

**Regisley Gomes da Silva**

AUMENTO DA PRODUTIVIDADE E REDUÇÃO DE CUSTO DE CARGA E  
TRANSPORTE ESTUDO DE CASO DA MINA DE MANGANÊS DO AZUL

**Parauapebas, PA**

**2019**

Regisley Gomes da Silva

AUMENTO DA PRODUTIVIDADE E REDUÇÃO DE CUSTO DE CARGA E  
TRANSPORTE ESTUDO DE CASO DA MINA DE MANGANÊS DO AZUL

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Instituto Tecnológico Vale, como parte dos requisitos  
para obtenção do título de especialista *lato sensu* em  
Especialização de Lavra a Céu Aberto

Orientador: Prof. Vidal Felix Navarro Torres

Parauapebas, PA

2019

Título: Aumento da Produtividade e Redução de Custos de Carga e Transporte - Estudo de Caso da Mina de Manganês do Azul

**Classificação:** ( ) Confidencial ( X ) Restrita ( ) Uso Interno ( ) Pública

**Informações Confidenciais** - Informações estratégicas para o Instituto e sua Mantenedora. Seu manuseio é restrito a usuários previamente autorizados pelo Gestor da Informação.

**Informações Restritas** - Informação cujo conhecimento, manuseio e controle de acesso devem estar limitados a um grupo restrito de empregados que necessitam utilizá-la para exercer suas atividades profissionais.

**Informações de Uso Interno** - São informações destinadas à utilização interna por empregados e prestadores de serviço

**Informações Públicas** - Informações que podem ser distribuídas ao público externo, o que, usualmente, é feito através dos canais corporativos apropriados

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S586a

Silva, Regisley Gomes da

Aumento da produtividade e redução de custo de carga e transporte:  
Estudo de caso da Mina de Manganês do Azul /Regisley Gomes da Silva  
- Ouro Preto, 2019.  
47 f.: il.

Monografia (Especialização *latu sensu*) - Instituto Tecnológico Vale,  
2019.

Orientador: Vidal Félix Navarro Torres

1. Transporte de Minério. 2. Produtividade. 3. Redução de custo.  
4. Mineração I. Título

CDD. 23. ed. 622.6

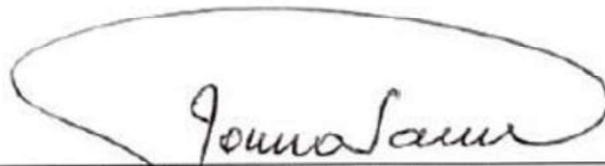
Bibliotecária responsável: Nisa Gonçalves – CRB 2 - 525

Especialização em Lavra de Minas a Céu Aberto

AUMENTO DA PRODUTIVIDADE E REDUÇÃO DE CUSTO DE CARGA E  
TRANSPORTE ESTUDO DE CASO DA MINA DE MANGANÊS DO AZUL

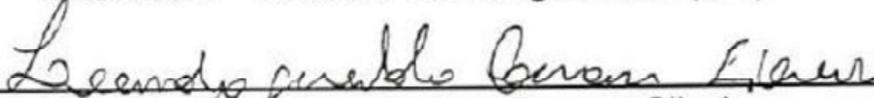
Autor: Regisley Gomes da Silva

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de Especialização em Lavra de Minas a Céu Aberto do Instituto Tecnológico Vale, ITV, defendido e aprovado em 20 de maio de 2019 pela banca examinadora constituída pelos professores:



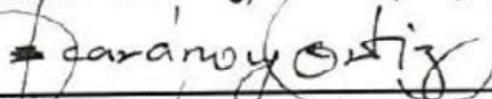
---

Prof. Ph.D. Vidal Félix Navarro Torres  
Orientador – Instituto Tecnológico Vale (ITV)



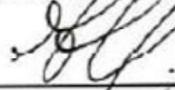
---

Prof. MSc. Leandro Geraldo Canaan Silveira  
Instituto Tecnológico Vale (ITV)



---

Prof. D.Sc. Carlos Enrique Arroyo Ortiz  
Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)



---

Prof. Ph.D. Hernani Mota de Lima  
Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)

## **DEDICATÓRIA**

Agradeço primeiramente a Deus e aos meus pais pelos ensinamentos e aprendizados. E dedico este trabalho a todos aqueles que sempre me apoiaram no decorrer da minha trajetória profissional, em especial a minha esposa Dávine e os meus filhos Alícia e Breno que foram sempre os meus grandes incentivadores.

## **AGRADECIMENTOS**

À VALE S.A. e ao Instituto Tecnológico Vale - ITV pela oportunidade de proporcionarem esta formação. E aos professores da especialização que foram de fundamental importância pois contribuíram significativamente com seu conhecimento e experiência.

Ao professor Vidal e pelo acompanhamento, orientação que foram essenciais no processo.

Ao Cássio Noronha pois sua contribuição foi fundamental para que este estudo e sua aplicação se tornasse realidade.

E a Léa, Laurindo e Rosimeire pelo suporte das informações e discussões técnicas.

E as grandes experiências compartilhadas pelos colegas da especialização.

## RESUMO

Este trabalho visa estudar o aumento de produtividade e a redução dos custos no transporte de minério e do transporte de produto. Destaca-se ainda que as estratégias da economicidade das minas estão diretamente ligadas a produtividade de equipamentos, já que influenciam significativamente nos custos de produção. Sabendo-se que a produtividade de transporte é um parâmetro relevante para a economicidade das minas, apresenta-se neste estudo, o aumento da produtividade e a redução de custos de transporte com base nas disposições das pilhas de produto na Mina de Manganês do Azul, localizado no estado do Pará. Baseando-se na particularidade da topografia local da Mina de Manganês do Azul, para a procura de novas rotas, que minimizem a distância de transporte e que possibilite a construção de pilhas de produto em locais mais estratégicos, pode-se constatar neste estudo que os resultados apresentados indicam um aumento de produtividade, devido à redução no tempo de ciclo, distância média de transporte e redução nas perdas por condições de acesso. No estudo realizado demonstrou-se um aumento de produtividade para o transporte mina pera (transporte realizado através de caminhões rodoviários da Mina de Manganês do Azul até o pátio de expedição em Carajás) de 14% devido à redução da distância média de transporte e das horas improdutivas mais especificamente das horas aguardando as condições de acesso e um aumento na produtividade de transporte de mina de 34% para o transporte de ROM da mina 03 (que é uma das cavas de estudo) onde obteve-se uma redução da distância média de transporte. Ressalta-se ainda que se obtém um lucro expressivo na venda do minério de manganês.

**Palavras-chave:** Produtividade, redução de custo, distância média de transporte, lucro.

## ABSTRACT

This work aims to study the increase of productivity and the reduction of costs in the transportation of ore and product transportation. It should be noted that the strategies of the economics of the mines are directly linked to the productivity of equipment, since they influence significantly the costs of production. Given that transport productivity is a relevant parameter for the economics of the mines, this paper presents the increase of productivity and the reduction of transportation costs based on the provisions of the product stacks at the Manganese Azul mine, located in the state of Pará. Based on the particularity of the local topography of the Blue Manganese Mine, in search of new routes that minimize transport distance and allow the construction of product stacks in more strategic locations, it can be observed that the results presented indicate an increase in productivity due to the reduction in cycle time, mean distance of transport and reduction in losses due to access conditions. In the study, an increase in productivity was observed for the transport of the pear mine (transport carried out by road trucks from the Manganese Azul mine to the shipping yard in Carajás) of 14% due to the reduction of the average transport distance and hours more unproductive times of the hours waiting for the access conditions and an increase in the 34% mine transport productivity for ROM transport of mine 03 (which is one of the study cells) where a reduction in the average transport distance . It is also worth mentioning that a significant profit is obtained in the sale of manganese ore.

**Key words:** Productivity, cost reduction, average transport distance, profit.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Imagem do Pátio de Expedição Ferroviária de Carajás .....	15
Figura 2 - Custos da lavra a céu aberto - Mina de Manganês do Azul.....	16
Figura 3 - Modelo da frota Scania G480.....	18
Figura 4 - Modelo da frota Scania G480 - Heavy Tipper.....	19
Figura 5 - Modelo da frota Scania G440.....	20
Figura 6 - Modelo da frota Caterpillar 777.....	21
Figura 7 - Mapa de Localização.....	24
Figura 8 - Pesquisas para o início da lavra em 1985.....	25
Figura 9 - Linha do Tempo.....	26
Figura 10 - Fluxo do Transporte Mina Pera.....	27
Figura 11 - Vista geral dos acessos (em vermelho as rotas em estudo) .....	28
Figura 12 - Aguardando condição de acesso (Frota G440) .....	29
Figura 13 - Pluviometria x Perdas no acesso.....	30
Figura 14 - Comparativo de Utilização realizada e sem perdas por condições de acesso.....	32
Figura 15 - Comparativo de Produção.....	33
Figura 16 - Comparativo de Horas Trabalhadas.....	34
Figura 17 - Pilha Trevo acesso da mina 03.....	36
Figura 18 - Pilha portaria.....	37
Figura 19 - Pilha utilizando acesso existente.....	38
Figura 20 - Pilha ao lado do acesso existente.....	38
Figura 21 - Estruturas existentes antes da construção da rampa. À esquerda, caixa d'água e tubulação de água potável: À direita: postes, fibra ótica e tubulação de spci.....	42
Figura 22 -Estruturas existentes antes da construção da rampa. À esquerda, postes, rede elétrica e postes: À direita: postes, fibra ótica, tubulação de spci e caixa d'água.....	43
Figura 23 -Rampa construída e a remoção das estruturas existentes. À esquerda, semáforo, leiras e o início da rampa: À direita: rampa construída e ao fundo o pulmão da usina.....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados calculados da frota Scania G480 e G440.....	34
Tabela 2 - Dados comparativos da frota Scania G480 e G440.....	39
Tabela 3 - Dados calculados de Venda.....	40
Tabela 4 - Dados calculados da frota Cartepillar 777.....	44

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

DMT - Distância Média de Transporte

MG - Médio Granulado

MF - Médio Fino

SPCI - Sistema de proteção e combate a incêndio

RIPLA – Requisição Inicial para Licenciamento Ambiental

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

ROM - *Run of Mine*

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1	JUSTIFICATIVA DO TRABALHO .....	14
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	17
2.1	OBJETIVO GERAL .....	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	18
3.1	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS CAMINHÕES.....	18
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA DA PESQUISA</b> .....	242
4.1	ASPECTOS METODOLÓGICOS .....	242
<b>5</b>	<b>ESTUDO DE CASO</b> .....	24
5.1	HISTÓRICO DA MINA DE MANGANÊS DO AZUL .....	24
<b>6</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA E ELABORAÇÃO DE UMA METODOLOGIA DE OTIMIZAÇÃO</b> .....	27
<b>7</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA PRODUTIVIDADE E CUSTOS NA SITUAÇÃO ATUAL</b> .....	29
<b>8</b>	<b>APLICAÇÃO Á MINA DE MANGANÊS DO AZUL</b> .....	32
8.1	SOLUÇÃO PROPOSTA .....	35
8.2	CÁLCULOS COMPARATIVOS DE PRODUTIVIDADE E CUSTOS .....	39
8.3	COMPARATIVOS DE PRODUTIVIDADE E VENDA .....	40
8.4	INFRAESTRUTURA - GANHOS INTANGÍVEIS .....	41
<b>9</b>	<b>CONSTRUÇÃO DE RAMPA PARA A REDUÇÃO DE DMT</b> .....	42
<b>10</b>	<b>GANHOS ADICIONAIS OBTIDOS</b> .....	45
<b>11</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	46

<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>47</b>
---	-----------

## **1 INTRODUÇÃO**

Diante ao cenário mundial da mineração sabe-se que historicamente os maiores custos de operação em lavra a céu aberto são os de transporte seguidos pelos custos com equipamentos de carga. Com isso as grandes mineradoras além de buscar novas tecnologias, também estão sempre na busca da otimização dos seus processos e a redução de custos, procurando ser cada vez mais efetivas.

