

FERNANDO MADEIRA PERISSE

**ABORDAGEM PARA DIMENSIONAMENTO DE UMA FROTA DE
CAMINHÕES**

São Paulo
2012

FERNANDO MADEIRA PERISSE

**ABORDAGEM PARA DIMENSIONAMENTO DE UMA FROTA DE
CAMINHÕES**

Trabalho de Formatura em Engenharia de Minas
do curso de graduação do Departamento de
Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo.

Orientador: Eng. Bruno Panachão Abilleira

São Paulo

2012

TF-2012

P419a

Syno 2448304

H 2012 d

DEDALUS - Acervo - EPMI



31700009734

FICHA CATALOGRÁFICA

Perisse, Fernando Madeira

Abordagem para dimensionamento de uma frota de caminhões / F.M. Perisse. -- São Paulo, 2012.

37 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo.

1. Transporte de carga 2. Minérios 3. Planejamento de transportes 4. Frota de caminhões (Dimensionamento) I.

Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo II.t.

A todos que considero família.

AGRADECIMENTOS

À equipe do escritório da CAE Mining da África do Sul e a todos os amigos que fiz durante meu ano de estágio, pela maravilhosa oportunidade que deram a mim e pelo companheirismo.

Agradeço também a todos que participaram do meu aprendizado durante todos esses anos, especialmente ao Bruno Panachão, que além de meu orientador e chefe foi um grande amigo.

A todos que me ajudaram na formulação deste trabalho e tantos outros durante minha graduação, em especial a Thammy que sempre esteve a disposição quando precisei.

A minha namorada Thaís que abriu toda uma nova perspectiva para a minha vida e é a companheira que sempre desejei.

Aos meus amigos, em especial ao Tico e sua família que são família para mim também.

O agradecimento final fica para Ricardo, Marilda e a Antônio Madeira, a quem devo tudo o que conquistei e tudo o que conquistarei. Vocês estarão para sempre guardados no meu coração e refletidos em quem eu sou.

“Sempre parece ser impossível, até ser realizado.”

Nelson Mandela

RESUMO

Na abertura de uma nova fase da vida de uma mina, pode ser necessário que um número de novos equipamentos sejam adquiridos. Este número precisa ser determinado através de algum método lógico baseado na produção desejada e no que foi determinado pelos responsáveis pelo planejamento quanto ao tempo disponível para o projeto. Este trabalho mostra um método possível para se chegar a este número levando em consideração fatores operacionais da mina como características das vias de acesso e capacidades de escavadeiras e perfuratrizes durante a remoção da quantidade necessária de estéril para um novo *pushback*.

Palavras-chave: Transporte, Planejamento, Frota de caminhões

ABSTRACT

In the beginning of a new phase in the mining process, it may be necessary to purchase some new equipment. The number of those new machines to be acquired must be determined by a logical method based on the expected production and on what was determined by the responsible for the planning process on the concern of available time for the project. This paper has the intention of showing one possible method to achieve this number taking into consideration operational factors of the mine like characteristics of access routes and working capacity of loaders and drill rigs during the stripping of the new push back.

Keywords: Transportation, Planning, Truck fleet

SUMÁRIO

1	Introdução	12
2	Objetivo	12
3	Revisão Bibliográfica	12
4	Materiais e Métodos	18
4.1	Softwares Utilizados	18
4.2	Abordagem proposta para o dimensionamento da frota de caminhões	18
4.3	Equipamentos.....	21
4.3.1	Caminhões	21
4.3.2	Escavadeiras	23
4.3.3	Perfuratrizes.....	23
4.4	Calendário	24
4.5	Objetivo de Produção.....	25
4.6	Cronograma Resultante.....	26
5	Resultados.....	27
6	Conclusão	30
7	Referências Bibliográficas.....	31
8	Anexo - A	33
9	Anexo – B.....	35

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. <i>Pushback</i>	14
Figura 2. Pushbacks Operacionais.....	14
Figura 3. Curva de Rimpull de um caminhão CAT 777D.....	16
Figura 4. Curva de Retardation de um caminhão CAT 777D.	17
Figura 5. Cava final com Rotas de Tráfego em destaque.	19
Figura 6. Configuração dos Caminhões.	22
Figura 7. Gráfico de <i>Rimpull</i>	22
Figura 8. Gráfico de Retardation.	23
Figura 9. Dados das Escavadeiras.	23
Figura 10. Configuração das DM30	24
Figura 11. Configuração das Pit Viper	24
Figura 12. Blocos da Bancada Número 1	26
Figura 13. Blocos da Bancada Número 5	27
Figura 14. Gráfico da Evolução do Número de Caminhões.....	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Trecho do arquivo de informações dos blocos a serem lavrados	20
Tabela 2. Trecho do Arquivo de Rampas.....	21
Tabela 3. Demonstrativo de dias e disponibilidade para 1º ano do projeto.....	25
Tabela 4. Metas x Cronograma Planejado.....	26
Tabela 5. Horas requeridas e Horas disponíveis por veículo	28
Tabela 6. Número de caminhões	28

1 INTRODUÇÃO

Na mineração, como em outros ramos de trabalho, é necessário sempre se pensar em otimização. Isso significa maximizar a relação entre a entrada de capital e os custos de investimento e de operação.

Para tal, são estudados diversos cenários a fim de se chegar a uma configuração ótima da cava do começo até o fechamento da mina, um sequenciamento que irá resultar no maior lucro em valor presente e associá-lo a um cronograma definido no tempo para que torne possível realizar operacionalmente o plano definido (Godoy et Dimitrakopoulos, 2004).

Com esses parâmetros de produção definidos, se torna possível dimensionar os equipamentos necessários em relação a capacidade e quantidade para que o projeto seja realizado de acordo com o esperado.

O objetivo deste trabalho é mostrar um método de dimensionamento de uma frota de caminhões utilizando um *software* conhecido por ISTS (Interactive Short Term Scheduler) para um projeto de remoção de estéril para expor o corpo mineralizado na abertura de uma nova fase de uma mina de diamantes localizada em Botswana.

2 OBJETIVO

- Propor uma abordagem adequada para o dimensionamento de uma frota de caminhões
- Aplicar tal abordagem em um exemplo real na mina previamente citada.
- Avaliar os resultados obtidos com a utilização deste método.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Hartman (1987) pontua que o fluxo de caixa no início da vida de uma mina é muito mais crítico que em seu final. Para garantir então um plano de lavra não somente operacional mais eficiente em termos de fluxo de caixa, Mathieson (1982) destacou 8 pontos importantes na realização de um plano de lavra a céu aberto, dos quais os mais importantes para este trabalho estão listados abaixo:

1. A mineração do corpo de minério deve ser feita de formas a minimizar o custo por unidade de peso.
2. A viabilidade operacional deve ser mantida.
3. O corpo de minério deve estar sempre suficientemente exposto para evitar que imprevistos nas informações diminuam significativamente a produção.
4. Maximizar os ângulos de talude minimizando riscos de segurança.
5. Realizar estudos de cenários variando equipamentos utilizados, métodos de lavra e cronogramas de produção a exaustão antes de começar o desenvolvimento.

Assim, uma sequência de extração é gerada para ser utilizada como guia durante o processo de determinação do cronograma de exploração da mina em questão (Ramazan et Dagdelen, 1998).

Para tanto é necessário que se analise vários cenários levando em conta o preço do minério, os custos, as reservas, ângulos de face, entre outros, até que se chegue em um desenho final para uma cava. Esses dados são normalmente alimentados em algum *software* que utilizam diferentes algoritmos (por exemplo Lerchs-Grossmann) para determinar a melhor solução econômica para cada caso (Caccetta et Hill, 2003).

