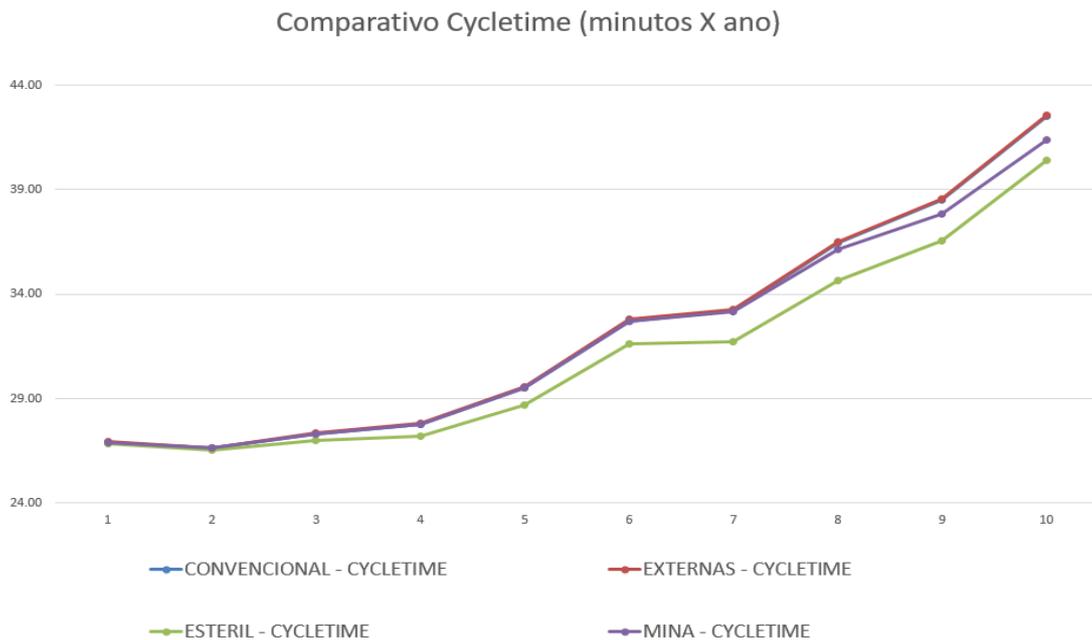


Figura 18- Gráfico comparativo entre os trechos que utilizam Trolleys – Cycletime

A partir das informações obtidas através do gráfico acima é possível avaliar como se comportam os tempos de ciclos se comparando com os 3 trechos da mina onde existem *Trolleys*, e com o caminhão a diesel convencional.

O melhor cenário será aquele onde o tempo de ciclo é menor para os anos em análise, logo o melhor cenário é aquele onde se utiliza o sistema de assistência *Trolley* na pilha de estéril. A partir do gráfico é possível observar que tal cenário é menor do que os demais do ano 2 para frente. Tendo menor tempo de ciclo, irá refletir em menor tempo para realizar o mesmo trajeto que um caminhão convencional faria. O *Trolley*

quando utilizado dentro da mina oferece o segundo melhor resultado, sendo que o quando utilizado no trecho externo não oferece redução significativa no tempo de ciclo se comparado ao caminhão convencional.

A segunda comparação é realizada a partir do tempo de ciclo carregado de cada equipamento. Nos trechos carregados que se ocorre alteração no tempo de ciclo, visto que são neles onde existem os aclives para que o equipamento possa conseguir diminuição nos tempos de ciclo. A figura abaixo apresenta tal comparação.