A VALE S.A., assim como outras grandes mineradoras têm apostado e inovado em minas mais eficientes com qualidade e custo baixo, haja vista a implantação de um novo sistema de lavra na mina de S11D.

Com uma avaliação e acompanhamento do desenvolvimento da lavra pode-se observar os potenciais ganhos de produtividade e de redução de custo em toda a cadeia do processo produtivo.

Sabe-se que os preços das commodities não é de possível controle necessita-se ser cada vez mais eficiente em todo o processo.

Nesse contexto, esse estudo visa aumentar a produtividade do transporte da frota de caminhões rodoviários do transporte mina para e de transporte na mina, além da redução da distância média de transporte de mina na Mina de Manganês do Azul, pertencentes à VALE S.A. Para tal foram utilizados os dados da mina em estudo para um comparativo do antes e depois da proposta deste estudo.

### **1.1 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO**

Os custos de transporte na mineração são muito variáveis dependendo da geometria da mina, mas não há dúvidas de que são os maiores em um empreendimento mineiro.

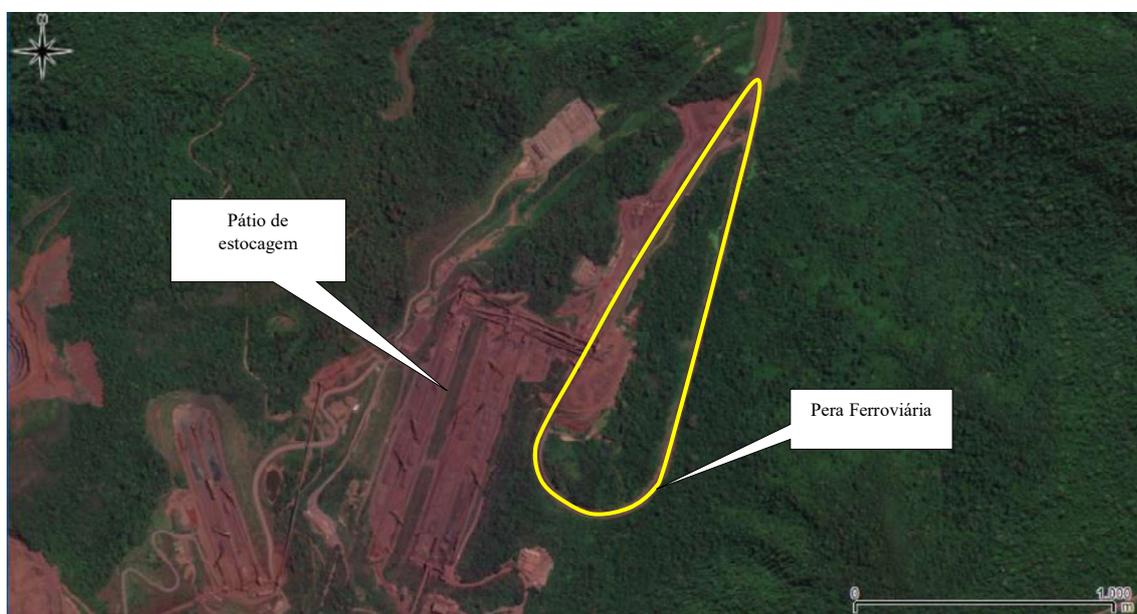
Este trabalho tem o objetivo de aumentar a produtividade com a redução de distância média de transporte da mina para o minério e reduzir os custos da frota de caminhões rodoviários do transporte mina para, que é uma operação de transporte por

caminhões rodoviários da Mina de Manganês do Azul até o pátio de expedição ferroviário de Carajás.

O nome mina pera advém do fato de que neste pátio existe uma 'pera ferroviária', que é uma linha férrea em formato de pera utilizada para a realização de manobra dos trens.

Pode-se observar na figura 1, a imagem em detalhe do pátio de expedição de Carajás, com destaque para a “pera ferroviária”.

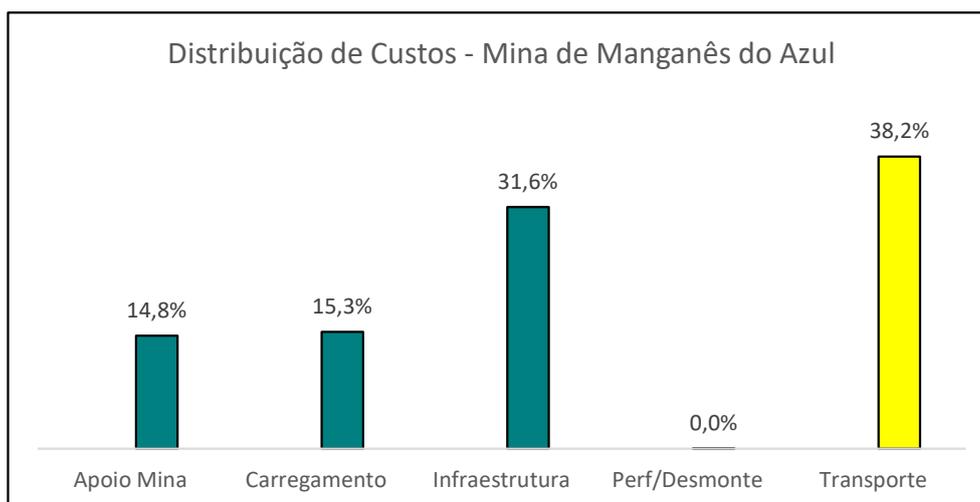
Figura 1 - Imagem do Pátio de Expedição Ferroviária de Carajás



Fonte: Gerência de Planejamento de Mina Manganês, 2018

E ainda demonstra-se na figura 2, a distribuição de custos entre as operações em lavra a céu aberto, realizado na Mina de Manganês do Azul em 2017 com destaque para o transporte que representa 38,2% dos custos totais. Ressalto que a perfuração e desmonte na Mina de Manganês do Azul é realizado pelas escavadeiras, ou seja todo o desmonte é mecânico.

Figura 2 - Custos da lavra a céu aberto - Mina de Manganês do Azul



Fonte: Gerência de Gestão Econômica, 2018

Os custos relacionados a fase de apoio mina são:

- Contratos de combustível
- Geotecnia e hidrogeologia
- Implantação de manutenção
- Manutenção elétrica de mina
- Operação de Mina
- Planejamento de Curto Prazo
- Rateios realizados entre as áreas

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Aumento de produtividade e redução de custos de carga e transporte através do planejamento do transporte e alocação dos destinos de minério e produto semiacabado baseado na gestão de redução da DMT.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Obter na prática todos os estudos desenvolvidos no aumento da produtividade do transporte mina para da Mina de Manganês do Azul, sendo:

- i. Caracterizar o problema e elaborar uma metodologia de aumento de produtividade e redução de custos;
- ii. Caracterizar a situação da produtividade e custos na situação atual;
- iii. Aplicar à Mina de Manganês do Azul.
- iv. Estabelecer uma metodologia de avaliação

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

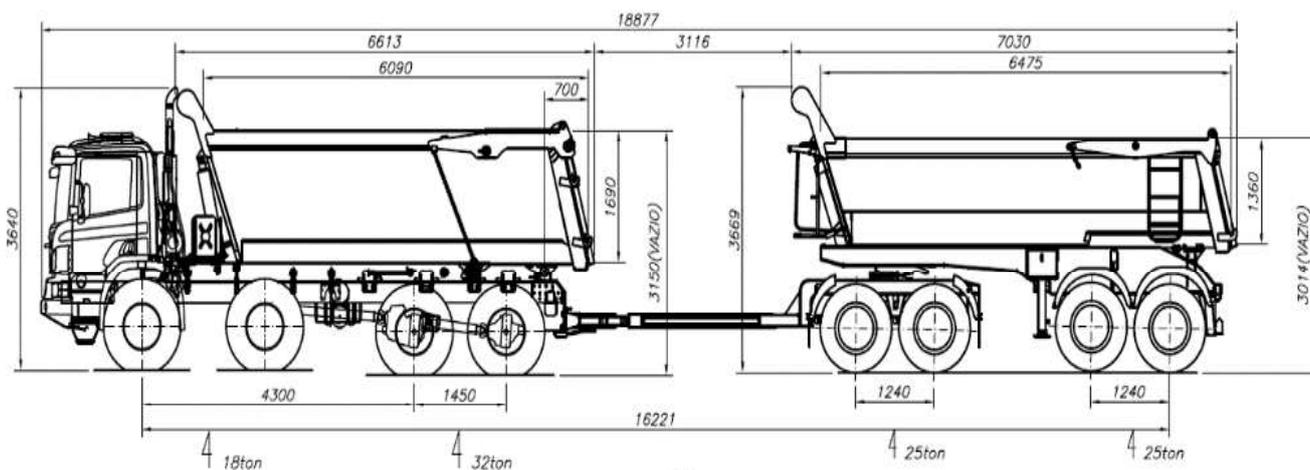
#### 3.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS CAMINHÕES

Este capítulo, apresenta a revisão bibliográfica dos equipamentos de transporte que fundamentam este trabalho. A abordagem do estudo do aumento de produtividade se aplica levando em consideração as características técnicas da frota do transporte de mina e da mina para da Mina de Manganês do Azul.