Com os limites da cava final determinados, o depósito é dividido em cavas menores chamadas *pushbacks* que são, por sua vez, as configurações dentro da cava final que estarão em sequência da cava com maior valor econômico por tonelada para a de menor valor econômico por tonelada (Dagdelen, 2001). O objetivo da determinação de *pushbacks* é, portanto, guiar o cronograma de produção da mina para atingir satisfatoriamente os *targets* de produção, maximizar o fluxo de caixa, minimizar a relação estéril-minério e garantir a segurança dos ângulos de face durante a produção (Consuegra, 2010)

Dois exemplos (i e ii) de configuração de *pushbacks* gerados através dos algoritmos computacionais citados estão ilustrados na figura 1 abaixo.

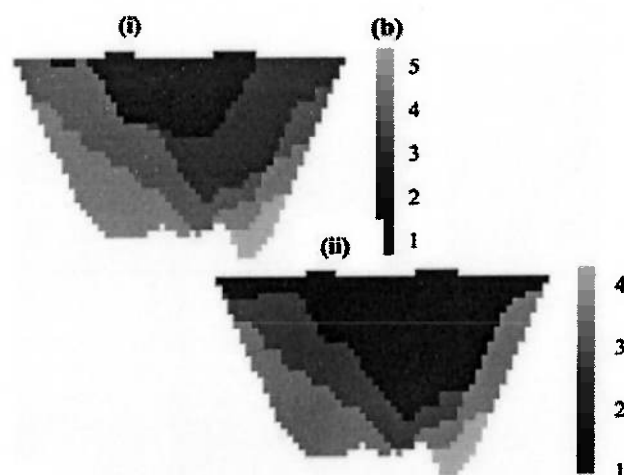


Figura 1. *Pushback*.

Estes modelos teóricos são transformados posteriormente em cavas operacionais como mostrado na figura 2 abaixo.

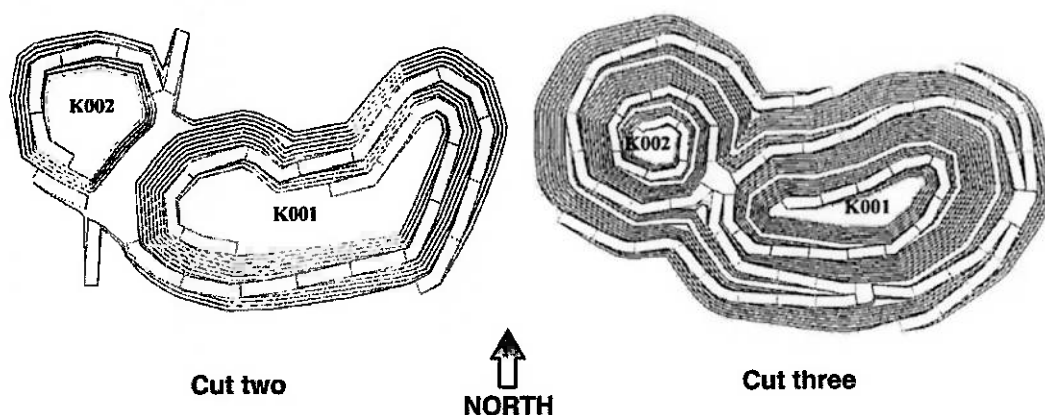


Figura 2. Pushbacks Operacionais.

Em grandes operações de lavra, no momento em que se decide começar uma nova fase, ou seja, começar a lavrar um novo *pushback*, pode ser que seja necessário realizar uma grande remoção de estéril em um espaço de tempo relativamente curto para que não se prejudique a alimentação de minério na planta.

Para isso é necessário que exista uma frota de equipamentos capaz de realizar este trabalho e que as rotas a serem percorridas estejam bem determinadas e em boas condições.

Por isso, vale a pena ressaltar que a manutenção das estradas pelas quais os caminhões fora de estrada irão passar deve ser muito bem feita uma vez que a quantidade de dinheiro envolvida na manutenção/operação desses equipamentos pode ser responsável por até 50% do custo

operacional de uma mina a céu aberto e que o desempenho dos caminhões está diretamente relacionado às condições das rotas pelas quais estes equipamentos irão transitar (Thompson, 2003).

Outro conceito que deve ser bem compreendido é o de tempo de ciclo. Segundo Krzyzanowska (2007), -consiste no tempo necessário para que o caminhão:

1. Faça a manobra se posicionando para a escavadeira carregá-lo;
2. Seja carregado;
3. Carregue o material até o ponto de descarga;
4. Faça a viagem de volta vazio;
5. Espere na fila até ser sua vez de ser carregado novamente.

Krzyzanowska (2007) em seu estudo em uma mina de diamantes na África do Sul pontua ainda que o uso de diferentes tipos de caminhão numa mesma mina causa um aumento no tempo de ciclo em geral assim como diminuição da produtividade. Isso porque cada tipo de caminhão tem características diferentes o que pode gerar engarrafamento nas rampas e aumento das filas de espera.

É importante ressaltar também a respeito dos tempos de ciclo que a medida que a mina se aprofunda, eles tendem a aumentar devido as distancias que também aumentam. Isso demandará um número maior de caminhões para que a produtividade não decresça (Krause et Musingwini, 2007) o que poderá causar ainda mais engarrafamento.

Para estimar-se esse tempo, devemos nos ater aos pontos supracitados e dividi-lo em tempo parado e tempo movendo-se. O tempo parado pode ser estimado através de análises estatísticas, com os dados históricos da mina ou empiricamente. O tempo movendo-se pode ser estimado empiricamente ou através de simulações.

Essas simulações são baseadas na relação dada pelo *Rimpull*, pelo gradiente do terreno e a velocidade com a qual o veículo tem a capacidade de se movimentar (Perdomo, 2001).

Rimpull é por definição a força que se deve gerar na borda de um volante para que se obtenha o torque necessário no centro do mesmo (site termwiki).

Essa relação é dada por uma curva como a mostrada abaixo.

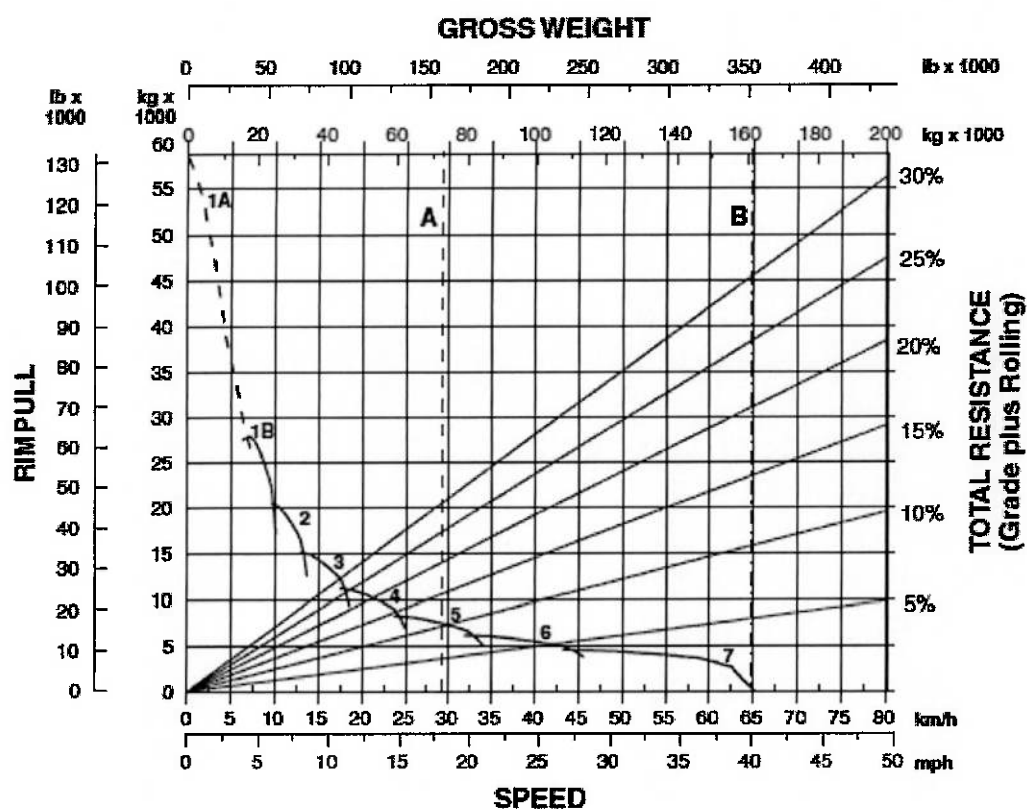


Figura 3. Curva de Rimpull de um caminhão CAT 77D.

