

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP
Departamento de Engenharia de Minas

ISSN 0104-0553

BT/PMI/087

**Considerações sobre o
Dimensionamento de Equipamentos
de Carga e Transporte em Mineração
a Céu Aberto**

Ieso do Couto Coutinho

Eduardo Camilher Damasceno

Giorgio Francesco Cesare de Tomi

São Paulo – 1998

O presente trabalho é parte da dissertação de mestrado apresentada por Ieso do Couto Coutinho, sob a orientação do Prof. Dr. Eduardo Camilher Damasceno: "Considerações sobre o Dimensionamento de Equipamentos de Carga e Transporte em Mineração a Céu Aberto", defendida em 11/09/98, na EPUSP.

A íntegra da dissertação encontra-se à disposição dos interessados com o autor e na Biblioteca do Depto. de Engenharia de Minas da Escola Politécnica da USP.

FICHA CATALOGRÁFICA

Coutinho, Ieso do Couto

Considerações sobre o dimensionamento de equipamentos de carga e transporte em mineração a céu aberto / I.C. Coutinho, E.C. Damasceno, G.F.C. de Tomi. -- São Paulo : EPUSP, 1998.

34 p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Minas, BT/PMI/087)

1. Mineração - Equipamentos 2. Escavadeiras 3. Mineração - Carregamento e transporte I. Damasceno, Eduardo Camilher II. Tomi, Giorgio Francesco Cesare de III. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas IV. Título V. Série

ISSN 0104-0553

CDU 622.233.61

621.879

622.6

**CONSIDERAÇÕES SOBRE O DIMENSIONAMENTO
DE EQUIPAMENTOS DE CARGA E TRANSPORTE
EM MINERAÇÃO A CÉU ABERTO**

**IESO DO COUTO COUTINHO
EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
GIORGIO FRANCESCO CESARE DE TOMI**

São Paulo, junho de 1997

R E S U M O

Os empreendimentos na área de mineração caracterizam-se pelos altos investimentos e por um lento retorno do capital aplicado. Nas operações de lavra o maior aporte de capital é para aquisição de equipamentos de carga e transporte, revestindo de fundamental importância estas atividades. O dimensionamento adequado das frotas permite ganhos de produtividade e, consequentemente, um menor custo operacional.

Esta dissertação tem como objetivo estudar as fases de carga e transporte como uma **operação unitária**, através da utilização da Distribuição Binomial como uma ferramenta para dimensionar adequadamente o número de unidades de cada frota e estabelecer um quadro de pessoal compatível com as necessidades do empreendimento. Desta forma, pretende contribuir para a redução dos custos operacionais e minimizar os investimentos necessários em projetos desta natureza.

Foi efetuado um experimento em uma mina de grande porte, visando comparar dados observados com dados estimados empregando-se esta distribuição, ficando comprovada a adequação de seu uso dentro deste contexto. Neste trabalho propõe-se uma padronização do cálculo da produtividade de escavadeiras e caminhões e é estabelecida uma metodologia para a definição do quadro de pessoal para estas operações.

A B S T R A C T

The implementation of a mining project requires a considerable inversion of capital. Frequently, the internal return rate is low. Loading and hauling activities represent the bulk of money in this investment. Selection of the correct size of the fleet reflects in productivity and operating costs.

The aim of this thesis is to analyze loading and hauling as a single operation. Binomial Distribution is employed to define the number of units of each fleet and to calculate the adequate work force for the equipment operation. It is expected that this study will further contribute to reduce both operating costs and investment.

Data collected in a high scale production mine is compared with estimated data using the Binomial Distribution. It is concluded that this methodology is suitable to be used for this purpose. It is proposed a standard method for calculating productivity of shovels and haul trucks. A methodology to define the work force is also suggested.

CONSIDERAÇÕES SOBRE O DIMENSIONAMENTO DE EQUIPAMENTOS DE CARGA E TRANSPORTE EM MINERAÇÃO A CÉU ABERTO

Ieso do Couto Coutinho, Eduardo Camilher Damasceno e

Giorgio Francesco Cesare De Tomi

Junho de 1997

I Introdução

Os empreendimentos na área de mineração caracterizam-se pelos altos investimentos e por um lento retorno do capital aplicado. Nas operações de lavra o maior aporte de capital é para aquisição de equipamentos de carga e transporte, revestindo de fundamental importância estas atividades. O dimensionamento adequado das frotas permite ganhos de produtividade e, consequentemente, um menor custo operacional.

O presente trabalho tem como objetivo estudar as fases de carregamento e transporte como uma **operação unitária**, através da utilização da Distribuição Binomial como uma ferramenta para dimensionar adequadamente o número de unidades de cada frota e estabelecer um quadro de pessoal compatível com as necessidades do empreendimento. Desta forma, pretende contribuir para a redução de custos operacionais em atividades de mineração, minimizar os investimentos necessários em projetos desta natureza e maximizar a utilização do ativo colocado à disposição dos gerentes de lavra pela direção do empreendimento.

II Metodologia de Coleta e Tratamento de Dados

Visando ao estabelecimento de uma comparação entre dados observados e dados estimados empregando-se a Distribuição Binomial, foram coletados, entre os dias 8 de janeiro e 23 de dezembro de 1996, elementos relativos a equipamentos de carga e transporte na Mina da Mutuca, de propriedade da MBR - Minerações Brasileiras Reunidas S/A. Nesta mina, localizada no Município de Nova Lima, Estado de Minas Gerais, foram extraídas, em 1996, 6.4 milhões de toneladas de minério de ferro (*run-of-mine*) e removidas 11.4 milhões de toneladas de estéril. Para a consecução desta produção foram empregados, nas etapas de carregamento e transporte, os seguintes equipamentos:

- 2 escavadeiras P&H 1600, caçamba de 6 1/2 cy
- 1 escavadeira Demag H-121, caçamba de 6 cy
- 1 escavadeira Demag H-241, caçamba de 13 cy
- 1 escavadeira Demag H-285, caçamba de 24 cy
- 1 carregadeira frontal Marathon L-1000, caçamba de 12 cy
- 11 caminhões Dresser 510E, 136 t de capacidade.

Para a coleta de dados, os equipamentos de carga foram agrupados em dois conjuntos, com 3 unidades cada, denominados **Escavadeiras de Grande Porte**, com caçamba acima de 10 yd, e **Escavadeiras de Médio Porte**, com caçamba inferior a 10 yd; os 11 caminhões formaram o terceiro conjunto. Esta coleta, efetuada pelos Técnicos de Operações do Departamento de Mineração da Mina da Mutuca, responsáveis pela operação do Sistema de Alocação Dinâmica de Caminhões (Despacho), levantou dados dos três conjuntos segundo equipamentos disponíveis e equipamentos sendo utilizados, de 15 em 15 minutos, 24 horas por dia. Assim, obtiveram-se 96 informações diárias da situação dos equipamentos; como o período compreendeu 351 dias menos dois turnos, foram gerados 33648 registros no ano, cada um com 6 elementos (2 por conjunto), ou seja, 201888 dados.