Atualmente na Mina de Manganês do Azul dispõe-se de dois modelos desta frota, caminhão bitrem (G480).

Na figura 3, destaca-se as características do caminhão bitrem (G480) que é o modelo (CB MC 20m<sup>3</sup> + Dolly 2 eixos + SRBS MC 18m<sup>3</sup> 2 eixos), sendo que se difere do outro modelo pelo volume da caçamba.

Figura 3 - Modelo da frota Scania G480



Fonte: Gerência de Manutenção da Mina de Manganês do Azul, 2018

**PESOS E CAPACIDADES TÉCNICAS**  
 PBT DO VEÍCULO (FABRICANTE)=50000 kgf  
 TARA DO VEÍCULO SCANIA G440 8X4+CB MC 20m<sup>3</sup> = 16950 kgf  
 CARGA LÍQUIDA MÁX. NO VEÍCULO=33050 kgf

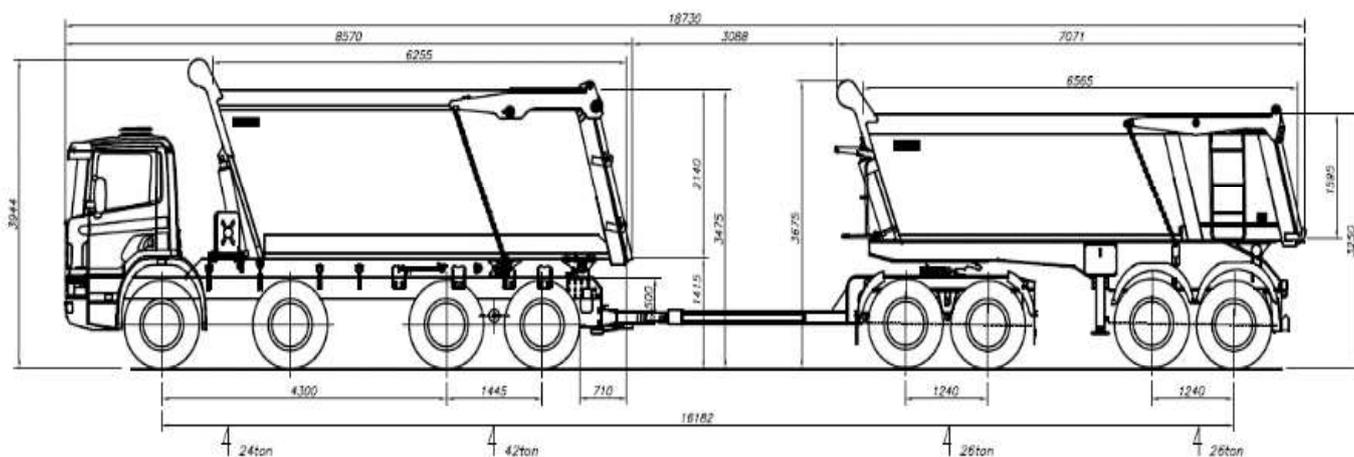
**PESOS E CAPACIDADES – DOLLY =SEMI-REBOQUE**  
 PBT DO DOLLY 2E + SBRS 2E 18m<sup>3</sup> = 50000 kgf  
 TARA DO DOLLY 2E + SBRS 2E 18m<sup>3</sup> = 11650 kgf  
 CARGA LÍQUIDA MÁX. NO DOLLY+SRBS=38350 kgf  
**PESOS E CAPACIDADES – CONJUNTO**  
 TARA DO CONJUNTO = 28600 kgf  
 CARGA LÍQUIDA MÁXIMA NO CONJUNTO = 71400 kgf

**NOTA:**  
 01)ESPESURAS DA CAIXA DE CARGA LATERAIS FECH. DIANT. E TAMPA 8mm

DESENHO PRELIMINAR / PODEM OCORRER ALTERAÇÕES NO DECORRER DO PROJETO

Observa-se na figura 4, as características do caminhão bitrem (G480) modelo (CB MC 26m<sup>3</sup> + Dolly 2 eixos + SRBS MC 21,5m<sup>3</sup> 2 eixos) também denominado como o Heavy Tipper.

Figura 4 - Modelo da frota Scania G480 - Heavy Tipper



Fonte: Gerência de Manutenção da Mina de Manganês do Azul, 2018

PESOS E CAPACIDADES - VEÍCULOS  
 PBT DO VEÍCULO (FABRICANTE)=66000 kgf  
 TARA DO VEÍCULO SCANIA G480 HT 8X4+CB MC 26m<sup>3</sup> = 19990 kgf  
 CARGA LÍQUIDA MÁX. NO VEÍCULO=46010 kgf

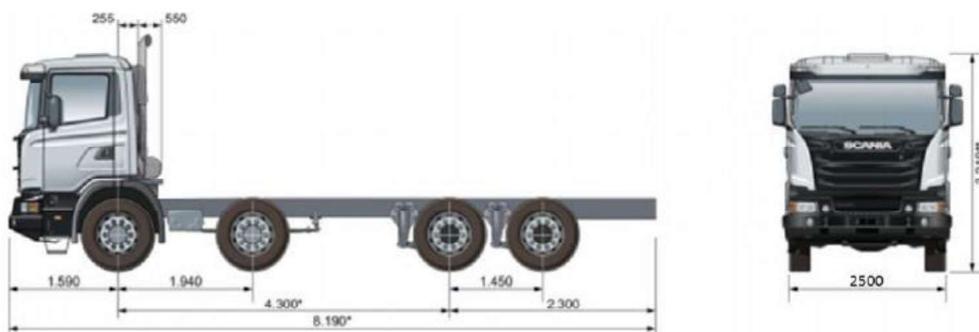
PESOS E CAPACIDADES – DOLLY =SEMI-REBOQUE  
 PBT DO DOLLY 2E + SBRS 2E 21.5m<sup>3</sup> = 52000 kgf  
 TARA DO DOLLY 2E + SBRS 2E 21.5m<sup>3</sup> = 14700 kgf  
 CARGA LÍQUIDA MÁX. NO DOLLY+SRBS=37300 kgf  
PESOS E CAPACIDADES – CONJUNTO  
 TARA DO CONJUNTO = 34690 kgf  
 CARGA LÍQUIDA MÁXIMA NO CONJUNTO = 83310 kgf  
 PBT DO CONJUNTO=118000 kgf

NOTA:  
 01)ESPESURAS DA CAIXA DE CARGA  
 LATERAIS, FECH. DIANT. E TAMPA :8mm  
 FUNDO: 10mm

DESENHO PRELIMINAR / PODEM OCORRER ALTERAÇÕES NO DECORRER DO PROJETO

Tem-se na figura 5, as características do caminhão scania modelo (G440 CB8x4 RBP835+RP835).

Figura 5 - Modelo da frota Scania G440



### Pesos e Cargas

#### Pesos (kg)

Dianteiro	7216
Traseiro	3909
Total	11127

Veículo em ordem de marcha

#### Carga do eixo dianteiro

► 2 x 9.000 kg

#### Capacidade técnica do bogie

► 32.000 (16.000 + 16.000) kg

#### PBT peso bruto total técnico

► 50.000 kg

#### CMT - Capacidade máxima de tração

► 150.000 kg

#### PBTC peso bruto total combinado legal

► 74.000 kg

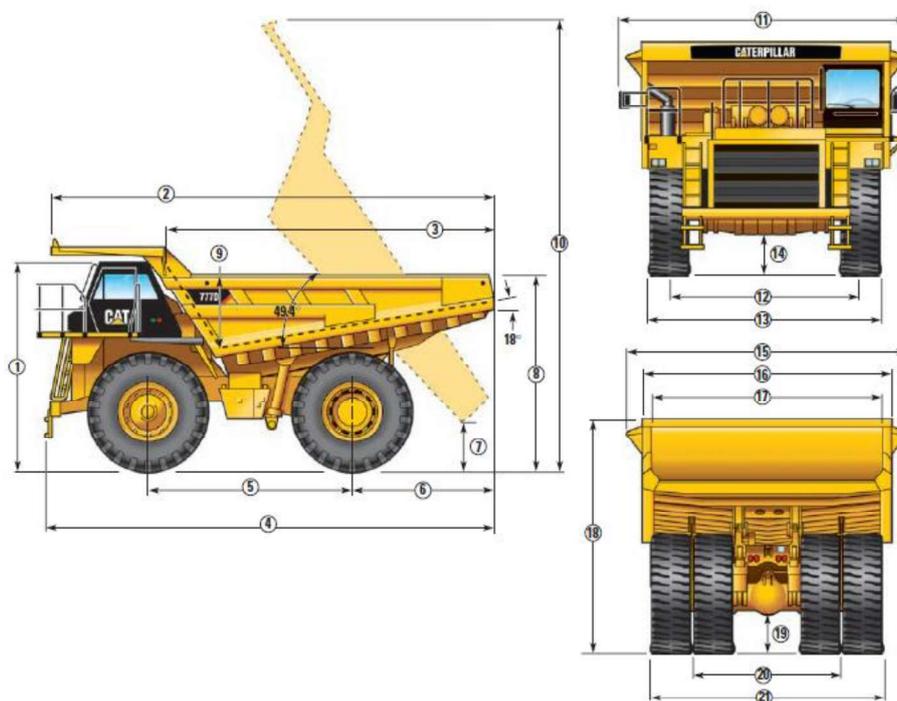
#### PBT peso bruto total legal

► 29.000 kg

Fonte: Gerência de Manutenção da Mina de Manganês do Azul, 2018

Tem-se na figura 6, as características do caminhão Scania modelo (777D). Atualmente estamos em operação na Mina de Manganês do Azul, com 5 caminhões em operação da frota 777.