No Anexo - A é dado um exemplo de utilização deste tipo de curva.

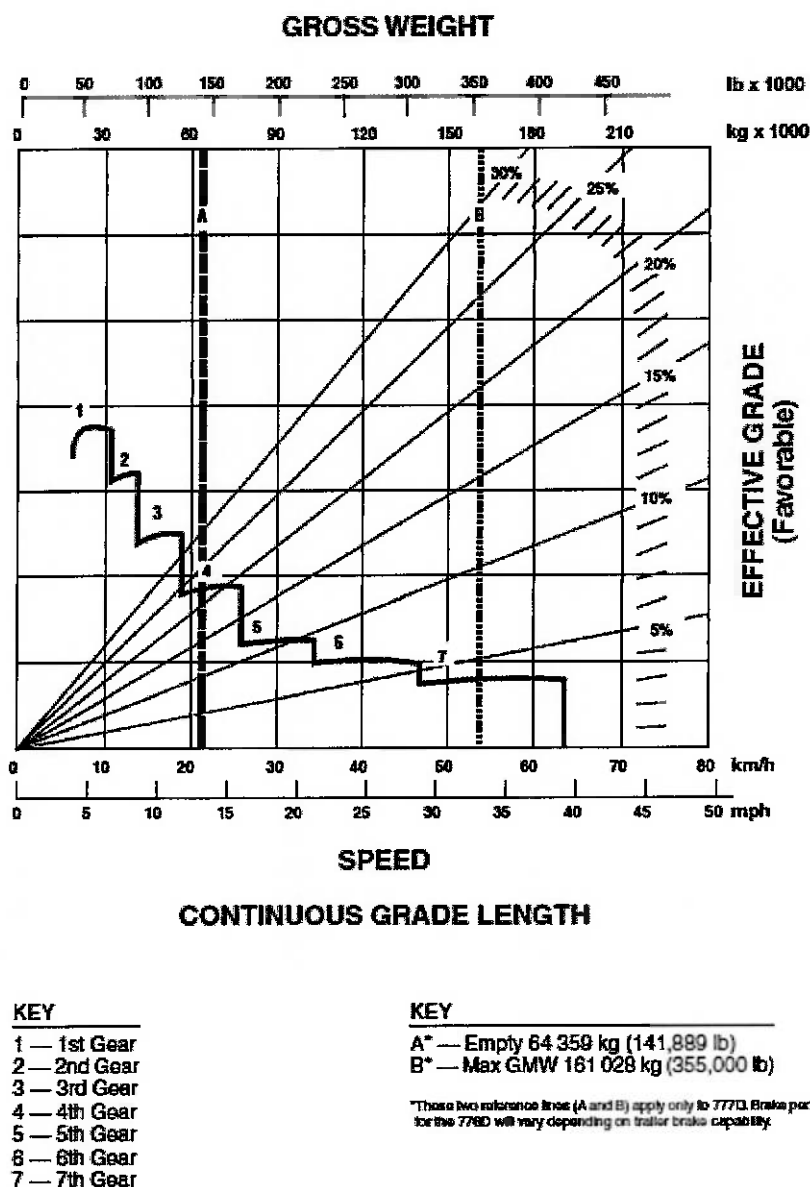


Figura 4. Curva de Retardation de um caminhão CAT 777D.

A figura 4 mostra o gráfico de *Retardation* do mesmo caminhão 777D. *Retardation* nada mais é do que a energia gasta pelo sistema para segurar o veículo em uma determinada velocidade, naquele gradiente, ou seja, pode-se entender *Retardation* como sendo o *Rimpull* quando o veículo está num gradiente negativo.

Portanto, para se dimensionar o tamanho que uma frota de caminhões fora de estrada deve ter, é preciso conhecer:

1. O caminho a ser percorrido até o ponto de descarga;
2. As características do veículo a ser utilizado;
3. O tempo que a escavadeira leva para carregar o mesmo;
4. Uma estimativa do tempo de espera por ciclo;
5. A quantidade de material a ser removido e;
6. A janela de tempo total disponível para que o trabalho seja realizado.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 SOFTWARES UTILIZADOS

Os *softwares* utilizados na realização desse trabalho foram o Studio 3 e seu *plug-in* ISTS (*Interactive Short Term Scheduler*) da CAE Mining.

4.2 ABORDAGEM PROPOSTA PARA O DIMENSIONAMENTO DA FROTA DE CAMINHÕES

A metodologia utilizada foi baseada no *Interactive Short Term Scheduler* e foi desenvolvida para a aplicação que é tema deste trabalho.

Este *software* funciona como uma interface que torna possível, através de recursos visuais como mostrado na figura abaixo, relacionar-se todos os dados necessários para a solução do problema.

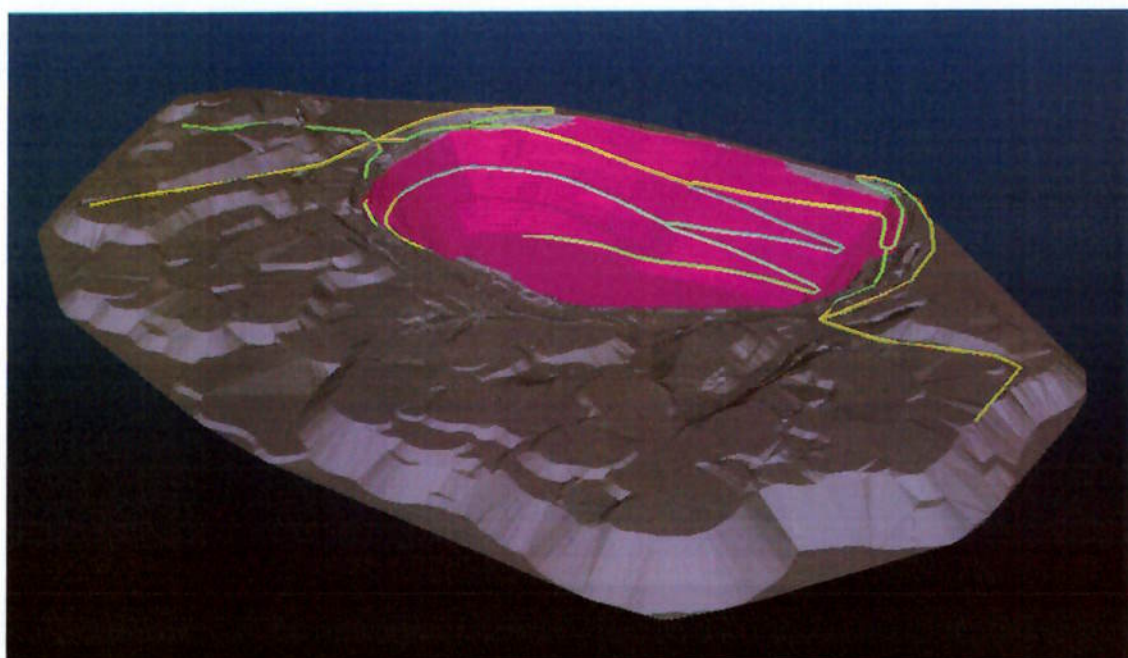


Figura 5. Cava final com Rotas de Tráfego em destaque.