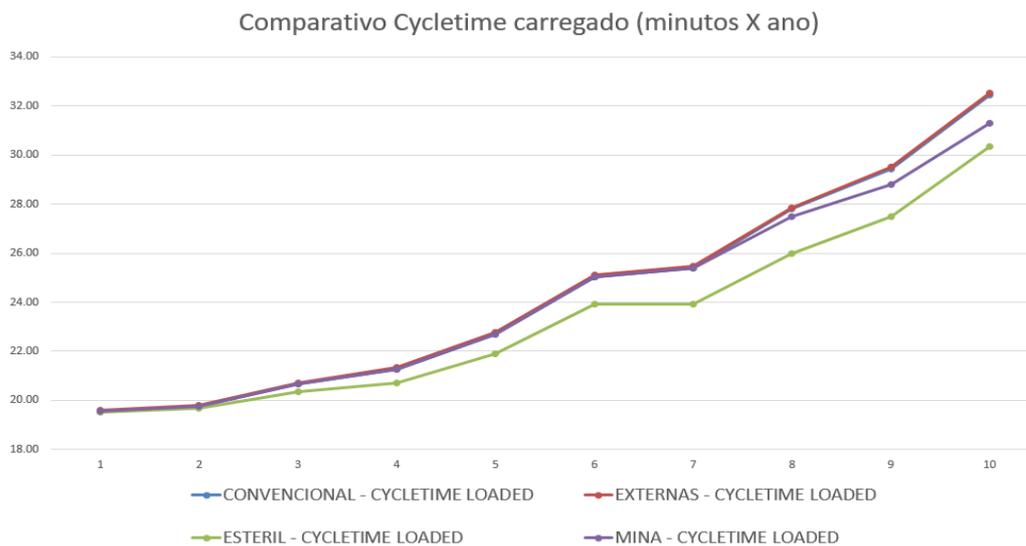


Figura 19 - Gráfico comparativo entre os trechos que utilizam Trolleys – Cyclotime carregado

Resultados obtidos são iguais aos para o tempo de ciclo total, isso deve-se a somente o tempo de ciclo carregado se alterar quando se utiliza os *Trolleys*, uma vez que eles são utilizados nas subidas. Se a análise fosse feita para descidas, os tempos de ciclo seriam todos iguais.

Para a terceira análise, foram levados em conta a velocidade média dos equipamentos.

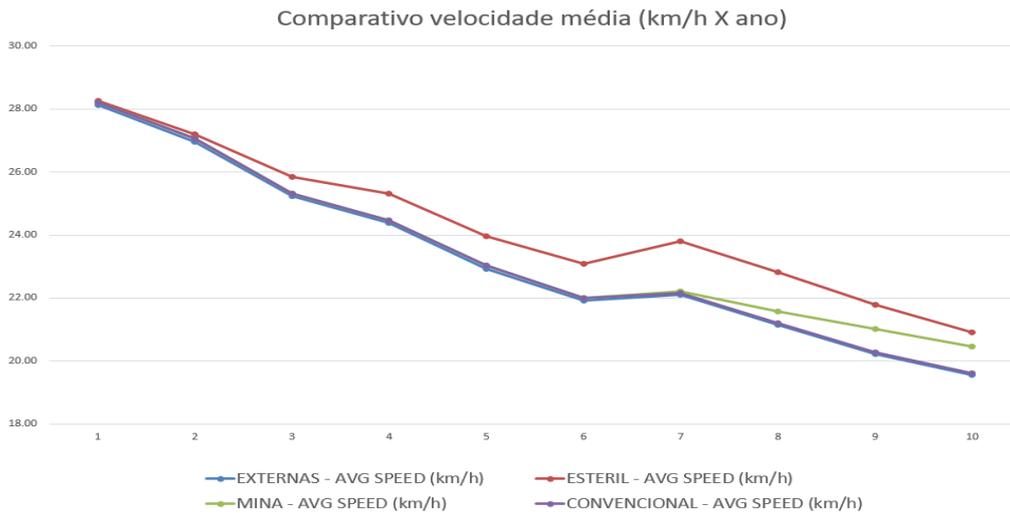


Figura 20 - Gráfico comparativo entre os trechos que utilizam Trolleys – Velocidade média

Novamente, como é possível observar, a velocidade média dos equipamentos que utilizam os *Trolleys* que vão para a pilha de estéril são maiores do que os dos demais. Daí é possível entender porque tal trecho possui menor tempo de ciclo.

A quarta análise é realizada utilizando a quantidade de litros de diesel gastos por hora em cada ano da mina e por trecho do *Trolley*.