Figura 6 - Modelo da frota Caterpillar 777



## Dimensões do caminhão

- 1 Altura até o topo da cabine - 4567 mm 15 ft
- 2 Comprimento total do caminhão - 9525 mm 31 ft 3 in
- 3 Comprimento da Caçamba - 7234 mm 23 ft 9 in
- 4 Comprimento Total - 9780 mm 32 ft 1 in
- 5 Distância entre eixos - 4570 mm 15 ft
- 6 Eixo Traseiro para a caçamba - 3020 mm 9 ft 11 in
- 7 Altura da caçamba no basculamento 1164 mm 3 ft 10 in
- 8 Altura de carregamento - 4380 mm 14 ft 4 in
- 9 Profundidade da caçamba interna - 1898 mm 6 ft 3 in
- 10 Altura Total (caçamba levantada) - 10 059 mm 33 ft
- 11 Largura do caminhão - 6105 mm 20 ft

## Dimensões do caminhão

- 12 Largura do pneu dianteiro da linha central - 4173 mm 13 ft 8 in
- 13 Largura total do pneu dianteiro - 4961 mm 16 ft 3 in
- 14 Altura do guarda motor - 700 mm 2 ft 4 in
- 15 Largura total do dossel da caçamba - 6048 mm 19 ft 10 in
- 16 Largura da caçamba (externa) - 5524 mm 18 ft 2 in
- 17 Largura Interna da caçamba - 5200 mm 17 ft 1 in
- 18 Altura do dossel da caçamba - 5147 mm 16 ft 10 in
- 19 Altura do eixo traseiro - 750 mm 2 ft 6 in
- 20 Largura do Pneu Dianteira Traseira da linha central - 3576 mm 11 ft 9 in
- 21 Largura total do pneu traseiro - 5262 mm 17 ft 3 in

Fonte: Gerência de Manutenção da Mina de Manganês do Azul, 2018

## 4 METODOLOGIA DA PESQUISA

### 4.1 ASPECTOS METODOLÓGICOS

A metodologia de estudo no presente trabalho, identifica onde pode-se obter os maiores ganhos em produtividade e a redução de custos de transporte com a mudança do pátio de estocagem do produto do minério de manganês e de ROM com a mudança da via de transporte, conforme a seguinte metodologia:

- a) Caracterização com base na localização de possíveis alternativas dos pátios de estocagem considerando capacidade, distância de transporte entre os silos do produto da usina e os pátios e características geométricas das vias;
- b) Na via de transporte de ROM entre a mina e usina, determinação de um trecho de via que permita reduzir a distância de transporte, detalhando a sua geometria;
- c) Caracterização da estrada de transporte do produto de longa distância desde o pátio de estocagem até Carajás;
- d) Utilizando os modelos matemáticos apresentados em seguida neste subtópico, se procederá a quantificar a produtividade e custos para cada alternativa da mudança de pátio de estocagem do produto, para a via incluindo o novo trecho de transporte de ROM e para o transporte entre as alternativas de novos pátios e o local de destino em Carajás;
- e) Com os resultados obtidos escolher o pátio que ofereça a maior produtividade e menor custo de transporte comparado com as condições do transporte atual; assim como comparar a produtividade do transporte de ROM na situação inicial e a alternativa proposta.

Para o cálculo de produtividade, foi considerado o modelo de produtividade (NAVARRO TORRES, V.F., 2017) dado pela equação (1).

$$P_t = \frac{60*Q_c}{T_f + \frac{d}{16,67} \left( \frac{1}{v_c} + \frac{1}{v_v} \right)} \quad (1)$$

Onde:

$P_t$ : produtividade de transporte (t/h);

$Q_c$ : carga útil do caminhão (t);

$D$ : distância média de transporte (m);

$T_f$ : tempos fixos (min), calculado com  $T_f = T_m + T_q + T_d + T_e$ , onde  $T_m$  é o tempo de manobras (min);  $T_q$  tempo de carregamento (min);  $T_d$  o tempo de descarregamento;  $T_e$  tempo de espera (min);  $V_c$  velocidade cheio e  $V_v$  velocidade vazio.

Para o cálculo de custo, foi considerado o modelo de produtividade (NAVARRO TORRES, V.F., 2017) dado pela equação (2).

$$C_t = \frac{\left[ T_f + \frac{d}{16,67} \left( \frac{1}{v_c} + \frac{1}{v_v} \right) \right] [C_{t\_opex}]}{60 * Q_c} \quad (2)$$

Onde:

$C_{t\_opex}$ : custo de operação de transporte incluindo infraestrutura (\$/h), conforme descrito na equação (3).

$$C_{t\_opex} = C_c + C_p + C_{pe} + C_m + C_o \quad (3)$$

Esta equação recomenda-se usar quando não é conhecido o custo por hora para um determinado tipo de caminhão.

$C_c$  = custo de óleo diesel (\$/h)

$C_p$  = custo de pneus (\$/h)

$C_{pe}$  = custos de pessoal operacional (\$/h)

$C_m$  = custo por material e serviços de manutenção (\$/m)

$C_o$  = outros custos (\$/h)

## 5 ESTUDO DE CASO

### 5.1 HISTÓRICO DA MINA DE MANGANÊS DO AZUL

A mina de Manganês do Azul, em Carajás, está situada na região amazônica ao sul do Pará, no município de Parauapebas a 680 km a sudoeste da capital do estado Belém.

Na figura 7, mostra em destaque a localização da Mina de Manganês do Azul.

Figura 7 - Mapa de Localização



Fonte: <http://www.adimb.com.br>

O início das pesquisas minerais ocorreu no ano 1965 e o primeiro reconhecimento se deu no ano de 1966 onde a empresa Union Carbide recebeu as informações sobre a ocorrência de manganês na região da Serra do Sereno, e iniciou as pesquisas na “Serra Rica” com o objetivo de buscar manganês eletrolítico fato este que foi a descoberta do depósito de manganês do Sereno.

Com os avanços das pesquisas, mais tarde no ano de 1971 foi feita descoberta do depósito de manganês do azul. E no ano de 1985 houve o início das operações na mina de Manganês do Azul.

Na figura 8, mostra o início das pesquisas de minerais, que foram fundamentais para o início das operações de lavra e beneficiamento deste minério em 1985.

Figura 8 - Pesquisas para o início da lavra em 1985



Fonte: Gerência de Planejamento de Mina Manganês, 2018

Na figura 9, mostra uma linha do tempo desde o início das pesquisas minerais na década de 60 e os principais destaques ao longo do desenvolvimento da lavra até o ano de 2018.

Figura 9 – Linha do Tempo

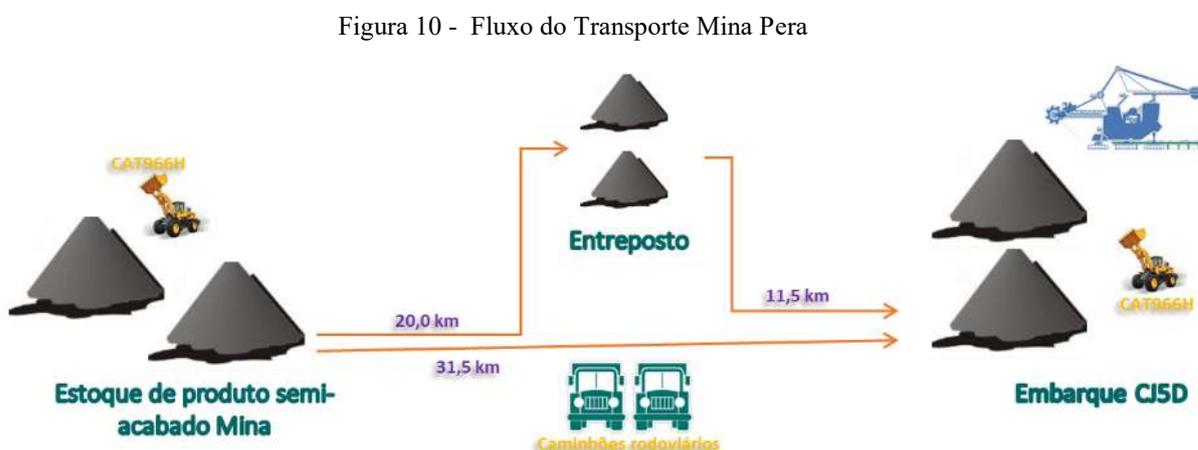


Fonte: Gerência de Planejamento de Mina Manganês, 2018

## 6 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA E ELABORAÇÃO DE UMA METODOLOGIA DE OTIMIZAÇÃO

O foco deste estudo na Mina de Manganês do Azul, é a operação do transporte mina pera no qual tem o objetivo de transportar dos produtos da mina até ao pátio de expedição em Carajás, sendo que todo o transporte é feito por caminhões rodoviários percorrendo uma distância média de transporte de 31,5 km.

Na figura 10, mostra o fluxo de transporte mina pera desde a sua fase na Mina de Manganês do Azul até o pátio de expedição ferroviária na Mina de Carajás.



Fonte: Gerência de Planejamento de Mina Manganês, 2018

Atualmente, as pilhas de produto semiacabado com exceção das pilhas de produto de barragem estão localizadas no pátio abaixo da usina. Com isso para a realização da sua retomada se faz necessário percorrer uma distância média de transporte de 31,5 km.

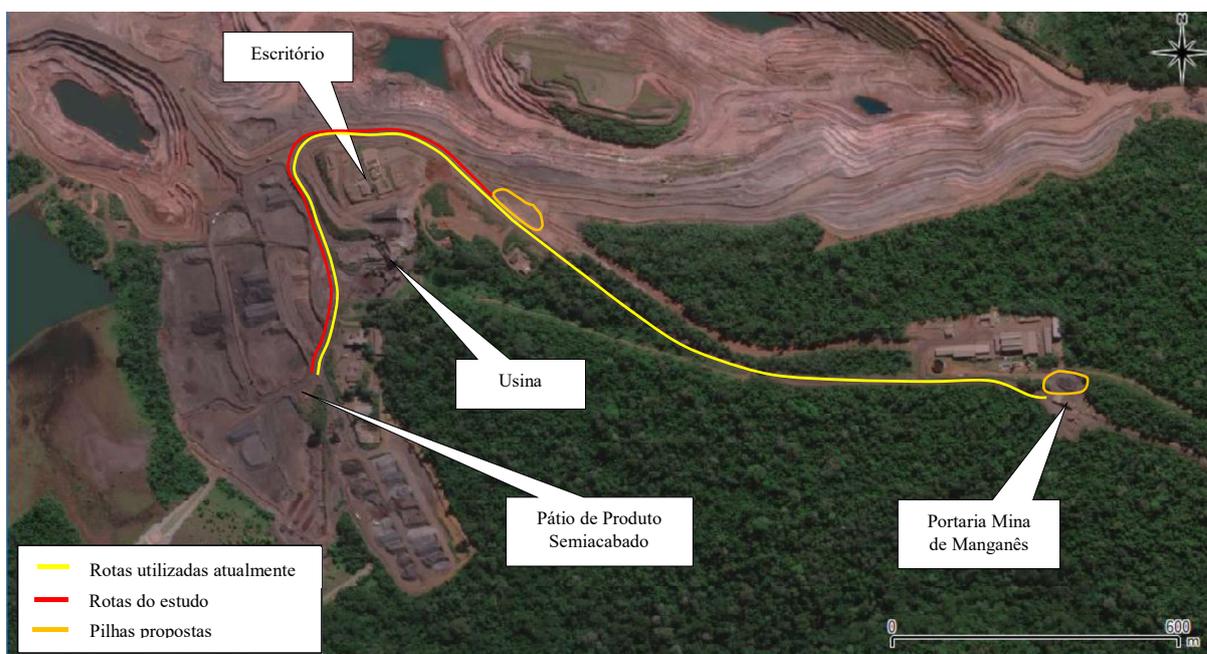
Além de que principalmente no período chuvoso encontra-se muitas dificuldades operacionais, pois todo o acesso abaixo do escritório central que tem uma DMT de 1,3 km de trecho não pavimentado e com o perfil de transporte na maior parte deste percurso sendo ascendente, que com o aumento do índice pluviométrico as dificuldades são de grande relevância.