Os cálculos são feitos de acordo com os calendários de manutenção programada, dos dados característicos dos caminhões (Anexo – B) produções horárias de todos os outros equipamentos envolvidos na operação como perfuratrizes e escavadeiras, informações de disponibilidade, bem como qualquer outra informação que se julgue necessária adicionar aos blocos a serem lavrados (e.g. litologia, área, número da bancada, teor de minério). Estas informações ficam armazenadas em um único arquivo que será utilizado durante todo o processo de construção do cronograma.

Tabela 1. Trecho do arquivo de informações dos blocos a serem lavrados

LITO	BLOCKID	DENSITY	VOLUME	TONNES	CPM3	CPHT	R/CPHT	CARATS	RFACTOR	BENCH AREA
ROCHA 1	4100	0	0	0	0	0	0	0	0	20 65,707
ROCHA 2	4100	0	0	0	0	0	0	0	0	20 65,707
ROCHA 3	4100	0	0	0	0	0	0	0	0	20 65,707
ROCHA 4	4100	0	0	0	0	0	0	0	0	20 65,707
ROCHA 5	4100	0	0	0	0	0	0	0	0	20 65,707
ROCHA 6	4100	0	0	0	0	0	0	0	0	20 65,707
ROCHA 7	4100	0	0	0	0	0	0	0	0	20 65,707
ROCHA 8	4100	2.408	7.627171	18.328093					1.04	20 65,707
ROCHA 9	4100	0	0	0	0	0	0	0	0	20 65,707
ROCHA 10	4100	0	0	0	0	0	0	0	0	20 65,707
ROCHA 11	4100	0	0	0	0	0	0	0	0	20 65,707
ROCHA 12	4100	0	0	0	0	0	0	0	0	20 65,707
ROCHA 13	4100	0	0	0	0	0	0	0	0	20 65,707
ROCHA 14	4100	2.73	475855.4688	1299085.375					0	20 65,707
ROCHA 15	4100	2.260489	174746.5	395012.625					1.09	20 65,707
ROCHA 16	4100	0	0	0	0	0	0	0	0	20 65,707
ROCHA 17	4100	0	0	0	0	0	0	0	0	20 65,707
ROCHA 18	4100	2.77	243.852463	675.471313					0	20 65,707
ROCHA 19	4100	2.274	400479.0813	910689.3125					0.71	20 65,707
ROCHA 1	4200	0	0	0	0	0	0	0	0	23 11,868
ROCHA 2	4200	0	0	0	0	0	0	0	0	23 11,868
ROCHA 3	4200	0	0	0	0	0	0	0	0	23 11,868
ROCHA 4	4200	0	0	0	0	0	0	0	0	23 11,868
ROCHA 5	4200	0	0	0	0	0	0	0	0	23 11,868
ROCHA 6	4200	0	0	0	0	0	0	0	0	23 11,868
ROCHA 7	4200	0	0	0	0	0	0	0	0	23 11,868
ROCHA 8	4200	0	0	0	0	0	0	0	0	23 11,868
ROCHA 9	4200	0	0	0	0	0	0	0	0	23 11,868
ROCHA 10	4200	0	0	0	0	0	0	0	0	23 11,868
ROCHA 11	4200	0	0	0	0	0	0	0	0	23 11,868
ROCHA 12	4200	0	0	0	0	0	0	0	0	23 11,868
ROCHA 13	4200	0	0	0	0	0	0	0	0	23 11,868
ROCHA 14	4200	2.73	189825.6875	518224.0938					0	23 11,868
ROCHA 15	4200	0	0	0	0	0	0	0	0	23 11,868
ROCHA 16	4200	0	0	0	0	0	0	0	0	23 11,868
ROCHA 17	4200	0	0	0	0	0	0	0	0	23 11,868
ROCHA 18	4200	2.77	59.67915	165.311249					0	23 11,868
ROCHA 19	4200	0	0	0	0	0	0	0	0	23 11,868

Aliado a esses dados, as informações de gradiente dos diversos segmentos de rampa, distâncias a serem percorridas, pontos de descarga de material e velocidades máximas permitidas em cada trecho e resistência de rolagem; provenientes do arquivo (Tabela 2) que contém as linhas verdes mostradas na figura 5, completam a gama de informações necessárias para a realização dos tempos de ciclo de cada caminhão.

Tabela 2. Trecho do Arquivo de Rampas.

YP (N)	YP (N)	ZP (N)	PTH (N)	PVALUE (N)	STRNGID (N)	POINTID (N)	LSTYLE (N)	SYMBOL (N)	COLOUR (N)	MAXSPEED (N)	ROLLRES (N)
-29981.38452	-13357.52825	834	1	4	4	1	1001	201	1	40	3
-30175.64284	-13560.40869	850	2	4	4	2	1001	201	1	40	3
-30175.64284	-13560.40869	850	1	5	5	1	1001	201	1	40	3
-30340.25878	-13678.89412	866	2	5	5	2	1001	201	1	40	3
-30340.25878	-13678.89412	866	1	6	6	1	1001	201	1	40	3
-30451.10478	-13724.9293	876.6627333	2	6	6	2	1001	201	1	40	3
-30512.0669	-13754.0017	881.5326	3	6	6	3	1001	201	1	30	3
-30524.92875	-13774.26148	883.3333333	4	6	6	4	1001	201	1	20	3
-30546.10423	-13787.9165	883.3333333	5	6	6	5	1001	201	1	10	3
-30547.07068	-13802.83812	882	6	6	6	6	1001	201	1	5	3
-30547.07068	-13802.83812	882	1	7	7	1	1001	201	1	5	3
-30529.54042	-13814.95108	883.3333333	2	7	7	2	1001	201	1	10	3
-30527.16456	-13818.88455	882	3	7	7	3	1001	201	1	20	3
-30503.42926	-13819.6442	882.1377	4	7	7	4	1001	201	1	40	3
-30469.24102	-13805.6673	883.9645	5	7	7	5	1001	201	1	40	3
-30290.95399	-13714.91602	898	6	7	7	6	1001	201	1	40	3
-30290.95399	-13714.91602	898	1	8	8	1	1001	201	1	40	3
-30117.92626	-13616.72069	914	2	8	8	2	1001	201	1	40	3
-30117.92626	-13616.72069	914	1	9	9	1	1001	201	1	40	3
-30052.21433	-13563.05815	920.7958	2	9	9	2	1001	201	1	40	3
-29990.36609	-13515.33878	926.9319333	3	9	9	3	1001	201	1	40	3
-29956.96524	-13497.99806	927.8556691	4	9	9	4	1001	201	1	30	3
-29926.91207	-13483.7754	928.6373482	5	9	9	5	1001	201	1	25	3
-29900.32702	-13463.96544	930	6	9	9	6	1001	201	1	20	3
-29878.30543	-13460.24079	930	7	9	9	7	1001	201	1	10	3
-29860.96695	-13465.62179	930	8	9	9	8	1001	201	1	5	3
-29860.96695	-13465.62179	930	1	10	10	1	1001	201	1	5	3
-29866.42398	-13484.19671	931.270385	2	10	10	2	1001	201	1	10	3
-29885.1293	-13509.18029	933.0434207	3	10	10	3	1001	201	1	20	3
-29908.57778	-13528.81226	934.9387592	4	10	10	4	1001	201	1	30	3
-29932.62808	-13547.68735	936.8115913	5	10	10	5	1001	201	1	40	3

4.3 EQUIPAMENTOS

A configuração dos equipamentos utilizados no processo será descrita neste item.

4.3.1 Caminhões

Os caminhões utilizados foram os Komatsu 930e

General

Haul Truck ID: Komatsu930e Abbreviation: T1

Rated Capacity: 285 ☒ Tonnes / Load ☐ Volume / Load

Adjustment Factor: none Maintenance Calendar:

End Period	Units	Mech Avail %	UpA %	OpEff %	Utilization %
Period 22 - 16/1...	100	90.00	90.00	100.00	81.00

Loaders

Loader	Use	Load Time (mins)	Queue Time (mins)
Default	☐	0.00	0.00
Bucyrus1	☒	4.00	0.50
Bucyrus2	☒	4.00	0.50
Bucyrus3	☒	4.00	0.50

Figura 6. Configuração dos Caminhões.