Os dados levantados foram tratados através de planilha eletrônica e banco de dados relacional, gerando os índices de disponibilidade física (IDF) e de utilização (IUT), segundo as fórmulas 1 e 2, onde **ED** é o número de equipamentos disponíveis, **EU** o número de equipamentos sendo utilizados e **F** a frota.

$$IDF = ED \div F \quad (1)$$

$$IUT = EU \div ED \quad (2)$$

Foram calculados os parâmetros estatísticos para o tratamento individual dos dados, tendo sido calculados a sua média (Fórmula 3), a sua variância (Fórmula 4), o seu desvio padrão (Fórmula 5), o seu coeficiente de variação (Fórmula 6), a sua assimetria (Fórmula 7), e o seu curtosis (Fórmula 8), onde **n** corresponde ao número de dados (ver SPIEGEL (1977)).

$$x_m = \frac{\sum x}{n} \quad (3)$$

$$s^2 = \frac{\sum x^2 - ((1/n) \times (\sum x)^2)}{(n - 1)} \quad (4)$$

$$s = s^{1/2} \quad (5)$$

$$CV = s/x_m \quad (6)$$

$$a_3 = \frac{\sum (x - x_m)^3}{s^3 \times n} \quad (7)$$

$$a_4 = \frac{\sum (x - x_m)^4}{s^4 \times n} - 3 \quad (8)$$

O passo seguinte do trabalho foi efetuar o agrupamento dos dados do IDF, segundo SPIEGEL (1977), calculando a média pela Fórmula 9, a variância pela Fórmula 10, o desvio padrão pela Fórmula 11, o coeficiente de variação pela Fórmula 12, a assimetria pela Fórmula 13 e o curtosis pela Fórmula 14.

$$x_m = \frac{\sum xn}{\sum n} \quad (9)$$

$$s^2 = \frac{\sum x^2 n - ((1/\sum n) \times (\sum xn)^2)}{(\sum n - 1)} \quad (10)$$

$$s = s^{1/2} \quad (11)$$

$$CV = s/x_m \quad (12)$$

$$a_3 = \frac{\sum (x - x_m)^3 n}{s^3 \times \sum n} \quad (13)$$

$$a_4 = \frac{\sum (x - x_m)^4 n}{s^4 \times \sum n} - 3 \quad (14)$$

As informações foram agrupadas segundo sua possibilidade de ocorrência. Assim, no caso do conjunto de 3 equipamentos, agrupou-se a ocorrência segundo 0, 1, 2 e 3 equipamentos disponíveis. A consistência dos resultados obtidos no agrupamento de dados pode ser avaliada através da comparação entre os valores dos parâmetros estatísticos obtidos nos dois métodos acima descritos.

O passo seguinte consistiu no tratamento das informações segundo a Distribuição Binomial. De acordo com SPIEGEL (1977), esta distribuição, também conhecida como Distribuição de Bernoulli, é aplicada a eventos onde existem uma

probabilidade de sucesso e uma probabilidade de insucesso, cuja soma é igual a 1. Esta distribuição é expressa pela Fórmula 15, onde $f(x)$ é a probabilidade do evento ocorrer exatamente x vezes, em n tentativas, p a probabilidade de sucesso do evento, q a probabilidade de insucesso e ${}_nC_x$ a combinação de n objetos, tomados x de cada vez. Como a soma das probabilidades é igual a 1, aplicando-se a definição de combinação é obtida a Fórmula 16, que é utilizada pelos autores para determinar a probabilidade de x equipamentos estarem disponíveis. Nos cálculos deve-se tomar p como o índice de disponibilidade física e n o número de unidades da frota.

$$f(x) = {}_nC_x p^x q^{(n-x)} \quad (15)$$

$$f(x) = \frac{n!}{x!(n-x)!} p^x (1-p)^{(n-x)} \quad (16)$$

SPIEGEL (1977) define, através das Fórmulas 17 a 20, algumas das propriedades da Distribuição Binomial, ou seja, a média (μ), a variância (σ^2), o desvio padrão (σ) e o coeficiente de variação (CV), respectivamente.

$$\mu = np \quad (17)$$

$$\sigma^2 = npq \quad (18)$$

$$\sigma = (npq)^{1/2} \quad (19)$$

$$CV = \sigma/\mu \quad (20)$$

Conhecendo-se o índice de disponibilidade física (através da análise da distribuição de dados agrupados) e a frota de equipamentos, pôde-se estimar o percentual de ocorrência de cada situação, ou seja, para uma frota de 3 equipamentos qual o percentual de ocorrência de 0, 1, 2 e 3 equipamentos disponíveis. Desta forma, foi possível comparar o resultado observado para cada situação com o estimado utilizando-se a Distribuição Binomial. Esta comparação pôde ser efetuada tanto visualmente, por intermédio de gráficos representando o comportamento nas duas situações, quanto através do Teste do Qui-Quadrado (χ^2), que mede a significância de resultados amostrais com os esperados pelas regras de probabilidade (ver SPIEGEL (1977)). Esta medida da discrepância entre as frequências observadas (**Obs**) e as frequências estimadas (**Est**) é dada pela Fórmula 21 e deve ser comparada com alguns valores críticos, por exemplo $\chi^2_{0.99}$, $\chi^2_{0.95}$ e $\chi^2_{0.05}$, que refletem níveis de significância de 0.01, 0.05 e 0.95, respectivamente.

$$\chi^2 = \sum ((\text{Obs} - \text{Est})^2 / \text{Est}) \quad (21)$$

Conforme proposto, o conjunto escavadeira-caminhão foi estudado como uma **operação unitária** e, para tanto, foi necessário comparar as observações realizadas com a estimativa da ocorrência de cada situação. Variando-se as escavadeiras de grande porte de 0 a 3, as escavadeiras de médio porte de 0 a 3 e os caminhões de 0 a 11, obtiveram-se 192 situações diferentes; a probabilidade de ocorrência de cada situação foi estimada através da aplicação das Fórmulas 22 e 23, onde:

$\% \text{EscGP} = f(x)$ para Escavadeiras de Grande Porte;

$\% \text{EscMP} = f(x)$ para Escavadeiras de Médio Porte;

$\% \text{Caminh} = f(x)$ para Caminhões;