Além disso, durante o período chuvoso se faz necessário realizar o transporte mina para estrategicamente em sua maioria sendo de produto de médio granulado (MG), devido as dificuldades de manuseio na expedição ferroviária e conseqüentemente no embarque.

Ademais utiliza-se estrategicamente o transporte de sinter feed (MF) no período chuvoso para o entreposto (pátio intermediário de produto) para que durante o período seco se possa realizar o transporte para a expedição e em cumprimento ao plano de produção.

Na figura 11, mostra as rotas utilizadas atualmente e os locais para as disposições de pilhas futuras.

Figura 11 - Vista geral do acesso (em vermelho as rotas do estudo)



Fonte: Gerência de Planejamento de Mina Manganês, 2018

## 7 CARACTERIZAÇÃO DA PRODUTIVIDADE E CUSTOS NA SITUAÇÃO ATUAL

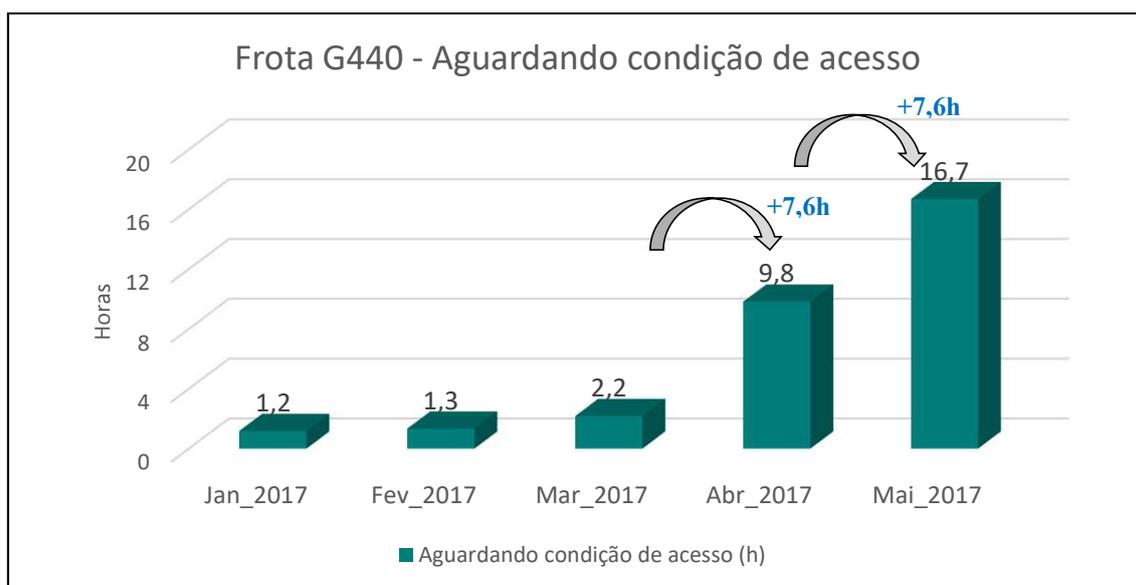
Diante o cenário atual da Mina de Manganês do Azul, verificou-se a necessidade de possíveis alternativas dos pátios de estocagem considerando a capacidade, distância média de transporte e características geométricas das vias.

A partir de maio do ano de 2017 com a entrada de bitrem, percebeu-se um aumento significativo com as horas paradas por condições de acesso, destacando o trajeto do pátio de semiacabado até o início do trecho pavimentado próximo a entrada do escritório central da Mina de Manganês do Azul.

Ressalta-se que as horas aguardando condição de acesso é um dado que se destaca pois há uma perda considerável e com isso uma evolução das horas aguardando condição de acesso da frota G440, com destaque para o mês de maio de 2017 devido o início das operações da frota Scania G480 bitrem.

Pode-se observar na figura 12, a evolução das horas improdutivas, aguardando condição de acesso.

Figura 12 - Aguardando condição de acesso (Frota G440)

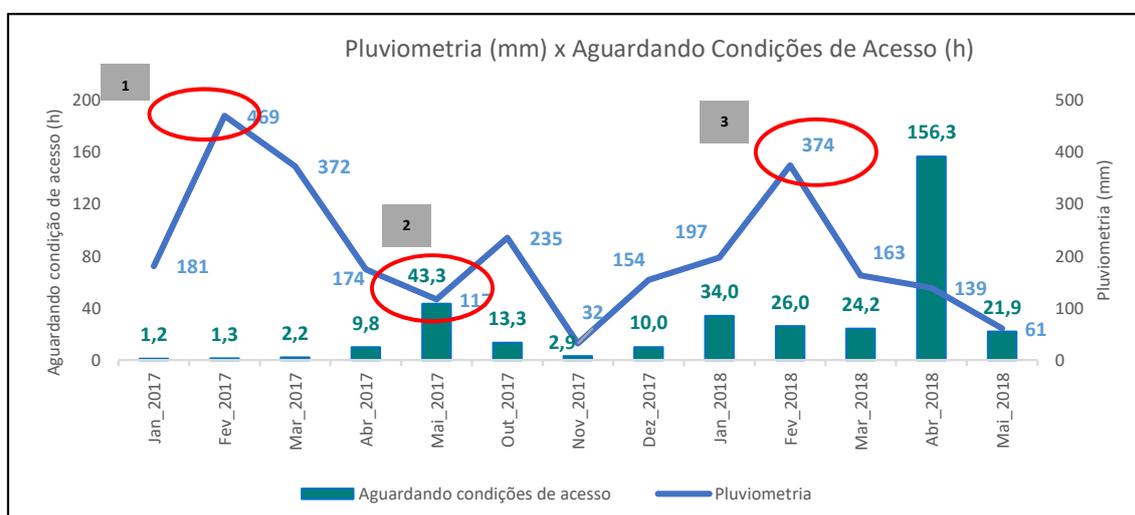


Fonte: Gerência de Planejamento de Mina Manganês, 2018

O período de estudo se dá a partir de maio de 2017, devido a entrada da frota G480, bitrem, dando continuidade no último trimestre do ano de 2017 devido à elevação do índice pluviométrico e conclui-se nos cinco primeiros meses de 2018 onde fecha o ciclo do período com maior índice pluviométrico que necessita de maior manutenção nos acessos.

Pode-se observar na figura 13, a relação da pluviometria com as horas paradas aguardando condição de acesso, com destaque nos meses de fevereiro de 2017, maio de 2017 e fevereiro de 2018.

Figura 13 - Pluviometria x Perdas no acesso



Fonte: Gerência de Planejamento de Mina Manganês, 2018

Destaca-se três pontos no gráfico:

- No ponto 1, constata-se que mesmo com índices mais elevados de chuva, a perda por condições de acesso não é muito significativa, pois ainda não estava em operação a frota Scania G480 (bitrem).
- No ponto 2, para o mês de maio de 2017, destaca-se um aumento significativo das perdas das horas aguardando condição de acesso em virtude do início da operação da frota Scania G480 (bitrem).

- No ponto 3, observa-se que mesmo com o alto índice pluviométrico, as perdas por condições de acesso foram menores. Porém isto se deve ao fato da baixa disponibilidade da frota Scania G480 bitrem que foi de 61,53% para uma meta de 78,60% e da frota Scania G440 que foi de 58,01% para uma meta de 72%.

Constata-se que no período de menor índice pluviométrico as paradas por condições de acesso diminuem, porém quando ocorre o aumento do índice pluviométrico, a trafegabilidade é afetada, pois o acesso não oferece condições favoráveis, com isso o índice de aguardando condição de acesso aumenta consideravelmente, além do trabalho de infraestrutura que se faz necessário para a liberação do acesso em condições operacionais, ou seja a trafegabilidade sempre com a maior segurança possível.

Diante dos dados expostos acima, conclui-se que é de fundamental importância um estudo para que se possa diminuir as horas improdutivo aguardando condição de acesso.

## 8 APLICAÇÃO À MINA DE MANGANÊS DO AZUL

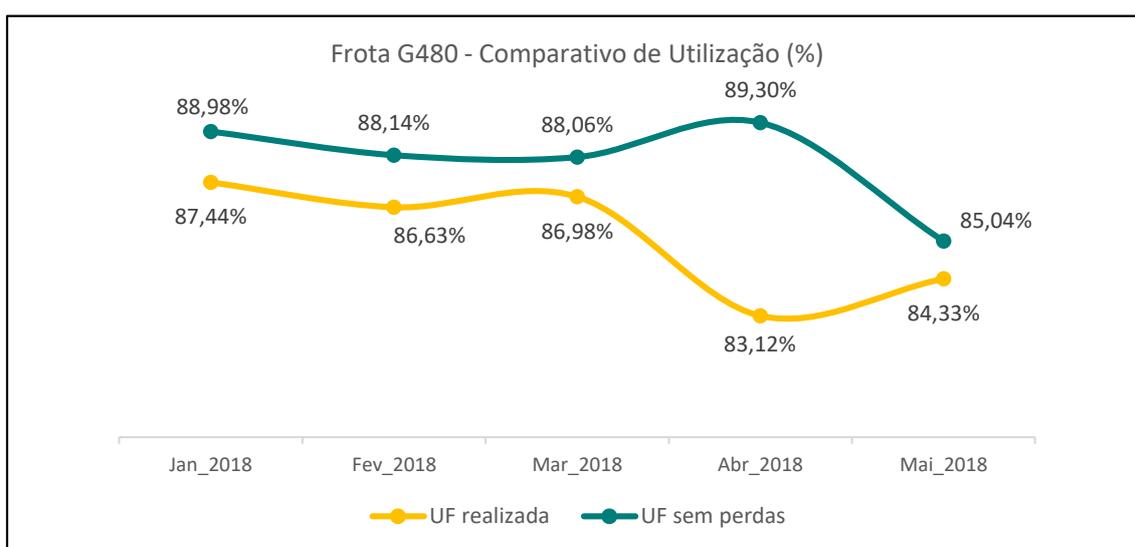
A importância do estudo de criar pilhas em condições mais favoráveis se faz realmente necessário. Diante disto foi proposto realizar a disposição de pilhas em condições mais favoráveis, ou seja, em locais nos quais houvesse uma capacidade que pudesse absorver a frota Scania do transporte mina pera, com o intuito de dirimir as perdas por condições de acesso.