Os dados relativos a *Rimpull* e *Retardation* estão ilustrados nos gráficos a seguir, respectivamente e estão referenciados ao Anexo – B.

Performance

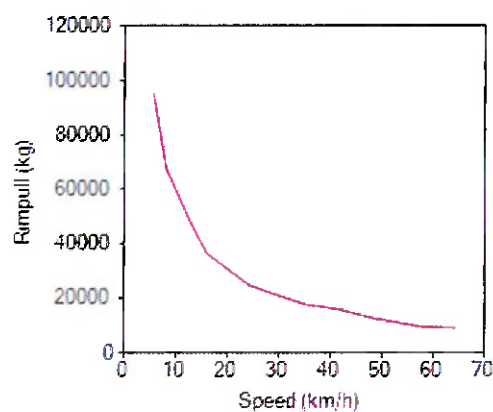


Figura 7. Gráfico de *Rimpull*.

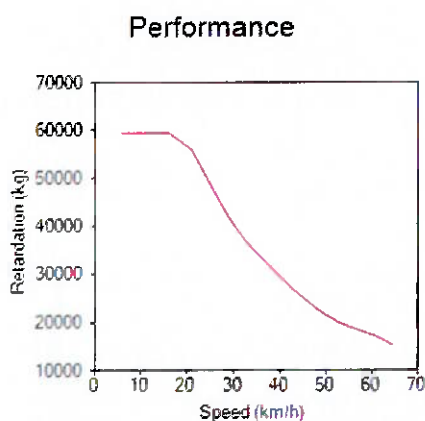


Figura 8. Gráfico de Retardation.

4.3.2 Escavadeiras

As escavadeiras utilizadas no projeto são do modelo 495H da Bucyrus (3 unidades). A configuração está relacionada aos dados históricos de produção de outras escavadeiras semelhantes operado na mesma mina.

General		Display	
Name:	Bucyrus1	Symbol:	ISTS 10. mm
Abbreviation:	M2	Path:	2. pts
Capacity:		Color:	
Rated Capacity:	4800 TONNES / Op Hr		
Adjustment Factor:	<none>		
Maintenance Calendar:			

End Period	Units	Mech Avail %	Use of Avail %	OpEff %	Utilization %
Period 22 - 16/12/15	1	95.00	90.00	90.00	76.95

Figura 9. Dados das Escavadeiras.

4.3.3 Perfuratrizes

As perfuratrizes utilizadas são de dois tipos: DM30 (3 unidades) e Pit Viper (3 unidades). Elas realizam furos de 165mm e 311mm respectivamente.

General Name: DM30 Abbreviation: M5		Display Symbol: [Symbol] STS 10 mm Path: [Path] 2 pts Color: [Color]																																																							
Capacity Rated Capacity: 20 METERS / Op Hr Adjustment Factor: [none] Maintenance Calendar: [none]																																																									
Calendar <table border="1"> <thead> <tr> <th>End Period</th> <th>Units</th> <th>Mech Avail %</th> <th>Use of Avail %</th> <th>OpEff %</th> <th>Utilization %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Period 22 - 16:12:15</td> <td>1</td> <td>95.00</td> <td>90.00</td> <td>90.00</td> <td>76.95</td> </tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>				End Period	Units	Mech Avail %	Use of Avail %	OpEff %	Utilization %	Period 22 - 16:12:15	1	95.00	90.00	90.00	76.95																																										
End Period	Units	Mech Avail %	Use of Avail %	OpEff %	Utilization %																																																				
Period 22 - 16:12:15	1	95.00	90.00	90.00	76.95																																																				

Figura 10. Configuração das DM30

General Name: PitViper Abbreviation: M7		Display Symbol: [Symbol] STS 10 mm Path: [Path] 2 pts Color: [Color]																																																							
Capacity Rated Capacity: 12 METERS / Op Hr Adjustment Factor: [none] Maintenance Calendar: [none]																																																									
Calendar <table border="1"> <thead> <tr> <th>End Period</th> <th>Units</th> <th>Mech Avail %</th> <th>Use of Avail %</th> <th>OpEff %</th> <th>Utilization %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Period 22 - 16:12:15</td> <td>1</td> <td>95.00</td> <td>90.00</td> <td>90.00</td> <td>76.95</td> </tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>				End Period	Units	Mech Avail %	Use of Avail %	OpEff %	Utilization %	Period 22 - 16:12:15	1	95.00	90.00	90.00	76.95																																										
End Period	Units	Mech Avail %	Use of Avail %	OpEff %	Utilization %																																																				
Period 22 - 16:12:15	1	95.00	90.00	90.00	76.95																																																				

Figura 11. Configuração das Pit Viper

4.4 CALENDÁRIO

A gerência de manutenção da mina informou que tanto as escavadeiras como as perfuratrizes sofreriam uma parada de 12 horas a cada 21 dias para realização da manutenção programada.

Outro ponto de grande importância é que as escavadeiras que haviam acabado de ser adquiridas estariam prontas para uso devido à montagem e ao treinamento de funcionários de acordo com a tabela abaixo.

Tabela 3. Demonstrativo de dias e disponibilidade para 1º ano do projeto.

Mês	No. De Dias	No de Feriad	No de Escavadeiras
Jan	29	1	1
Feb	28	0	1.5
Mar	29	0	2
Q1	86	1	2
Apr	31	0	2
May	29	1	2
Jun	31	1	2
Q2	91	2	2
Jul	29	0	2
Aug	31	0	2.5
Sep	31	0	3
Q3	91	0	3
Oct	29	1	3
Nov	31	0	3
Dec	30	0	3
Q4	90	1	3
Year	358	4	3

Os números não inteiros de escavadeiras estão mostrando que naquele mês em específico, a máquina estaria disponível em apenas 15 dias.

Vale a pena frisar que o número de feriados adotados pela gerência da mina é de 4 dias por ano.

4.5 OBJETIVO DE PRODUÇÃO

O objetivo de produção era de aproximadamente 393 milhões de toneladas que deveriam ser lavradas em 5 anos.

O planejamento de lavra deveria estar dividido da seguinte forma:

- 1º ano → mês a mês
- 2º e 3º anos → trimestral
- 4º e 5º anos → anual

Os *targets* que foram fornecidos pela gerência da mina baseados no que eles imaginavam produzir e o resultado do planejamento estão na tabela abaixo.

Tabela 4. Metas x Cronograma Planejado

Period	Date	Target Tonnes	Schedule Tonnes
Period 1	2011/12/16 - 2012/01/16	2,935,519	2,891,247
Period 2	2012/01/16 - 2012/02/16	4,403,278	4,180,381
Period 3	2012/02/16 - 2012/03/16	5,871,037	5,409,431
Period 4	2012/03/16 - 2012/04/16	5,871,037	5,782,495
Period 5	2012/04/16 - 2012/05/16	5,871,037	5,409,425
Period 6	2012/05/16 - 2012/06/16	5,871,037	5,782,491
Period 7	2012/06/16 - 2012/07/16	5,871,037	5,595,958
Period 8	2012/07/16 - 2012/08/16	7,338,796	6,978,361
Period 9	2012/08/16 - 2012/09/16	8,806,556	8,673,736
Period 10	2012/09/16 - 2012/10/16	8,806,556	8,393,936
Period 11	2012/10/16 - 2012/11/16	8,806,556	8,393,939
Period 12	2012/11/16 - 2012/12/16	8,806,556	8,393,937
TOTAL	2012	79,259,000	75,885,336
Period 13	2012/12/16 - 2013/03/16	21,121,250	21,114,723
Period 14	2013/03/16 - 2013/06/16	21,121,250	21,147,614
Period 15	2013/06/16 - 2013/09/16	21,121,250	21,175,057
Period 16	2013/09/16 - 2013/12/16	21,121,251	21,206,711
TOTAL	2013	84,485,001	84,644,105
Period 17	2013/12/16 - 2014/03/16	21,091,000	21,398,835
Period 18	2014/03/16 - 2014/06/16	21,091,000	21,224,256
Period 19	2014/06/16 - 2014/09/16	21,091,000	22,153,774
Period 20	2014/09/16 - 2014/12/16	21,091,000	21,104,076
TOTAL	2014	84,364,000	85,880,941
Period 21	2014/12/16 - 2015/12/16	84,032,000	84,207,590
Period 22	2015/12/16 - 2016/12/16	51,180,180	53,066,066

4.6 CRONOGRAMA RESULTANTE

Com todas as informações descritas uma sequência lógica e distribuída ao longo da linha do tempo em que o projeto deverá ser realizado é produzida. Essa ordem está retratada em parte nas figuras 12 e 13 a seguir.