$n = \text{Número total de observações.}$

$$\% \text{Estim} = \% \text{EscGP} \times \% \text{EscMP} \times \% \text{Caminh} \quad (22)$$

$$\text{OcorEstim} = \% \text{Estim} \times n \quad (23)$$

Conforme será visto mais à frente, os resultados do Teste do Qui-Quadrado não foram adequados à definição da rejeição ou não da Distribuição Binomial para estimativa do comportamento da disponibilidade física de equipamentos. Por isso, os estudos estatísticos foram complementados pela análise do coeficiente de variação desta distribuição (ver Fórmula 20) e pela relação entre dados observados e dados estimados, aplicada por WONNACOTT; WONNACOTT (1980), utilizando o intervalo de confiança das proporções (I), apresentado na Fórmula 24 (ver SPIEGEL (1977)). Nesta fórmula p representa a probabilidade de sucesso do evento, q a probabilidade de insucesso, n o número total de observações e z o coeficiente de confiança.

$$I = z (pq/n)^{1/2} \quad (24)$$

Segundo WONNACOTT; WONNACOTT (1980), a relação entre dados observados e dados estimados deve ser expressa através da Fórmula 25, e representa a variabilidade dos dados reais em relação aos dados esperados.

$$\frac{\pi_{\text{verdadeira}}}{\pi_{\text{nula}}} = \frac{\% \text{Obs} \pm I}{\% \text{Est}} \quad (25)$$

A Fórmula 25 deve ser aplicada para cada situação possível (por exemplo, 0, 1, 2 e 3 escavadeiras liberadas), sendo que $\% \text{Obs}$ corresponde ao percentual dos dados observados em relação ao número total de amostras, e $\% \text{Est}$ tem o mesmo significado, para dados estimados.

Conhecendo-se a produtividade média dos equipamentos e o número de vezes em que ocorreu cada uma das 192 situações possíveis, pôde-se calcular a produtividade do conjunto escavadeira/caminhão. Este cálculo assumiu a

produtividade média dos equipamentos fornecida pelo histórico da Mina da Mutuca, durante o ano de 1996:

$$\text{Prod}_{\text{EscGP}} = 800 \text{ t/hora}$$

$$\text{Prod}_{\text{EscMP}} = 500 \text{ t/hora}$$

$$\text{Prod}_{\text{Caminh}} = 320 \text{ t/hora}$$

A produtividade máxima de cada uma das frotas foi obtida através do número de equipamentos liberados, multiplicado pela produtividade média, de acordo com as Fórmulas 26 a 29:

$$\text{Prod.Máx}_{\text{EscavGP}} = \text{EscavGP} \times \text{Prod}_{\text{EscavGP}} \quad (26)$$

$$\text{Prod.Máx}_{\text{EscavMP}} = \text{EscavMP} \times \text{Prod}_{\text{EscavMP}} \quad (27)$$

$$\text{Prod.Máx}_{\text{Escav}} = \text{Prod.Máx}_{\text{EscavGP}} + \text{Prod.Máx}_{\text{EscavMP}} \quad (28)$$

$$\text{Prod.Máx}_{\text{Caminh}} = \text{Caminh} \times \text{Prod}_{\text{Caminh}} \quad (29)$$

A determinação da produtividade máxima do conjunto escavadeira/caminhão foi estabelecida pelo valor mínimo entre os resultados obtidos para cada conjunto, ou seja, a produtividade máxima da **operação unitária** é limitada pela produtividade mínima de um dos dois elementos do conjunto escavadeira/caminhão, conforme apresentado na Fórmula 30:

$$\text{Prod.Máx}_{\text{Conjunto}} = \text{Mínimo}(\text{Prod.Máx}_{\text{Escav}}, \text{Prod.Máx}_{\text{Caminh}}) \quad (30)$$

A produtividade média do conjunto escavadeira/caminhão pode ser calculada, então, através da aplicação da Fórmula 31, onde cada ocorrência estimada (**OcorEstim**) é multiplicada pela produtividade máxima (**Prod.Máx_{Conjunto}**) e o

resultado final é obtido pela divisão entre o somatório destes valores e o somatório do número de ocorrências:

$$\text{Prod}_{\text{média}} = \sum (\text{Prod.Máx}_{\text{Conjunto}} \times \text{OcorEstim}) / \sum (\text{OcorEstim}) \quad (31)$$

Isto significa que, para cada uma das 192 situações diferentes passíveis de ocorrer, existe uma produtividade máxima da **operação unitária**, fornecida pela Fórmula 30. Como é disponibilizada a informação da produtividade máxima de cada conjunto, Fórmulas 28 e 29, este mesmo cálculo pode ser feito para obtenção da produtividade média de cada elemento da **operação unitária**. Ao final do exercício obteve-se, no período considerado, a produtividade possível das escavadeiras, a produtividade possível dos caminhões e a produtividade média do conjunto, necessariamente inferior às outras duas. Este mesmo raciocínio foi aplicado às ocorrências observadas e os dados obtidos puderam ser comparados aos calculados utilizando as ocorrências estimadas através da aplicação da Distribuição Binomial.

De posse dos valores de produtividade máxima definidos no passo anterior foi possível estabelecer a máxima utilização possível de escavadeiras e caminhões, segundo condição previamente estabelecida. Para tanto, foi assumida qual seria a composição adotada para cada produtividade máxima, cuja premissa é fornecida na Tabela 1.

Tabela 1 - Número de unidades utilizadas para as frotas de equipamentos conforme produtividade máxima estimada e cálculo do percentual em relação à frota total – MUT – Ano de 1996

Produtividade Máx. _{Conjunto} (t/h)	Unidades Utilizadas			% da Frota Total		
	EscavGP	EscavMP	Caminh	EscavGP	EscavMP	Caminh
0	0	0	0	0%	0%	0%
320	0	1	1	0%	33%	9%
	1	0	1	33%	0%	9%
500	0	1	2	0%	33%	18%
640	0	2	2	0%	67%	18%
	1	0	2	33%	0%	18%
800	1	0	3	33%	0%	27%
960	0	3	3	0%	100%	27%
	1	1	3	33%	33%	27%
	2	0	3	67%	0%	27%
1000	0	2	4	0%	67%	36%
1280	0	3	4	0%	100%	36%
	1	1	4	33%	33%	36%
	2	0	4	67%	0%	36%
1300	1	1	5	33%	33%	45%
1500	0	3	5	0%	100%	45%
1600	1	2	5	33%	67%	45%
	2	0	5	67%	0%	45%
1800	1	2	6	33%	67%	55%
1920	1	3	6	33%	100%	55%
	2	1	6	67%	33%	55%
	3	0	6	100%	0%	55%
2100	2	1	7	67%	33%	64%
2240	1	3	7	33%	100%	64%
	2	2	7	67%	67%	64%
	3	0	7	100%	0%	64%
2300	1	3	8	33%	100%	73%
2400	3	0	8	100%	0%	73%
2560	2	2	8	67%	67%	73%
	3	1	8	100%	33%	73%
2600	2	2	9	67%	67%	82%
2880	2	3	9	67%	100%	82%
	3	1	9	100%	33%	82%
2900	3	1	10	100%	33%	91%
3100	2	3	10	67%	100%	91%
3200	3	2	10	100%	67%	91%
3400	3	2	11	100%	67%	100%
3520	3	3	11	100%	100%	100%

A utilização máxima possível do conjunto de escavadeiras de grande porte foi definida pela Fórmula 32; este cálculo pode ser estendido para escavadeiras de médio porte e para caminhões.

$$\text{IUMáx}_{\text{CEscGP}} = \frac{\sum (\text{IUMáx}_{\text{CEscGP}} \times \text{OcorEstim})}{\sum (\text{OcorEstim})} \quad (3.32)$$

Evidentemente, estas informações foram levantadas tanto para ocorrências estimadas por Distribuição Binomial, quanto para ocorrências observadas, e os resultados obtidos puderam ser comparados.