Este estudo é de extrema importância pois a partir de de 2019, a operação do transporte mina será realizada somente pela frota Scania G480 bitrem.

Ressalta-se que somente do período de janeiro a maio do ano de 2018, as paradas por condições de acesso, ou seja, a frota de caminhões fica parada aguardando a manutenção do acesso para a trafegabilidade com maior segurança possível. Somente neste período as horas aguardando condição de acesso da frota bitrem totalizaram 220h.

Destaca-se na figura 14 o comparativo de utilização com a utilização física de janeiro a maio de 2018 realizada dos caminhões da frota G480 e a utilização que seria realizada sem as perdas por condições de acesso. Pode -se perceber que em média a diferença chega a 2% sendo com destaque para o mês de abril onde chega a 6%.

Figura 14 - Comparativo de Utilização realizada e sem perdas por condições de acesso



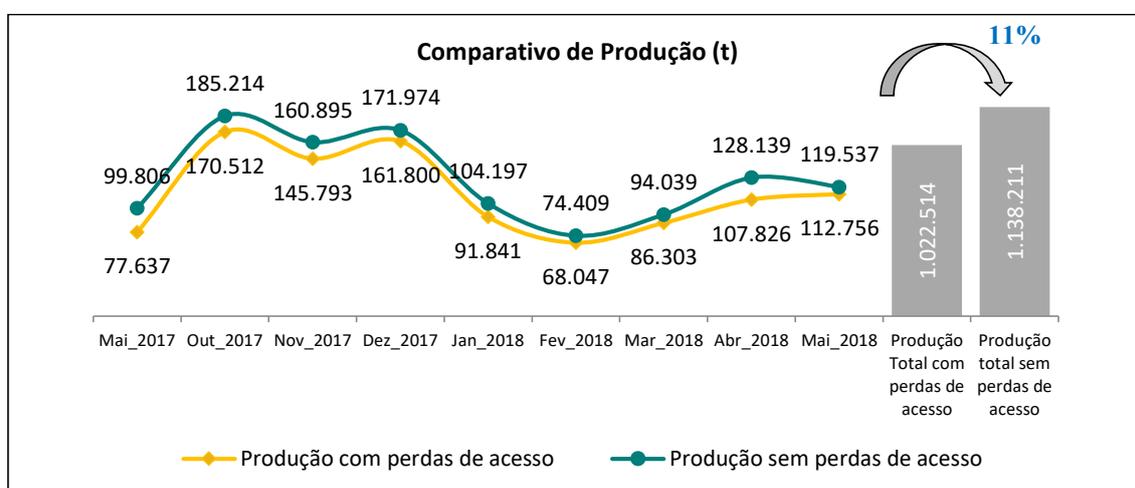
Fonte: Gerência de Planejamento de Mina Manganês, 2018

As perdas de utilização, devido as horas aguardando condição de acesso, tem-se um impacto direto na massa a ser transportada, ou seja, na produção.

Calculou-se então qual seria a massa transportada se não houvesse perda por condições de acesso durante o período de estudo.

Na figura 15, demonstra-se um comparativo em cada mês do período de estudo com a produção que foi realizada com as perdas por condições de acesso e a produção que seria realizada não havendo perdas no processo por aguardando condições de acesso.

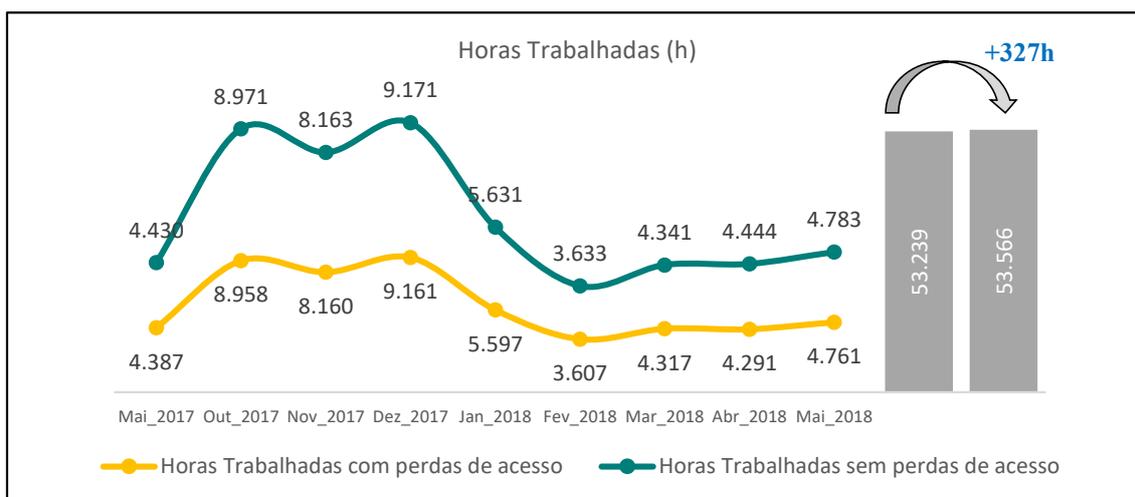
Figura 15 - Comparativo de Produção



Fonte: Gerência de Planejamento de Mina Manganês, 2018

Além disso, demonstra-se na figura 16, um comparativo das horas trabalhadas da frota Scania G480 e G440 para o período de estudo. Neste comparativo, as horas trabalhas com parada refere-se ao tempo que a frota ficou aguardando por condição de acesso e as horas trabalhas sem paradas refere-se as horas paradas somadas com as horas aguardando condição de acesso, ou seja, as horas trabalhadas sem perda por condição de acesso.

Figura 16 - Comparativo de Horas Trabalhadas



Fonte: Gerência de Planejamento de Mina Manganês, 2018

Ressalta-se que no período de estudo (maio, outubro a dezembro de 2017 e janeiro a maio de 2018), totalizaram-se 327 horas aguardando condição de acesso. Este dado se destaca pois há uma perda considerável das horas improdutivas, que é aguardando condição de acesso. Sendo que o mês de maio de 2017, foi o início das operações da frota Scania G480 bitrem e com destaque para o mês de abril de 2017 onde observa-se o impacto relevante, devido ao maior índice pluviométrico.

Considerando-se os índices realizados no período de estudo, calculou-se a produtividade, aplicando o modelo de produtividade expresso em toneladas por hora e os custos expressos em reais (NAVARRO TORRES, V.F., 2017) conforme as equações citadas acima no item 3.1.

Aplicando o modelo de produtividade e custo obtém-se os seguintes dados, conforme tabela 1:

Tabela 1 - Dados calculados da frota Scania G480 e G440

Situação	Aguardando condição de acesso (h)	HT (h)	Pt (t/h)	Massa (Mt)	Custo (R\$/t)
Scania G480 e G440 (antes)	327	53.239	14,4	1,022	20,1

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Pode-se observar que estocar em áreas mais favoráveis possibilita um ganho de horas trabalhadas, produtividade e conseqüentemente a massa a ser transportada.

## **8.1 SOLUÇÃO PROPOSTA**

A solução encontrada para dirimir as perdas por condições de acesso foi a construção de novas pilhas em locais estratégicos, sendo estas pilhas de alta rotatividade, para que se tenha opções de disposição de semiacabado e com isso não haja a necessidade de interromper o transporte mina pera (Mina até a pera ferroviária).

Nos próximos subtópicos seguem os projetos realizados para a construção destas pilhas em locais mais favoráveis, sendo que algumas já estão concluídas e já estão sendo utilizadas na realização do estoque de produto semiacabado.

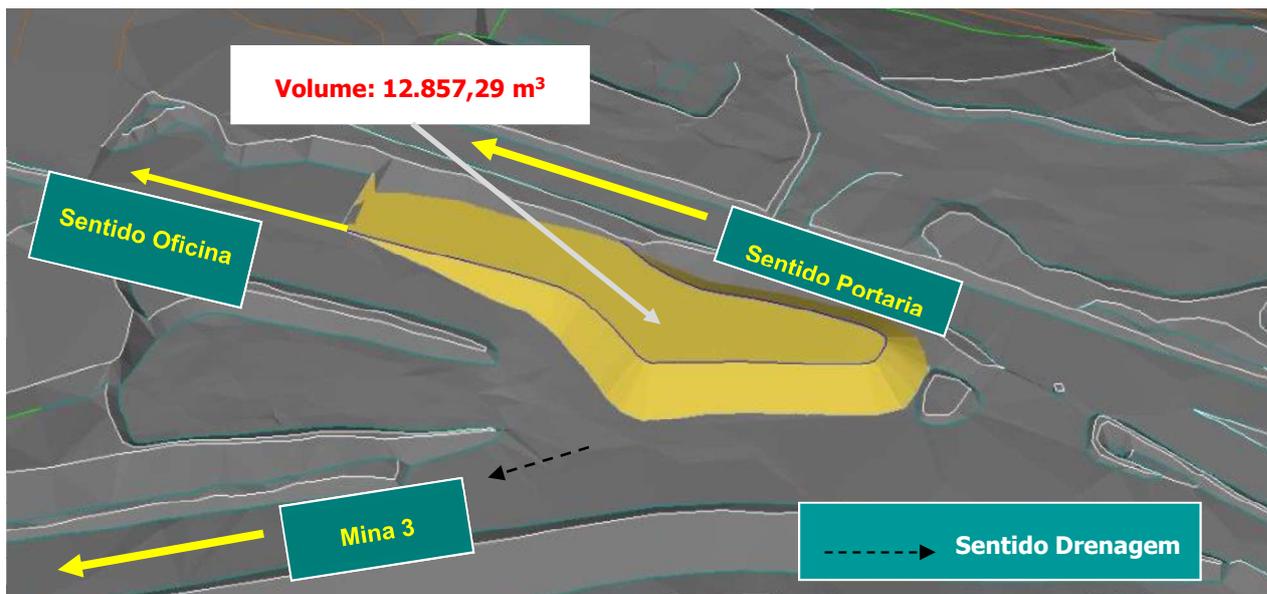
### **8.1.1 PROJETO DE PILHA NO TREVO DO ACESSO PARA A MINA 03**

Uma das alternativas foi a construção de uma pilha no trevo do acesso da mina 03 e o escritório central. A localização desta pilha é bem estratégica, pois possibilita que todo o trajeto que era realizado em uma via de pavimentação secundária dentro da mina de Manganês do Azul, não precise mais ser realizado. Com isso elimina-se as perdas por condições de acesso, além de melhorar significativamente o perfil de transporte, que além de eliminar uma DMT de 1,6 km, evita-se trechos com aclive e declive que não serão mais percorridos.