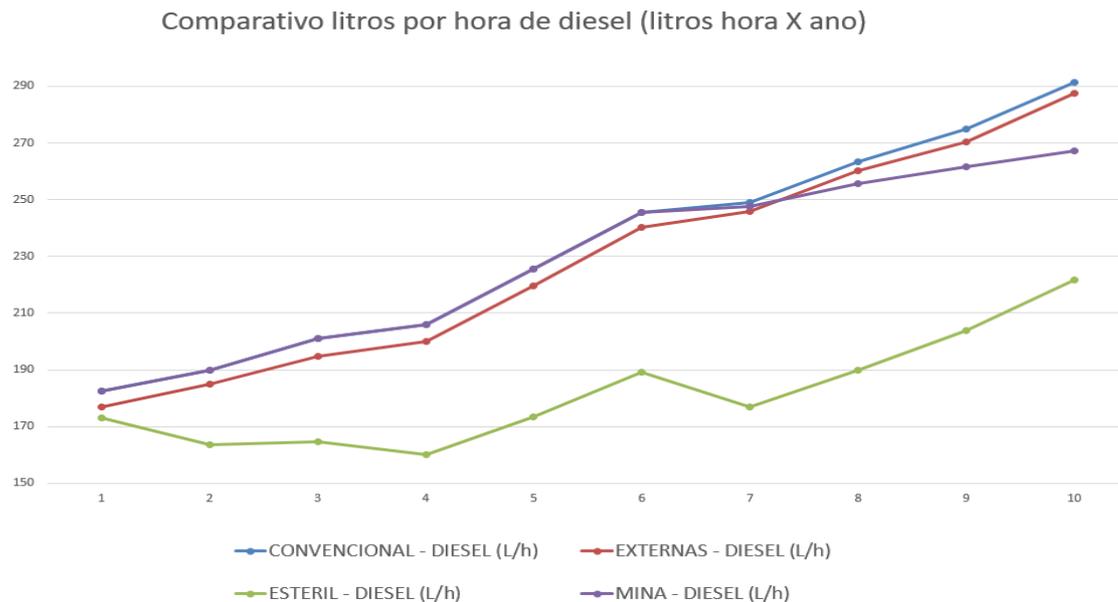


Figura 21 - Gráfico comparativo entre os trechos que utilizam Trolleys – Diesel (L/h)

A partir do gráfico é possível perceber como o trecho que leva até a mina de estéril é onde ocorre o menor gasto de diesel. Como o consumo de diesel é o principal custo de equipamentos de uma frota, utilizar os *Trolleys* em tal trecho pode ser uma boa vantagem para a operação economizando custos.

### 5.5 Análise para entender os resultados

Para melhor entender em quais trechos os *Trolleys* oferecem melhores resultados cada um deles será analisado de maneira comparativa entre os eles a fim de mostrar o cada uma das rotas obteve resultados diferentes.

Cada uma das rotas possui características diferentes, são elas listadas no quadro abaixo:

	Mina fase 4 – Cava	Pilha de estéril	Planta e estoque
Comprimento (metros)	1.496	2.378	678
Ganho elevação (metros)	110	240	20
Varição gradiente (%)	2.8	10.1	6.8

Tabela 3 - Tabela com as informações de cada trecho que utiliza *Trolleys*

A tabela acima mostra características de cada um dos trechos, nela podemos ver o comprimento, o ganho de elevação e a variação de gradiente presentes nas rotas. A partir de tais informações é possível entender melhor o porquê cada trecho possuiu uma resposta diferente no que se diz respeito ao uso dos *Trolleys*.

O cenário da simulação no qual se obteve o melhor resultado foi aquele que utiliza a pilha de estéril. Ao analisar as informações da tabela acima juntamente com os

gráficos apresentados no tópico 5.3.1 (Análise comparativa dos resultados) é possível ver que tal trecho possui comprimento de aproximadamente 2380 metros, o que faz dele o trecho com maior extensão. Apesar do maior comprimento, o grande diferencial de tal trecho é o seu ganho de elevação, uma vez que os *Trolleys* oferecem maiores benefícios em trechos de aclive, visto que eles oferecem maior velocidade em comparação aos equipamentos que não os utilizam. Além do ganho da elevação, o gradiente é um ponto que se faz importante também, visto que a tal variação reflete na inclinação na rota e quanto mais inclinada menor será a velocidade do caminhão e com o *Trolley* o veículo ganhará potência para passar com maior velocidade por tal trecho.

O trecho que leva até a pilha de estoque oferece um ganho de elevação muito baixo, aproximadamente 20 metros, devido a isso os resultados apresentados nos gráficos acima mostram que quase não existe diferença em velocidade, tempo de ciclo e consumo de combustível para os caminhões convencionais.

Já o trecho dentro da mina oferece um resultado intermediário em todos os quesitos. Somente o seu comprimento não seria um diferencial para que ele tivesse maiores vantagens para a utilização dos caminhões com assistência *Trolley*.

Em todas as análises foi possível avaliar que o cenário onde se utiliza as rotas externas, que ligam até a pilha de estéril e à planta não oferecem redução significativa em nenhum dos casos. Apesar do trecho apresentar uma extensão menor do que os demais o fator principal para que ele não se mostre vantajoso é o fato de o trecho ser uma reta, não possui nenhum aclive. Os *Trolleys* apresentam grandes ganhos em trechos onde existem subidas, uma vez que o sistema é acionado, poupando diesel e aumentando a força do motor, o que irá gerar maior velocidade.

## 6 CONCLUSÃO

O uso de *Trolleys* vem aumentando e ganhando cada vez mais espaço nas mineradoras espalhadas pelo mundo, tal aumento em sua utilização deve-se ao fato de que é notável os benefícios trazidos pelo mesmo vistos do ponto de vista econômico como ambiental. Sabe-se que o lado ambiental tem sido tratado de uma maneira diferente com o passar dos anos, isso deve-se ao fato de que a preocupação com o planeta vem aumentando, seja através da conscientização dos responsáveis pela mineração quanto da parte da existência de leis mais rígidas e que estão procurando aumentar os níveis de preservação ambiental e diminuir os impactos causados pelas atividades minerárias à flora e fauna.