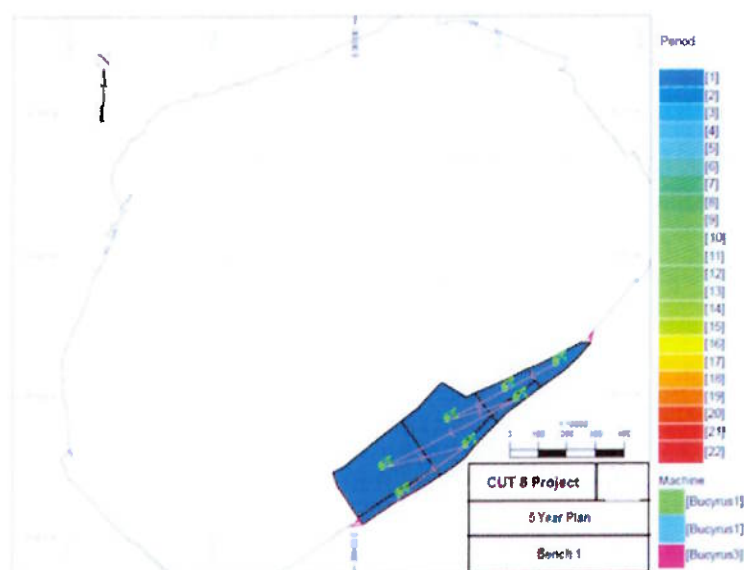


Figura 12. Blocos da Bancada Número 1



Figura 13. Blocos da Bancada Número 5

Nas figuras 12 e 13, os ícones em cima de cada bloco representam as escavadeiras a serem utilizadas no processo e as setas indicam a movimentação que cada uma delas realiza.

Esse cronograma, para o caso em questão, foi realizado utilizando como restrição o número de horas disponíveis – e consequentemente sua capacidade – das escavadeiras e das perfuratrizes utilizadas no projeto.

Juntamente a essas máquinas, foi configurado o uso de um número muito elevado de caminhões (100) afim de que se obtivesse o número total de horas necessário para a realização e assim, fosse possível determinar o número de veículos.

5 RESULTADOS

A disponibilidade assumida para os caminhões foi a média histórica da mesma mina que era de 80%, considerando disponibilidade mecânica e uso efetivo do equipamento.

A tabela abaixo mostra o número de horas requeridas por período e o número de horas disponíveis por caminhão por período utilizando-se a disponibilidade de 80%.

Tabela 5. Horas requeridas e Horas disponíveis por veículo

		Total de horas requeridas	Horas Disponíveis @80%
Period 1	2011/12/16 - 2012/01/16	5,975	603
Period 2	2012/01/16 - 2012/02/16	8,799	603
Period 3	2012/02/16 - 2012/03/16	11,125	564
Period 4	2012/03/16 - 2012/04/16	15,211	603
Period 5	2012/04/16 - 2012/05/16	14,998	583
Period 6	2012/05/16 - 2012/06/16	15,370	603
Period 7	2012/06/16 - 2012/07/16	14,896	583
Period 8	2012/07/16 - 2012/08/16	17,471	603
Period 9	2012/08/16 - 2012/09/16	20,973	603
Period 10	2012/09/16 - 2012/10/16	20,439	583
Period 11	2012/10/16 - 2012/11/16	20,647	603
Period 12	2012/11/16 - 2012/12/16	20,728	583
Period 13	2012/12/16 - 2013/03/16	52,748	1750
Period 14	2013/03/16 - 2013/06/16	55,361	1788
Period 15	2013/06/16 - 2013/09/16	46,667	1788
Period 16	2013/09/16 - 2013/12/16	56,097	1769
Period 17	2013/12/16 - 2014/03/16	56,506	1750
Period 18	2014/03/16 - 2014/06/16	58,364	1788
Period 19	2014/06/16 - 2014/09/16	61,074	1788
Period 20	2014/09/16 - 2014/12/16	58,825	1769
Period 21	2014/12/16 - 2015/12/16	253,649	7096
Period 22	2015/12/16 - 2016/12/16	203,230	7115

Com isso, torna-se possível calcular o número de equipamentos necessários durante a realização do projeto. Esses dados estão disponíveis na tabela 6.

Tabela 6. Número de caminhões

		NTrucks	Ntrucks*1.15	Ntrucks final
Period 1	2011/12/16 - 2012/01/16	10	11	11
Period 2	2012/01/16 - 2012/02/16	15	17	17
Period 3	2012/02/16 - 2012/03/16	20	23	23
Period 4	2012/03/16 - 2012/04/16	25	29	29
Period 5	2012/04/16 - 2012/05/16	26	30	30
Period 6	2012/05/16 - 2012/06/16	26	29	30
Period 7	2012/06/16 - 2012/07/16	26	29	30
Period 8	2012/07/16 - 2012/08/16	29	33	33
Period 9	2012/08/16 - 2012/09/16	35	40	40
Period 10	2012/09/16 - 2012/10/16	35	40	40
Period 11	2012/10/16 - 2012/11/16	34	39	40
Period 12	2012/11/16 - 2012/12/16	36	41	41
Period 13	2012/12/16 - 2013/03/16	30	35	41
Period 14	2013/03/16 - 2013/06/16	31	36	41
Period 15	2013/06/16 - 2013/09/16	26	30	41
Period 16	2013/09/16 - 2013/12/16	32	36	41
Period 17	2013/12/16 - 2014/03/16	32	37	41
Period 18	2014/03/16 - 2014/06/16	33	38	41
Period 19	2014/06/16 - 2014/09/16	34	39	41
Period 20	2014/09/16 - 2014/12/16	33	38	41
Period 21	2014/12/16 - 2015/12/16	36	41	41
Period 22	2015/12/16 - 2016/12/16	29	33	41