Esta nova pilha já se encontra disponível e já está recebendo a disposição de produto de semiacabado.

A figura 17, mostra-se a geometria de formação da pilha e a sua capacidade volumétrica.

Figura 17 - Pilha trevo acesso mina 03



Fonte: Gerência de Planejamento de Mina Manganês, 2018

### 8.1.2 PROJETO DE PILHA PORTARIA

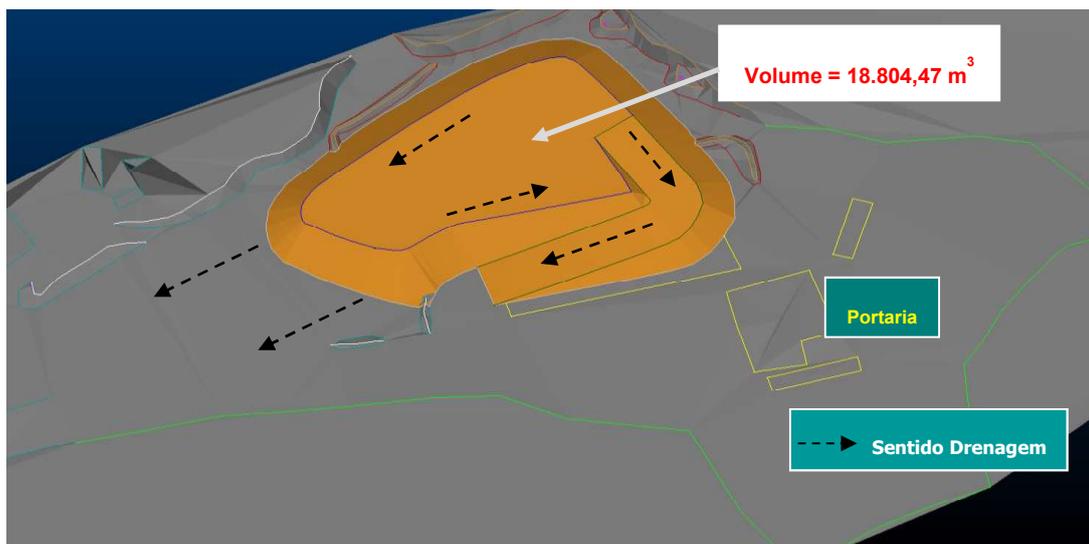
Uma outra alternativa estudada foi a construção de uma pilha ao lado da portaria da Mina de Manganês do Azul, neste local existia algumas interferências de estruturas como por exemplo uma tenda que servia de apoio a operação de mina, mas já foi eliminada.

Com a construção desta pilha elimina-se um trajeto que era percorrido até o pátio de produto semiacabado de 2,8 km. Isto foi fundamental pois além do ganho de DMT, o perfil de transporte fica mais favorável, pois evita-se trechos com alicive e declive.

Esta nova pilha já se encontra disponível e já está recebendo a disposição de produto de semiacabado.

A figura 18, mostra-se a geometria de formação da pilha e a sua capacidade volumétrica.

Figura 18 - Pilha Portaria



Fonte: Gerência de Planejamento de Mina Manganês, 2018

### 8.1.3 PROJETO DE PILHA ACESSO PORTARIA

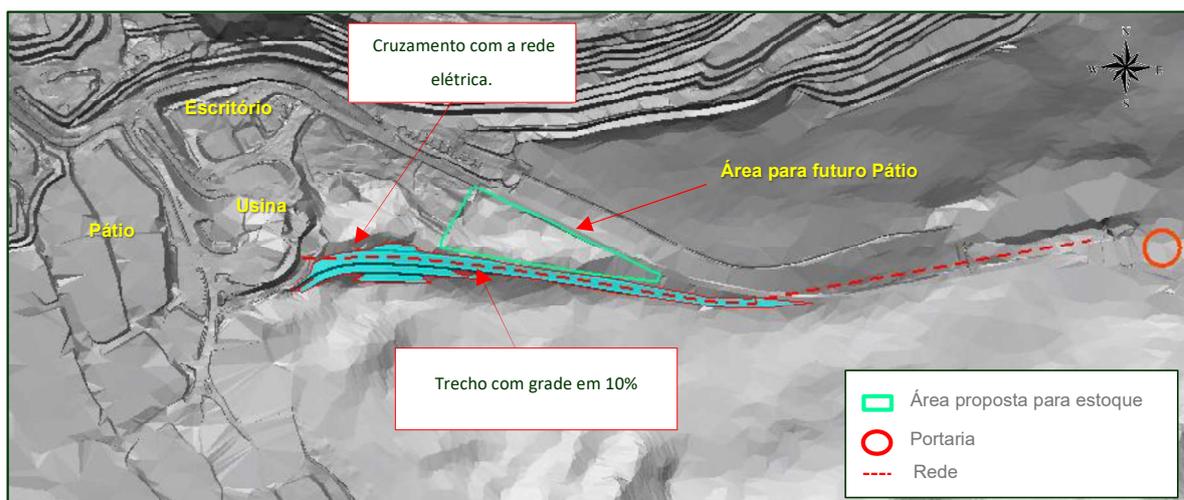
Realizou-se também outros estudos em outras áreas da Mina de Manganês do Azul, para que se pudesse ter mais opções de disposição de produto semiacabado.

Para as duas opções, conforme figura 19 e 20, haverá a necessidade de supressão vegetal, que terá início o processo de licenciamento no IBAMA em 2019. Mas cabe destacar que é de extrema relevância, pois pensando já na cava final de Mina de Manganês do Azul, onde não teremos mais como acessar o pátio de produto de semiacabado, e este novo acesso será fundamental para permitir que continue com a acessar o pátio de produto e também permitirá a criação de uma novas área para a disposição de produto semiacabado, com isso mantendo o foco em redução de perdas por condições de acesso.

Cabe ressaltar que já foi solicitado junto ao IBAMA, o processo de supressão desta área, para que já no ano de 2019 possa-se iniciar a disposição de produto semiacabado nesta nova área.

A figura 19, mostra a primeira opção de um novo acesso e a área para a construção da nova área de disposição de produto semiacabado.

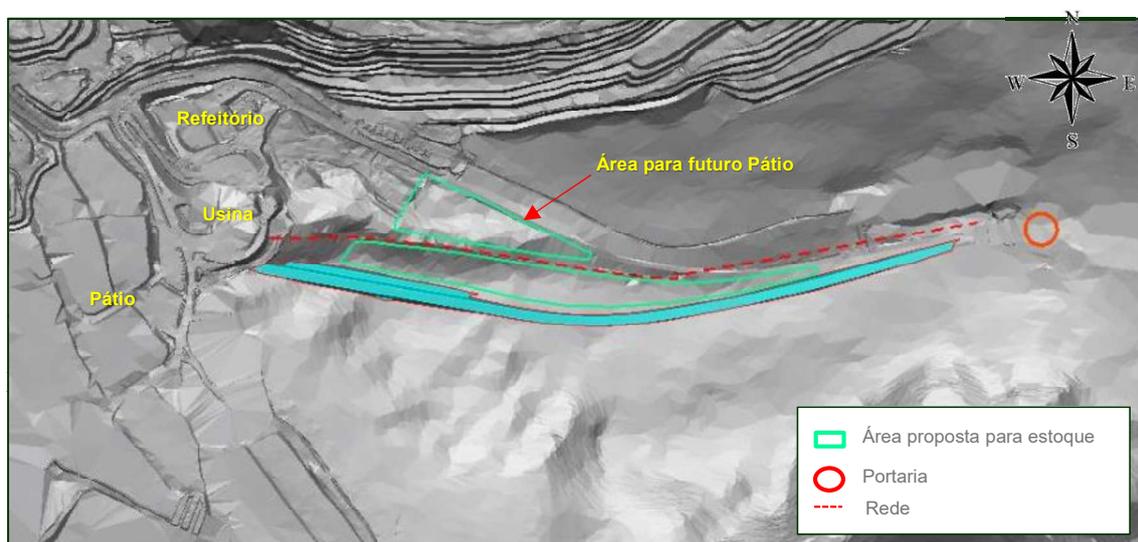
Figura 19- Pilha utilizando acesso existente



Fonte: Gerência de Planejamento de Mina Manganês, 2018

A figura 20, mostra a segunda opção de um novo acesso e a área para a construção da nova área de disposição de produto semiacabado.

Figura 20 - Pilha ao lado do acesso existente



Fonte: Gerência de Planejamento de Mina Manganês, 2018

## 8.2 CÁLCULOS COMPARATIVOS DE PRODUTIVIDADE E CUSTOS

Com os estudos das pilhas em locais mais favoráveis para a disposição de produto semiacabado, tem-se uma redução de 2 km de DMT, além do ganho de produtividade e massa transportada, devido a não mais haver perdas por aguardando condições de acesso.

Ressalta-se que o motivo é em função de não haver mais tráfego abaixo do escritório central, que é uma via não pavimentada e é onde havia-se as perdas por condições de acesso.

Calculou-se então a produtividade, aplicando o modelo de produtividade expresso em toneladas por hora e os custos expressos em reais (NAVARRO TORRES, V.F., 2017) conforme as equações citadas acima no item 3.1.

Aplicando o modelo de produtividade e custo obtém-se os seguintes dados comparativos, considerando com e sem as perdas por condições de acesso, conforme tabela 2:

Tabela 2 - Dados comparativos da frota Scania G480 e G440

Situação	Aguardando condição de acesso (h)	HT (h)	Pt (t/h)	Massa (Mt)	Custo (R\$/t)
Scania G480 e G440 (antes)	327	53.239	14,4	1,022	20,1
Scania G480 e G441 (depois)	0	53.566	15,4	1,131	18,9
Comparativo	0	327	1,0	0,108	1,3

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Observa-se que na tabela 1, há um aumento de horas trabalhadas em 327h, um aumento de 1,0 t/h na produtividade, a massa a mais que seria transportada é de 108.888t e um custo R\$/ht 1,3 menor do que foi praticada em no período de estudo. Esta massa corresponde em média a um mês de transporte mina pera.