Obtidos os máximos índices de utilização de cada conjunto pôde-se retornar à Análise Estatística de Dados Individuais e comparar o resultado real com as utilizações máximas calculadas, utilizando-se ocorrências observadas e ocorrências estimadas por Distribuição Binomial. Deve-se esperar que o índice de utilização real seja inferior aos máximos calculados, em função de decisões gerenciais e fatores operacionais não considerados no estudo. No primeiro caso pode-se citar, entre outros, feriados e domingos não trabalhados, refeição e falta de operador; no segundo caso são exemplos tempo ruim, detonação, deslocamento de equipamento e falta de frente detonada.

Os dados de utilização máxima possível, definidos na fase anterior, serviram de base para o cálculo da distribuição de equipamentos utilizados simultaneamente. Assim, para cada uma das 192 situações foi feita a estimativa de quantas escavadeiras estariam sendo utilizadas e, associando-se este número à ocorrência estimada por Distribuição Binomial, definiu-se a porcentagem que esta configuração representaria no total. Ao final do processo obteve-se a porcentagem em que ocorreria a utilização de 0, 1, ..., 5 e 6 escavadeiras. Da mesma forma, este trabalho foi repetido para os caminhões e obteve-se a percentagem de utilização de 0, 1, ..., 10 e 11 caminhões. Repetindo-se o raciocínio para a ocorrência observada pôde-se comparar valores esperados com valores reais. Estes elementos puderam ser

utilizados nos comentários acerca das premissas a serem adotadas na definição do quadro de pessoal operacional para as áreas de escavação e transporte.

III Resultados do Tratamento de Dados

Os resultados obtidos na análise estatística de dados individuais e na análise estatística de dados agrupados comprovam que as informações são perfeitamente consistentes, conforme pode ser verificado na Tabela 2. Através da aplicação da Distribuição Binomial aos resultados da análise estatística de dados agrupados definiu-se a probabilidade de ocorrência de cada uma das situações possíveis. Construindo-se gráficos onde estes valores foram plotados juntamente com os resultados obtidos nas observações de campo, pôde ser efetuada uma comparação visual entre valores reais e valores estimados.

A tabela 3 apresenta os resultados para escavadeiras de grande e médio porte, e a Tabela 4 para caminhões. Os gráficos comparando os dados obtidos através da estimativa por Distribuição Binomial e os dados observados, constantes nestas tabelas, são apresentados na Figura 1.

Tabela 2 - Parâmetros estatísticos do índice de disponibilidade física para escavadeiras e caminhões -MUT- Ano de 1996

Parâmetro	Escav.Grande Porte		Escav.Médio Porte		Caminhão	
	Dados Ind.	Dados Agr.	Dados Ind.	Dados Agr.	Dados Ind.	Dados Agr.
n	33,648	33,648	33,648	33,648	33,648	33,648
x_m	0.6546	0.6546	0.6269	0.6269	0.7792	0.7792
s^2	0.0684	0.0684	0.0763	0.0763	0.0119	0.0119
s	0.2615	0.2615	0.2762	0.2762	0.1091	0.1089
CV	39.95%	39.96%	44.06%	44.06%	14.00%	13.98%
a_3	-0.3036	-0.3036	-0.3909	-0.3909	-0.4882	-0.4881
a_4	-0.5048	-0.5050	-0.3759	-0.3762	0.2004	0.2000

Tabela 3 - Distribuição de escavadeiras disponíveis, segundo dados estimados por Distribuição Binomial e dados observados -MUT- Ano de 1996

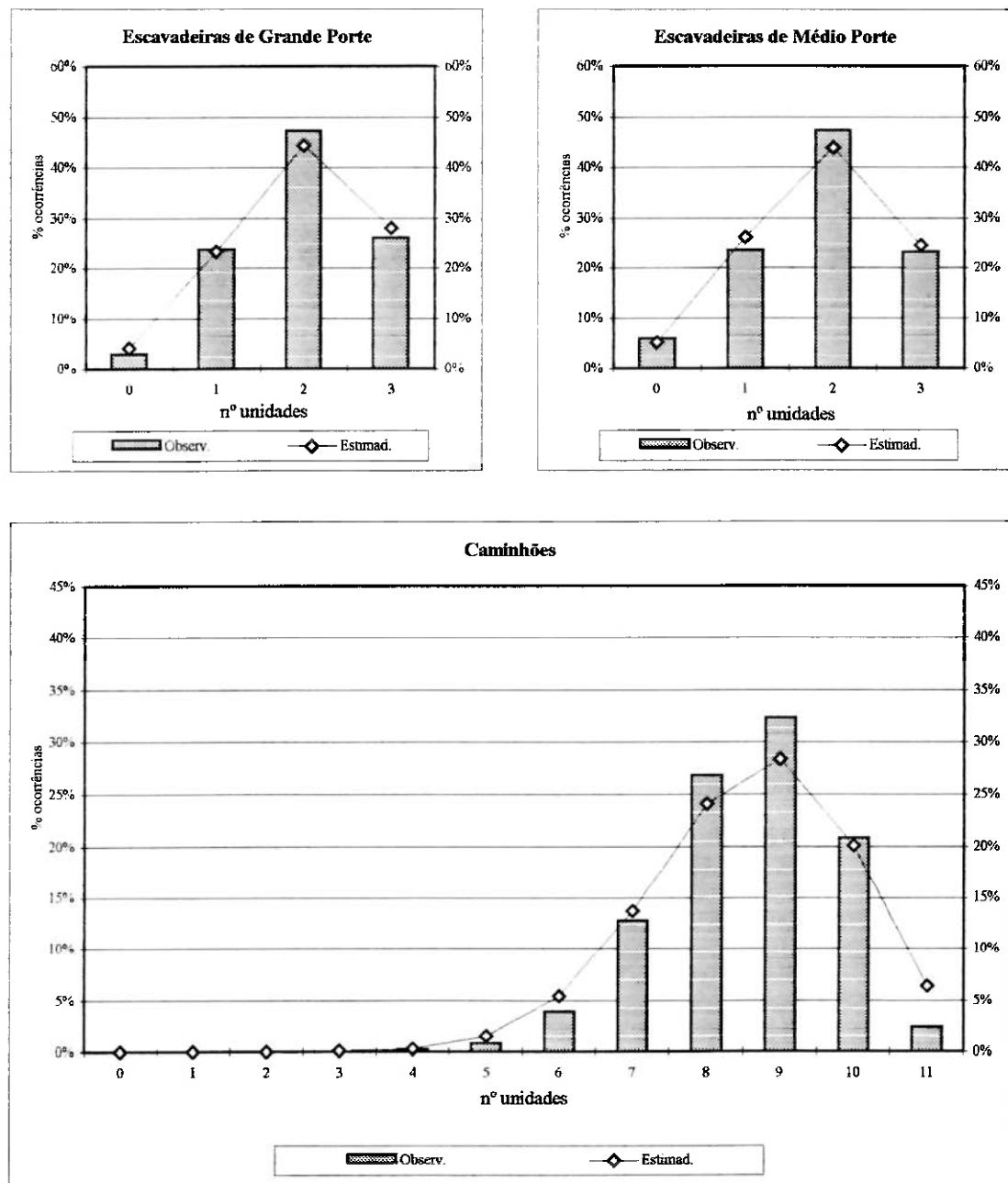
Escavadeira	Grande Porte		Médio Porte		
	nºunid.	Observ.	Estimad.	Observ.	Estimad.
0		2.9%	4.1%	5.9%	5.2%
1		23.8%	23.4%	23.5%	26.2%
2		47.2%	44.4%	47.4%	44.0%
3		26.1%	28.1%	23.2%	24.6%
Total		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Tabela 4 - Distribuição de caminhões disponíveis, segundo dados estimados por Distribuição Binomial e dados observados -MUT- Ano de 1996