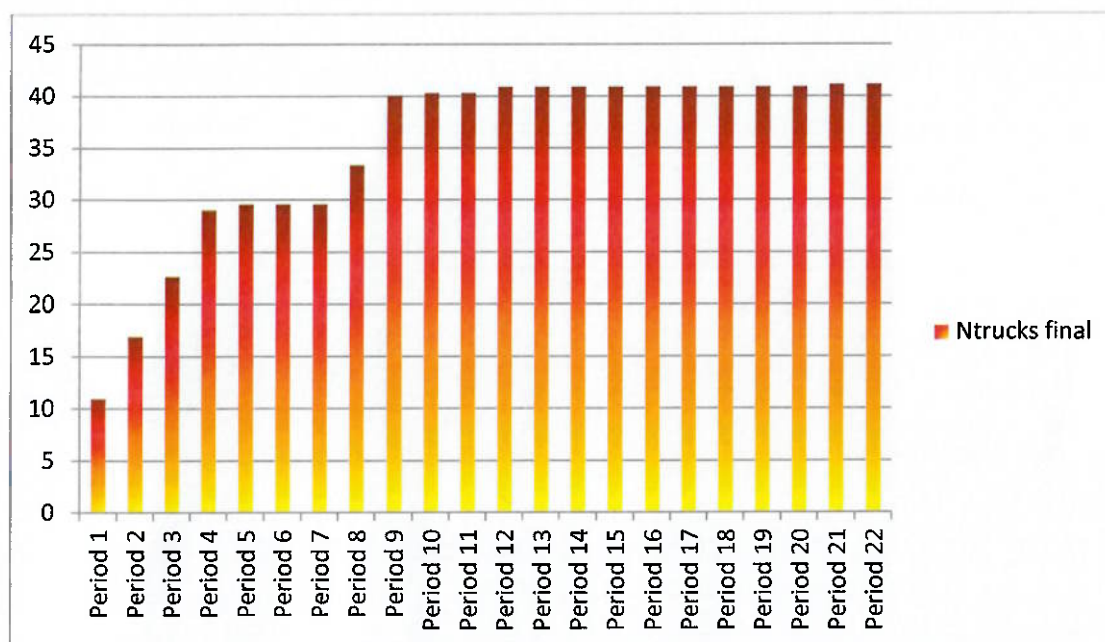


Figura 14. Gráfico da Evolução do Número de Caminhões

Ao número proveniente da divisão entre horas requeridas e horas disponíveis (tabela 3), foi aplicado um fator de segurança de 15% de acordo com o requisitado pelo coordenador do projeto, assim chegou-se ao número final apresentado na tabela 6.

6 CONCLUSÃO

A abordagem proposta mostrou-se adequada e cumpriu com o objetivo do projeto.

O dimensionamento da frota resultou em um número de caminhões que está de acordo com a expectativa da direção da mina durante o período estabelecido para a realização do projeto. Contudo, é necessário que estudos adicionais comprovem os resultados se alguma nova informação vier a existir.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HARTMAN, H. L. Introductory mining, Wiley-Interscience, Alabama, United States of America, 1987.

Mathieson , G.A., **Open Pit Sequencing and Scheduling**, Soc. Mng. Engr: Society of Mining Engineering, vol. 82, nº368,1982, AIME, Honolulu.

CACCETTA, L. & HILL, P. H., **An Application of Branch and Cut to Open Pit Mine Schedule**, Journal of Global Optimization, vol. 27, nº 349-365, 2003, Holanda.

DAGDELEN, K., **Open Pit Optimization – Strategies for Improving Economics of Mining Projects Through Mine Planning**, International Mining Congress and Exhibition of Turkey, 2001, Turquia.

CONSUEGRA, F.R.A. & DIMITRAKOPOULOS, R., **Algorithmic approach to pushback design based on stochastic programming: method, application and comparisons**, Mining Technology, vol. 119, nº2, 2010, Montreal, Canadá.

KRZYZANOWSKA, J., **The impact of mixed fleet hauling on mining operations at Venetia mine**, The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, vol. 107, sem informação de número, 2007, África do Sul.

GALLAGHER, M. S. & Kear, R.M., **Split shell open pit design concept applied at De Beers Venetia Mine South Africa using the Whittle and Gemcom software**, The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, sem informação de volume ou número, 2001, África do Sul.

KRAUSE, A. & MUSINGWINI, C., **Modelling open pit shovel-truck systems using the Machine Repair Model**, The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, vol. 107, sem informação de número, 2007, África do Sul.

GODOY, M. & DIMITRAKOPOULOS, R., **Managing risk and waste mining in long-term production scheduling of open-pit mines**, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, vol. 316, nº 03-327, 2004, Canadá.

Ramazan, S. et Dagdelen, K., 1998 **A new push back design algorithm in open pit mining**, **In: Mine Planning and Equipment Selection**, págs 119-124, 1998, Balkerna, Rotterdam.

PERDOMO, J.L., **Detailed haul unit performance model**, Tese de Mestrado. Blacksburg, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, 2001.

THOMPSON, R.J. & VISSER, A.T., **Mine haul road maintenance management systems**, The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, sem informação de volume ou número, 2003, África do Sul.

<http://www.termwiki.com/EN:rim_pull>, acesso em 12 de outubro de 2012.

8 ANEXO - A

Brake Performance Curves Fixed Times for Hauling Units

Construction & Mining Trucks Construction & Mining Tractors

USE OF BRAKE PERFORMANCE CURVES

The speed that can be maintained when the machine is descending a grade with retarder applied can be determined from the retarder curves in this section when gross machine weight and total effective grade are known.

Select appropriate grade distance chart that covers total downhill haul; don't break haul into individual segments.

To determine brake performance: Read from gross weight down to the percent effective grade. (Effective grade equals actual % grade *minus* 1% for each 10 kg/metric ton (20 lb./U.S. ton) of rolling resistance.) From this weight-effective grade point, read horizontally to the curve with the highest obtainable speed range, then down to maximum descent speed brakes can safely handle without exceeding cooling capacity. When braking, engine RPM should be maintained at the highest possible level without overspeeding. If cooling oil overheats, reduce ground speed to allow transmission to shift to next lower speed range.

USE OF RIMPULL-SPEED- GRADEABILITY CURVES

(See Wheel Tractor Scraper Section)

Total Effective Grade (or Total Resistance) is grade assistance *minus* rolling resistance.

10 kg/metric ton (20 lb./U.S. ton) = 1% adverse grade.

Example —

With a favorable grade of 20% and rolling resistance of 50 kg/metric ton (100 lb./U.S. ton), find Total Effective Grade.

(50 kg/metric ton) = $50 \div 10 = 5\%$ Effective Grade
(from Rolling Resistance)

100 lb/ton = $100 \div 20 = 5\%$ Effective Grade
20% (grade) - 5% (resistance) =
15% Total Effective Grade

TYPICAL FIXED TIMES FOR HAULING UNITS

Wait time, delays and operator efficiency all impact cycle time. Minimizing truck exchange time can have a significant effect on productivity.

Fixed time for hauling units include:

1. Truck load time (various with loading tool)
2. Truck maneuver in load area (Truck exchange) (Typically 0.6-0.8 min.)
3. Maneuver and dump time at dump point (Typically 1.0-1.2 min.)

Total cycle time is the combination of:

1. The above fixed time
2. Hauling time (Loaded)
3. Return time (Empty)

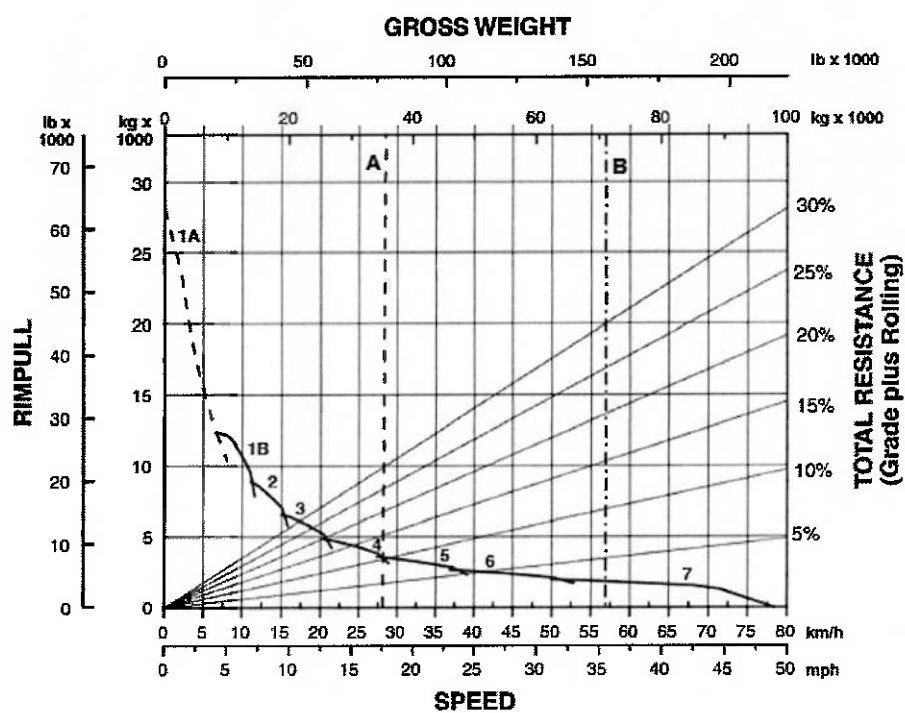
Example — assume load tool spots hauler with full bucket