Ressalta-se ainda a importância de que haverá uma redução no tempo de ciclo em função das perdas por condições de acesso, além de melhorar o perfil de transporte evitando aclives e declives que existem no trajeto atual.

### 8.3 COMPARATIVOS DE PRODUTIVIDADE E VENDA

Com os estudos das pilhas em locais mais favoráveis para a disposição de produto semiacabado, tem-se uma redução de DMT em torno de 2 km, além do ganho de produtividade, massa transportada e principalmente na venda, considerando sem perdas por aguardando condição de acesso. Ressalta-se que o motivo é em função de não haver mais tráfego abaixo do escritório central, que é em uma via não pavimentada e é onde ocorria as perdas por condição de acesso. Seguem os dados na tabela 3.

Tabela 3 - Dados comparativos de Venda

Situação	Aguardando condição de acesso (h)	HT (h)	Pt (t/h)	Massa (t)	Venda Mi (\$/t)
Scania G480 e G440 (antes)	327	0	14,4	0	0
Scania G480 e G441 (depois)	0	327	15,4	5.035	1.309,308
Comparativo	0	327	1,0	5.035	1.309,308

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Observa-se que na tabela 4 que além dos ganhos operacionais, tem-se um significativo lucro na venda do produto. Este resultado foi obtido considerando o preço de venda do minério de manganês por ponto metálico em torno de \$ 6,5 e o teor médio do produto da Mina de Manganês do Azul em 40%. Com a massa de 5.035 t que vai se obter sem haver as perdas por condições de acesso, o preço de venda fica em um lucro de \$ 1.309,309 milhões de dólares.

#### **8.4 INFRAESTRUTURA - GANHOS INTANGÍVEIS**

Além disso, faz-se necessário o deslocamento de equipamentos de infraestrutura para a adequação do acesso para as condições de tráfego do transporte mina para. Sabendo-se que as horas improdutivas de aguardando condição de acesso, da frota Scania G480 e G440, no período de estudo foi de 327 horas, ou seja, neste período foram utilizadas horas trabalhadas de equipamentos de infraestrutura, especificamente trator de esteira e motoniveladora. Com isso deixa-se de utilizar estes equipamentos na recuperação imediata deste acesso, pois toda vez que a frota de transporte fica parada por condições de acesso de imediato os equipamentos de infraestrutura atuam neste acesso.

Pode-se destacar ainda os ganhos intangíveis, principalmente com a segurança de toda a operação, como a diminuição da interface de equipamentos de grande porte com veículos leves (pois é o principal acesso a mina e usina), eliminação do risco de tombamento ao subir carregado em virtude de rampa principalmente no período chuvoso, diminuição do risco operacional quando ocorre desvios na operação como um desatolamento de equipamento, além da exposição dos empregados e risco de derrapagem e colisão.

Com isso faz-se necessário a criação de novas pilhas em condições mais favoráveis e que buscam dirimir as perdas no processo do transporte mina para.

## 9 CONSTRUÇÃO DE RAMPA PARA A REDUÇÃO DE DMT

Com o avanço de lavra na mina e já se pensando nos planos de lavra futuros, foi confeccionada uma rampa atrás do escritório central para que se possa acessar diretamente a usina quando o ROM estiver sendo transportado da mina 03.

Este acesso além de ser fundamental permitiu a redução de DMT de 0,6 km e será muito importante para a continuidade da lavra na mina.

Para isso foram necessárias relocações de rede elétrica, postes, tubulação de SPCI, água potável, RIPLA, além de haver a necessidade de instalação de um semáforo na entrada da mina, pois é um cruzamento de caminhões fora de estrada. Este trabalho foi iniciado em 2016 e está sendo concluído em 2018.

A lavra da mina 03 que é uma lavra de ROM de detrítico (litologia de manganês), para os próximos anos ela é de fundamental importância pois além de ser o minério de melhor performance tanto em recuperação quanto em qualidade de granulado e corresponde em média 30% do ROM.

Observa-se nas figuras 21 e 22, as estruturas antes da construção da rampa.

Figuras 21 - Estruturas existentes antes da construção da rampa. À esquerda, caixa d'água e tubulação de água potável: À direita: postes, fibra ótica e tubulação de spci.



Fonte: Gerência de Planejamento de Mina Manganês, 2018

Figuras 22 - Estruturas existentes antes da construção da rampa. À esquerda, postes, rede elétrica e postes: À direita: postes, fibra ótica, tubulação de spci e caixa d'água.



Fonte: Gerência de Planejamento de Mina Manganês, 2018

Após a remoção das estruturas existentes, construiu-se a rampa que foi importante para as operações de mina, ao reduzir a DMT e possibilitar outro acesso para qualquer estratégia operacional.

Observa-se na figura 23 o formato final da rampa, após a remoção das estruturas.

Figuras 23 - Rampa construída e a remoção das estruturas existentes. À esquerda, semáforo, leiras e o início da rampa: À direita: rampa construída e ao fundo o pulmão da usina.



Fonte: Gerência de Planejamento de Mina Manganês, 2018

Com a construção da nova rampa, foi necessário a implantação de um semáforo devido ao cruzamento com caminhões fora de estrada, alterando-se o fluxo para acesso muda devido a este trevo passar a ser área de mina.

Calculou-se então a produtividade, aplicando o modelo de produtividade expresso em toneladas por hora e os custos expressos em reais (NAVARRO TORRES, V.F., 2017) conforme as equações citadas no item 3.1.

Aplicando o modelo de produtividade e custo obtém-se os seguintes dados comparativos, considerando com e sem as perdas por condições de acesso, conforme tabela 4:

Tabela 4 - Dados calculados da frota Caterpillar 777

Situação	DMT (km)	Pt (t/h)	Massa (Mt)	Custo (R\$/t)
Caterpillar 777 (antes da rampa)	2,9	186,5	0,703	3,8
Caterpillar 777 (antes da rampa)	2,4	216,7	0,816	3,3
Comparativo	0,5	30,2	0,114	0,5

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Pode-se observar que com a redução da DMT de 500m, a produtividade passa para 30,2 t/h e o custo R\$/ht 0,5. Isso é fundamental, pois melhora o desempenho da frota, devido ao perfil de transporte que reduz o percurso em aclives e declives. Ressalta-se que a lavra que ocorre na mina 03, passa-se a usar este acesso pois todo o ROM desta mina passa por este novo acesso que foi construído.

Com a produtividade 30,2 t/h a massa a ser transportada seria de 114.000t a mais quando comparado com a produtividade anterior.

## 10 GANHOS ADICIONAIS OBTIDOS

Houve também um ganho significativo para o transporte de produto para atendimento ao mercado interno (Barbacena, Simões Filho na Bahia e em Ouro Preto), pois são as carretas da empresa contratada D' Granel, que fazem este transporte.

Com a nova disposição de pilhas de produto, próximo a portaria da Mina de Manganês do Azul, evita-se percorrer uma DMT de 2 km até o pátio de semiacabado, evitando também a necessidade de um batedor e ainda eliminando a exposição a riscos operacionais, pois não haverá a necessidade de utilizar o mesmo acesso que os equipamentos de mina.

Com a redução de DMT obtida na construção da nova rampa, os caminhões rodoviários que recebem o produto no silo da usina, passam a ter a opção de estoque nas pilhas que foram os objetivos deste estudo. Para isto manteve-se praticamente a DMT que é praticada para a disposição de produto do pátio de semiacabado.

Com construção da nova rampa, passa-se a ter duas opções de acessos tanto a mina quanto ao pátio de semiacabado. E isto é de fundamental importância, pois quando se tem duas opções, pode-se priorizar um dos acessos enquanto o outro é liberado e assim minimizando as perdas por condições de acesso.

E com este novo acesso, permitiu que aumentasse a capacidade do pulmão da usina em 100%, ou seja, o dobro. Isso foi de fundamental importância, pois podemos garantir maior flexibilidade de alimentação alinhados com a estratégia de mina.

## 11 CONCLUSÕES

Conclui-se que este estudo de caso da Mina de Manganês do Azul, demonstra na prática o aumento da produtividade e a redução de custos.

Com os resultados obtidos observou-se um aumento de produtividade no transporte de minério da mina em 16% e uma redução de custo em 8%. E para o transporte mina para ferroviária o aumento da produtividade foi de 7% e a redução de custo em 6%.

Neste estudo demonstrou-se que com as opções das novas pilhas, a estratégia operacional para direcionamento para a melhor pilha que ofereça a melhor alternativa para a frota de transporte comparado com as condições do transporte atual é sem dúvida uma boa prática o que pode-se observar na prática com excelentes ganhos. E ainda constatou-se na frota de transporte da mina e do transporte mina para uma redução da distância média de transporte objetivando uma melhor performance da frota.

A flexibilidade de ter dois acessos para um empreendimento mineiro é de extrema importância, pois possibilita flexibilidade operacional para todo o processo produtivo.

Os estudos mostraram que a importância da aplicação das alternativas propostas contribui significativamente nos custos, pois impacta diretamente no lucro de venda do produto na frota de transporte da mina para e para o transporte de mina.

Destaca-se ainda os ganhos intangíveis de segurança na operação de mina, devido as opções das disposições destas pilhas e das opções de acesso. Pois reduz significativamente a exposição de pessoas com a interface de equipamentos de mina eliminando os riscos operacionais como derrapagem, colisão, tombamento, etc.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ITV. Instituto Tecnológico Vale. **Notas de aula da disciplina Dimensionamento de Equipamentos de Lavra. Curso de Especialização em Lavra de Minas a céu aberto, 2017.**

Gerência de Planejamento de Curto e Médio Prazo, Mina de Manganês do Azul - **Documentos internos, 2018.**

Gerência de Operação e Manutenção, Mina de Manganês do Azul - **Documentos internos, 2018.**

NAVARRO TORRES V.F. **Material de aulas da disciplina Dimensionamento de Equipamentos para Lavra. Especialização em Lavra de Minas a Céu Aberto, ITV, 2017.**

NAVARRO TORRES V.F. **Modelo Matemático, ITV, 2017.**

ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA **G440, G480 e G480 Heavy Tipper**. Disponível em [www.scania.com](http://www.scania.com). Acesso em 17/10/2018.

ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA **CAT 777**. Disponível em [www.caterpillar.com](http://www.caterpillar.com). Acesso em 17/10/2018.