nºunid.	Observ.	Estimad.
0	0.0%	0.0%
1	0.0%	0.0%
2	0.0%	0.0%
3	0.0%	0.1%
4	0.2%	0.3%
5	0.8%	1.5%
6	3.9%	5.4%
7	12.7%	13.7%
8	26.8%	24.1%
9	32.4%	28.4%
10	20.8%	20.1%
11	2.4%	6.4%
Total	100.0%	100.0%

É importante observar que nos gráficos há uma tendência de suavização da curva correspondente aos dados estimados por Distribuição Binomial, enquanto para valores observados tem-se uma maior concentração de valores próximos da média.

Figura 1 - Gráficos da distribuição de escavadeiras e caminhões disponíveis, segundo dados estimados por Distribuição Binomial e dados observados - MUT - Ano de 1996



De maneira geral os valores calculados para o Qui-Quadrado (X^2) estiveram muito acima dos valores críticos, mesmo considerando-se nível de significância igual a 0.01, conforme pode ser verificado na relação abaixo:

- Escavadeira de Grande Porte:

$$X^2 = 217.52, X^2_{0.99} = 9.52, X^2_{0.95} = 5.99 \text{ e } X^2_{0.05} = 0.103$$

- Escavadeira de Médio Porte:

$$X^2 = 239.47, X^2_{0.99} = 9.52, X^2_{0.95} = 5.99 \text{ e } X^2_{0.05} = 0.103$$

- Caminhões:

$$X^2 = 1.469.0, X^2_{0.99} = 21.7, X^2_{0.95} = 16.9 \text{ e } X^2_{0.05} = 3.33$$

A Tabela 5 apresenta os principais parâmetros da Distribuição Binomial para escavadeiras de grande porte, a saber, o índice de disponibilidade física (p), a média de equipamentos liberados (μ), sua variância (σ^2), seu desvio padrão (σ) e seu coeficiente de variação (CV), além do resultado do Teste do Qui-Quadrado (X^2). Estas informações são apresentadas para escavadeiras de grande porte, escavadeiras de médio porte e para caminhões.

Tabela 5 - Parâmetros da Distribuição Binomial e resultados do Teste do Qui-Quadrado - MUT - 1996

Equip.	X^2	p	μ	σ^2	σ	CV
EscavGP	217.52	65.46%	1.96	0.6783	0.8236	41.9%
EscavMP	239.47	62.69%	1.88	0.7017	0.8377	44.5%
Caminh	1.469.00	77.92%	8.57	1.8925	1.3757	16.1%

A variabilidade dos dados observados em relação aos dados estimados foi estudada de acordo com o intervalo de confiança das proporções, conforme estabelecido por WONNACOTT; WONNACOTT (1980). A aplicação da Fórmulas 24 e 25 resultou nos dados das Tabelas 6, 7 e 8; a Figura 2 mostra a representação gráfica para cada um dos conjuntos.

Tabela 6 - Relação entre dados observados e dados estimados por Distribuição Binomial, para escavadeiras de grande porte, considerando intervalo de confiança de 95% -MUT- Ano de 1996

nºunid.	Observ.	Estimad.	$1.96(pq/N)^{1/2}$	(Obs/Est)	(I/Est)	(Obs+I)/Est	(Obs-I)/Est
0	0.0296	0.0412	0.0018	0.7184	0.0440	0.7624	0.6745
1	0.2379	0.2343	0.0045	1.0154	0.0194	1.0348	0.9959
2	0.4718	0.4440	0.0053	1.0626	0.0120	1.0746	1.0506
3	0.2607	0.2805	0.0047	0.9294	0.0167	0.9461	0.9127