	988F	5130B
cycle times	.60	.45
First pass (dump time)	.10 min.	.05 min.
2 passes (full cycle)	.70	.50
3 passes	1.20	.95
4 passes	1.90	1.40
5 passes	2.50	1.85
6 passes	3.10	2.30
7 passes	3.70	2.75
8 passes	4.30	3.20
9 passes	4.90	3.65
10 passes	5.40	4.10

NOTE: Other sizes of loading tools will have different cycle times. See Wheel Loader section for average cycle times for truck loading.

769D Rimpull-Speed-Gradeability
• 18.00R33 Tires

Construction & Mining Trucks



KEY

1A — 1st Gear (Torque Converter)
1B — 1st Gear
2 — 2nd Gear
3 — 3rd Gear
4 — 4th Gear
5 — 5th Gear
6 — 6th Gear
7 — 7th Gear

KEY

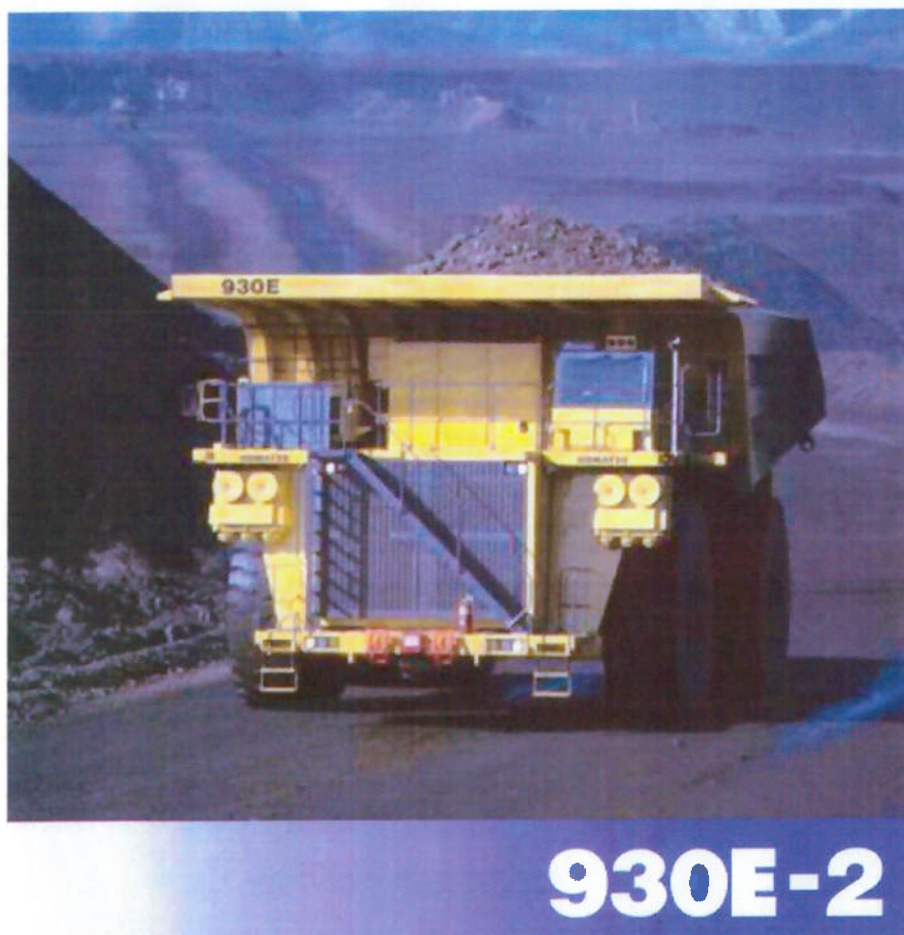
A — Empty 33 545 kg (73,800 lb)
B — Max GMW 71 400 kg (157,000 lb)

9 ANEXO – B

KOMATSU®

930E-2

MAXIMUM GVW
498952 kg **1,100,000 lb**
PAYLOAD
290 m ton **320 U.S. ton**
GROSS HORSEPOWER
2014 kW **2,700 HP**



ELECTRIC DRIVE TRUCK

930E-2

The 930E-2 Komatsu truck uses a powerful AC Drive System to deliver superior high-speed, deep-pit performance—and a whole new dimension in productivity.

Payloads of up to 320 U.S. ton make it potentially 20–30 percent more productive than 240-ton trucks, at about a 10 percent lower cost per ton.

AC Drive Performance

Uphill

The AC Drive System provides

- Maximum gradeability: 20% at GVW of 1,100,000 lb 498960 kg
- Speed on grade:
 - 6.16 mph 9.9 km/h on 12% effective grade
 - 9.34 mph 15.0 km/h on 8% effective grade

On the Level

Maximum speed with 498960 kg
1,100,000 lb GVW: 40 mph 64.3 km/h

Downhill

AC electric retarding ensures these advantages:

- Engages more quickly
- Generates more braking power
- Gives operator greater control and security
- Permits higher speeds on downhill hauls

How AC Propulsion Works

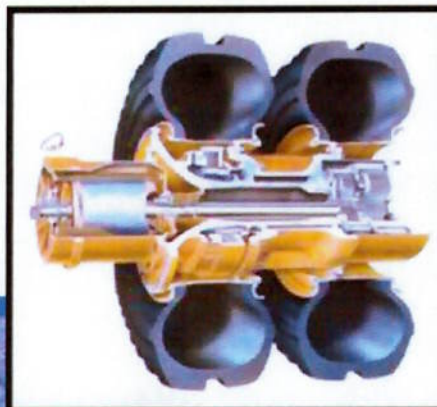
The engine drives the alternator at engine speed. The GTA34 alternator sends AC current at a fixed voltage and frequency to the main electrical cab net, where it is changed to DC. A series of electronic steps converts the DC current back to AC with a variable frequency and voltage. This modified AC current can then be matched to the power needed by the wheel motors according to the operating conditions of the truck.



930E-2 ELECTRIC DRIVE TRUCK

Slip/Slide Control

If the road you travel gets slippery, the 930E-2's wheel slip and slide prevention technology will not only detect the problem but correct it as well. Slip/Slide Control operates automatically and independently of the service brakes. During propulsion, "wheelslip" reduces non-productive wheel spin in low traction conditions. During retarding, "wheelslide" prevents wheel lockup and subsequent sliding. Greater control and peace of mind go together!



GE-00Y85 Electric Wheel



The advanced technology of the G.E. AC DRIVE SYSTEM will provide the power for locomotives, is already suited for the 930E-2.

How AC Retarding Works

Service brakes are applied if necessary to slow the vehicle to a speed the retarding action can maintain. The force of the truck moving downhill turns the wheels and (thus) the wheel motors. The wheel motors, in turning, produce AC power which goes to inverters. They change the AC power to DC. The DC current passes to resistors which impede the flow of the current, causing the wheel motors to resist turning as fast. This force of electrical resistance is sufficiently powerful to cause the truck to slow down or maintain speed according to application requirements. The Retard Speed Control separately monitors each wheel motor for speed and instantly adjusts for any fluctuation due to slippery underfoot conditions.