O mercado da mineração é um mercado que busca o lucro, assim como todas as empresas com fins lucrativos, e a utilização dos *Trolleys* em seus projetos vem trazendo grande economia, o que, conseqüentemente, aumentará o lucro obtido por elas. O diesel utilizado pelos caminhões é visto como um dos principais custos da operação das minas a céu aberto, visto isso, a possibilidade de redução desses gastos são pontos que sempre são procurados nessa área, e a utilização dos *Trolleys* traz tal benefício, o que irá ocasionar uma redução no consumo de tal combustível, gerando menores custos, elevando assim o lucro da empresa.

Caminhões que utilizam *Trolleys* são mais vantajosos do que os caminhões convencionais, isso ficou evidente a partir das análises feitas acima. Porém, elas foram feitas somente com base no tempo de ciclo, velocidade média e consumo de diesel. Para se concluir se um caminhão que utiliza *Trolleys* é realmente mais vantajoso deve-se realizar um estudo mais profundo onde se deve avaliar os custos para a instalação das catenárias (Redes de eletricidade), estações de energia, custos para adequar caminhões aos *Trolleys*, adequações de design da mina (Visto que tais caminhões possuem certas especificidades que devem ser atendidas quanto a largura de estradas, pontos para instalação das subestações).

Pode-se concluir que trechos onde existem maiores aclives apresentam melhores respostas para os caminhões que utilizam os *Trolleys*, uma vez que são neles que eles podem economizar diesel e utilizar o motor elétrico para gerar se movimentarem, uma

vez que estes motores apresentam maior força para enfrentar a subida com maior velocidade. Como visto acima, trechos onde não existem aclives, não é vantajoso a utilização de tal equipamento, no que se diz respeito ao consumo de combustível e diminuição do tempo de ciclo.

Com o maior avanço da tecnologia e a crescente utilização dos *Trolleys* na mineração, tais equipamentos começarão a ser utilizados com maior frequência, uma vez que os custos para sua utilização tendem a diminuir e maiores estudos tendem a ser realizados. O foco ambiental em que as grandes empresas estão passando a adotar está abrindo portas para a utilização deste equipamento, uma vez que a mineração tem se tornado um mercado que busca cada vez mais a sustentabilidade.

## 7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

KHAZIN, Mark L.; TARASOV, Aleksandr P. Ecological and economic evaluation of quarry trolley trucks. **Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering**, v. 17, n. 2, p. 166-180, 2018.

MAZUMDAR, Joy; KOELLNER, Walter; MOGHE, Rohit. Interface issues of mining haul trucks operating on trolley systems. In: **2010 Twenty-Fifth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)**. IEEE, 2010. p. 1158-1165.

DUARTE, Lucas. **Caterpillar apresenta novo sistema elétrico para caminhões de mineração**. Caminhões e carretas, 2020. Disponível em: <<https://www.caminhoes-e-carretas.com/2020/03/caterpillar-apresenta-novo-sistema.html>>. Acesso em 20 de setembro de 2022.

MAZUMDAR, Joy. Performance improvement of mining haul trucks operating on trolley systems. In: **2011 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting**. IEEE, 2011. p. 1-6.

Mirelle Gómez Quevedo, Johanna. **Modelo de simulação para o sistema de carregamento e transporte em mina a céu aberto**. Orientador: Prof. Madiagne Diallo. 2009. Dissertação de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2009.

Catálogo KOMATSU 960E-1K electric drive truck. Komatsu, 2022. Disponível em: <https://www.komatsu.com.br/uploads/produtos/catalogo/835cb67c70.pdf>. Acesso em 20 de setembro de 2022.

Minas gerais – Qual será o futuro da mineração?. **BRASIL MINERAL**, revista 413 2021. p. 128-132. Disponível em: <<https://www.brasilmineral.com.br/revista/413/PDF.pdf>>. Acesso em 20 de setembro de 2022.

Liebherr Mining and Va Erzberg: an innovative partnership. **In The Mine**, 2020.  
Disponível em: <<https://www.inthemine.com.br/site/liebherr-mining-e-va-erzberg-uma-parceria-inovadora/>>. Acesso em 20 de setembro de 2022.

Reduces carbon dioxide emissions connected to transports by 9 percent. **New Boliden**.  
Disponível em: <<https://www.boliden.com/news/kevitsa-eltrolley>>. Acesso em 21 de setembro de 2022.

Mineração digitalizada e sob medida. **ELO, notícias do grupo Sotreq**, revista edição número 59, 2021. Disponível em: <<https://elo.gruposotreq.com.br/categoria-editoriais/mineracao-digitalizada-e-sob-medida>>. Acesso em 21 de setembro de 2022.