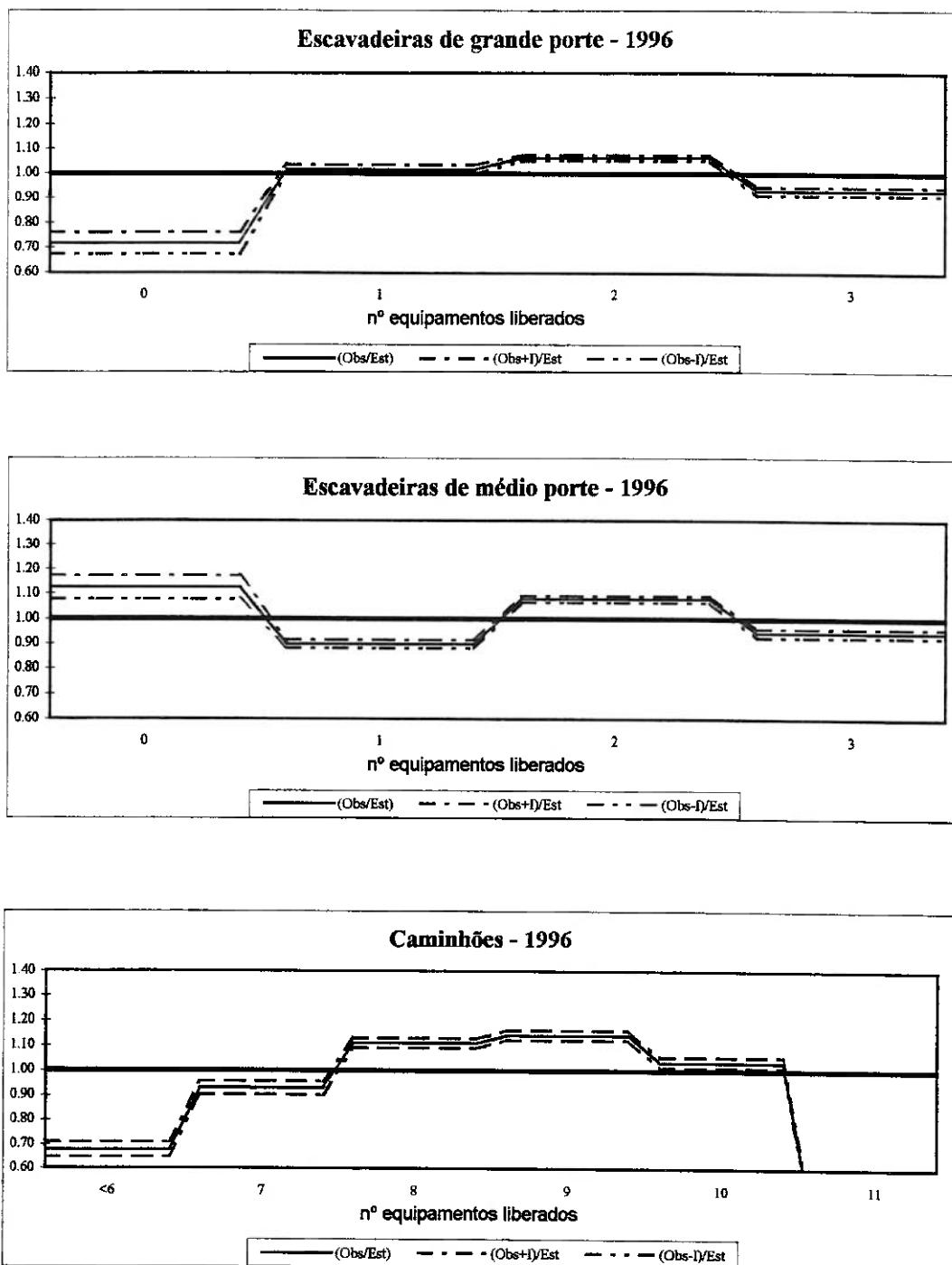
Tabela 7 - Relação entre dados observados e dados estimados por Distribuição Binomial, para escavadeiras de médio porte, considerando intervalo de confiança de 95% -MUT- Ano de 1996

nºunid.	Observ.	Estimad.	$1.96(pq/N)^{1/2}$	(Obs/Est)	(I/Est)	(Obs+I)/Est	(Obs-I)/Est
0	0.0584	0.0519	0.0025	1.1252	0.0483	1.1735	1.0770
1	0.2348	0.2618	0.0045	0.8969	0.0173	0.9142	0.8796
2	0.4745	0.4399	0.0053	1.0787	0.0121	1.0908	1.0665
3	0.2323	0.2464	0.0045	0.9428	0.0183	0.9611	0.9245

Tabela 8 - Relação entre dados observados e dados estimados por Distribuição Binomial, para caminhões, considerando intervalo de confiança de 95% -MUT- Ano de 1996

nºunid.	Observ.	Estimad.	$1.96(pq/N)^{1/2}$	(Obs/Est)	(I/Est)	(Obs+I)/Est	(Obs-I)/Est
<6	0.0496	0.0732	0.0023	0.6776	0.0317	0.7093	0.6459
7	0.1267	0.1367	0.0036	0.9268	0.0260	0.9528	0.9008
8	0.2682	0.2413	0.0047	1.1115	0.0196	1.1311	1.0919
9	0.3244	0.2839	0.0050	1.1427	0.0176	1.1603	1.1250
10	0.2076	0.2005	0.0043	1.0354	0.0218	1.0570	1.0138
11	0.0235	0.0844	0.0016	0.3649	0.0251	0.3900	0.3398

Figura 2 - Gráficos da relação entre dados observados e dados estimados por Distribuição Binomial, para escavadeiras e caminhões, considerando intervalo de confiança de 95% -MUT- Ano de 1996



A Tabela 9 sintetiza os dados obtidos na determinação da produtividade máxima, considerando-se a ocorrência estimada e a ocorrência observada.

Tabela 9 - Comparação entre a produtividade máxima obtida através de Dados Estimados por Distribuição Binomial e de dados observados -MUT- 1996

Ocorrência	Escav	Caminh	Conjunto
Estimada	2,511	2,743	2,257
Observada	2,511	2,743	2,292

Em primeiro lugar é importante registrar que os resultados obtidos, utilizando-se a ocorrência estimada por Distribuição Binomial, ficaram muito próximos aos calculados com a ocorrência observada. Outro ponto a ser destacado é a diferença observada entre a produtividade máxima do conjunto escavadeira/caminhão e as produtividades máximas calculadas isoladamente; os valores calculados para o conjunto foram sempre inferiores aos determinados para cada equipamento.

A Tabela 10 resume os valores máximos que poderiam ser obtidos para o índice de utilização, considerando-se a ocorrência estimada por Distribuição Binomial e a ocorrência observada.

Tabela 10 - Comparação entre máximo índice de utilização (IU) possível para dados estimados por Distribuição Binomial, para dados observados e para dados reais - MUT- 1996

Ocorrência	EscavGP	EscavMP	Caminh
Estimada	88%	79%	91%
Observada	90%	79%	92%
Reais	78%	67%	84%

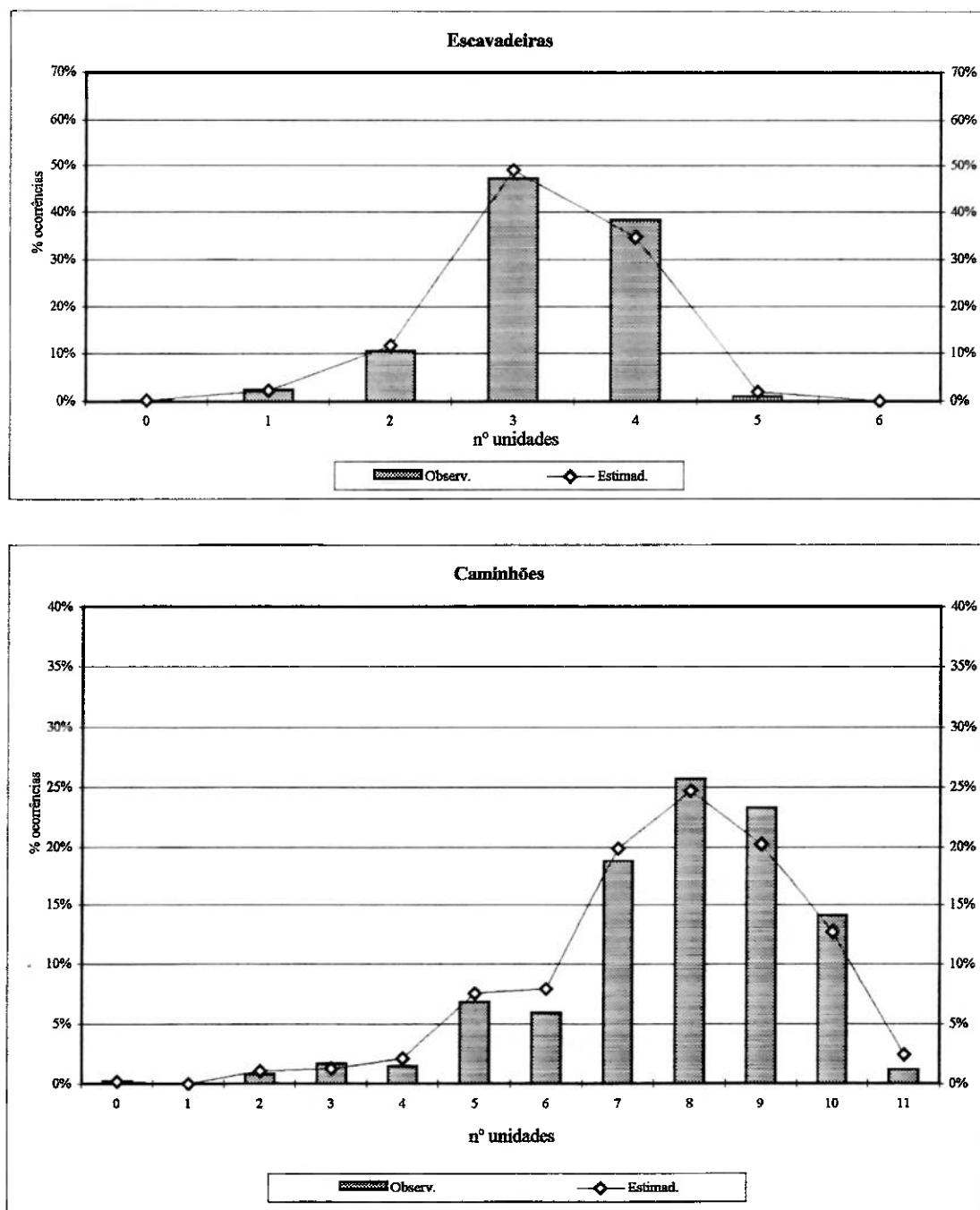
Da mesma forma, verificou-se que os resultados obtidos com dados estimados são equivalentes aos valores calculados com dados observados. Para efeito de comparação apresentam-se os dados reais obtidos para o índice de utilização, calculados através da análise estatística de dados individuais.

Considerando a utilização teórica, pôde-se compor a tabela e os gráficos que retratam a distribuição de equipamentos utilizados simultaneamente. Na Tabela 11 apresentam-se os resultados para dados estimados por Distribuição Binomial e dados observados, para escavadeiras e caminhões; os gráficos, ilustrando o comportamento das curvas, são apresentados na Figura 3.

Tabela 11 - Distribuição de escavadeiras e caminhões utilizados simultaneamente, para dados estimados por Distribuição Binomial e dados observados -MUT- Ano de 1996

nºunid.	Escavadeiras		Caminhões	
	Observado	Estimado	Observado	Estimado
0	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%
1	2.5%	2.3%	0.0%	0.0%
2	10.6%	11.7%	0.8%	1.1%
3	47.3%	49.1%	1.7%	1.3%
4	38.4%	34.7%	1.5%	2.1%
5	1.0%	2.0%	6.8%	7.5%
6	0.0%	0.0%	5.9%	7.9%
7	-	-	18.8%	19.9%
8	-	-	25.7%	24.7%
9	-	-	23.3%	20.2%
10	-	-	14.1%	12.7%
11	-	-	1.2%	2.4%
Total	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Figura 3 - Gráficos da distribuição de escavadeiras e caminhões utilizados simultaneamente, para dados estimados por Distribuição Binomial e dados observados - MUT - Ano de 1996



IV Discussão dos Resultados

A discrepância encontrada, considerando os dados estimados e os dados observados, representada pelo Teste do Qui-Quadrado, excedeu aos valores críticos. SPIEGEL (1977) propõe duas explicações para esta não adequação do Teste do Qui-Quadrado. A primeira é que a Distribuição Binomial pode não corresponder à real distribuição da variável estudada. A segunda sugere que o intervalo de tempo entre as tomadas de amostras não está adequado e propõe que este seja diminuído até que os valores do X^2 satisfaçam ao teste de significância.

Já WONNACOTT; WONNACOTT (1980) afirmam que o Teste do Qui-Quadrado é inadequado para o estudo de amostras muito grandes. Esta afirmação pode ser constatada nos resultados obtidos no tratamento dos dados obtidos no presente trabalho. Apesar dos valores calculados para o X^2 serem muito maiores que os limites aceitáveis, especialmente para os caminhões, o exame das curvas geradas mostra haver uma aproximação muito boa entre o percentual estimado aplicando-se a Distribuição Binomial e os dados observados (ver Figura 1).

Analizando os resultados da Tabela 5 poder-se-ia admitir que, segundo o coeficiente de variação, a Distribuição Binomial ajusta-se melhor para o caminhões que para as escavadeiras. Entretanto, a apreciação da fórmula de cálculo do coeficiente de variação revela ser este parâmetro inversamente proporcional à média dos dados tratados. Desta forma, é de se esperar que quanto maior o número de unidades, menor será seu coeficiente de variação. Com o intuito de testar esta afirmação, foi feito um exercício no qual as escavadeiras foram agrupadas em um única frota e os dados tratados pela Distribuição Binomial. Os valores de CV caíram de 41.9% (escavadeiras de grande porte) e 44.5% (escavadeiras de médio porte) para 19.0%. Este resultado comprova um bom ajuste da Distribuição Binomial aos dados reais para o conjunto escavadeira.

O exame das Tabelas 6, 7 e 8 e dos gráficos da Figura 2 revela que o ajuste dos dados observados aos dados estimados por Distribuição Binomial é muito bom, quando examinado segundo o intervalo de confiança. Para escavadeiras de grande porte, expurgando-se a condição de 0 (zero) escavadeiras liberadas, que representa menos de 3% do total, tem-se menos de 10% de variação. Para escavadeiras de médio porte o resultado é semelhante. Para os caminhões, eliminando-se a condição de 6 ou menos equipamentos liberados (5% das amostras) e 11 equipamentos liberados (3% da amostra), as variações não atingem 15%.

Os resultados da produtividade máxima (Tabela 9) revelam não apenas a total compatibilidade entre os cálculos utilizando dados estimados e os cálculos utilizando dados observados, mas, também, a discrepância existente entre a produtividade máxima de cada frota de equipamento, tomada isoladamente, e a produtividade máxima do conjunto visto como uma **operação unitária**. A diferença atinge 10% para escavadeiras e 18% para caminhões. Assim, fica patente a necessidade de se determinar a produtividade máxima do conjunto formado pelos equipamentos de carga e transporte, para não se incorrer no erro de subestimar o número de unidades de cada frota.

Como a base para a elaboração da tabela de máximo índice de utilização foi a produtividade, o resultado obtido revelou, como era de se esperar, uma grande similaridade entre os valores calculados através de dados estimados por Distribuição Binomial e através de dados observados.

O cálculo do número de equipamentos utilizados simultaneamente para uma frota leva em consideração a limitação imposta pela produtividade da outra frota. Assim, só foram computadas em operação as unidades necessárias à consecução da produtividade máxima do conjunto. O exame da Figura 3 revela que a curva gerada com os valores calculados com base em dados estimados por Distribuição Binomial mostra o mesmo comportamento da curva gerada com base nos dados observados. O cálculo do número de equipamentos utilizados simultaneamente

pode ser uma ferramenta muito útil na determinação da mão-de-obra a ser utilizada na operação de equipamentos e na definição do nível mínimo de polivalência do quadro.

V Conclusões

Os resultados obtidos confirmam que o carregamento e o transporte podem ser eficientemente tratados como uma **operação unitária** e que a Distribuição Binomial é uma ferramenta adequada para estimativa do comportamento do índice de disponibilidade física dos equipamentos empregados nestas atividades.

Para a definição do número de unidades de cada frota e seu quadro operacional, sugere-se a seguinte sequência:

- 1) Calcular a produtividade horária do equipamento de carga;
- 2) Calcular a produtividade horária do caminhão;
- 3) Definir a produção horária requerida;
- 4) Calcular o número teórico de unidades de carregamento e transporte;
- 5) Aplicar a Distribuição Binomial a estes números, com base no índice de disponibilidade física das frotas;
- 6) Calcular a produção horária máxima do conjunto;
- 7) Definir o número de unidades de carregamento e transporte;
- 8) Dimensionar o quadro de pessoal operacional.

A definição da produtividade horária do equipamento de carga é feita pela Fórmula 33, onde IAO representa o índice de atrasos operacionais, t_p o tempo de posicionamento do caminhão, que deve ser adicionado ao tempo de ciclo da escavadeira (t_e) e N_p representa o número de passos da escavadeira para encher o caminhão. C corresponde à capacidade da caçamba do equipamento de carga, F_e .

ao fator de enchimento da caçamba, **E** ao fator de empolamento do material e **d** à densidade.

$$P_c = \frac{60 \text{ (min/h)} \times C(m^3) \times Fe \times E \times d \times IAO}{[(t_p/N_p) + t_c \text{ (seg)}] / 60 \text{ (seg/min)}} \quad (33)$$

O índice de atrasos operacionais corresponde à relação entre as horas efetivamente de produção (**HE**) e as horas em operação (**HO**). A diferença entre **HO** e **HE** correspondente às horas perdidas que o gerenciamento do dia-a-dia da mina pode reduzir, tais como troca de turno, acerto de praça de equipamento, palestra de segurança para operadores, inspeção de equipamento, etc.

Para os caminhões sugere-se o cálculo da produtividade (**P_t**) segundo a Fórmula 34, onde **T** representa a tonelagem transportada por viagem, **IAO** o índice de atrasos operacionais e **t_t** o tempo de seu ciclo

$$P_t = \frac{60 \text{ (min/h)} \times T(t) \times IAO}{t_t \text{ (min)}} \quad (34)$$

O tempo de ciclo destes equipamentos (**t_t**) corresponde à soma do tempo de posicionamento e carga, idêntico ao da escavadeira, com o tempo de viagem e com o tempo de manobra e descarga. De acordo com esta proposta, o tempo de espera foi retirado do tempo de ciclo dos caminhões e colocado nos atrasos operacionais. Caso haja interesse em simular estes tempos de espera, o valor deve ser adicionado aos tempos de ciclo das frotas de escavadeiras e caminhões e retirado do **IAO**.

Optando-se por adotar a política de privilegiar a capacidade de carregamento, sugere-se admitir **IAO** igual a 95% para equipamentos de transporte e igual a 85%, para equipamentos de carga, em função dos tempos de espera.

A produção horária requerida (P_h) deve ser calculada em função da produção anual (P) estabelecida para o empreendimento, conforme apresentado na Fórmula 35.

$$P_h = P / (HH * E * IHO) \quad (35)$$

Na Fórmula 35, **HH** representa as horas horizonte no ano, ou seja, 365 dias com 24 horas por dia, ou ainda, 8760 horas no ano, e **E** corresponde à eficiência no trabalho. Sugere-se que este valor seja adotado entre 75% e 85%, conforme as características de cada projeto.

O índice de horas operacionais (**IHO**) corresponde à relação entre as horas em operação (**HO**) e as horas disponíveis para operação (**HD**), expurgadas as horas em que unidades de uma determinada frota estejam paradas por não haver equipamentos disponíveis suficientes da outra frota. A diferença entre **HD** e **HO** define as horas não operacionais (**HN**), responsáveis pelas perdas de produção decorrentes de impedimentos operacionais, tais como domingos e feriados não trabalhados, tempo ruim, refeição, detonação, etc. Caso seja estimado um índice de horas operacionais diferente para equipamentos de carga e de transporte, o que é mais comum, deve-se calcular a produção horária requerida para cada frota, respectivamente P_{hc} e P_{ht} .

Definidas a produção horária requerida (P_{hc} e P_{ht}) e a produtividade de cada unidade de carga e transporte (P_c e P_t), calcula-se o número teórico de escavadeiras (N_{ct}) e de caminhões (N_{tt}), segundo as Fórmulas 36 e 37.

$$N_{ct} = P_{hc} / P_c \quad (36)$$

$$N_{tt} = P_{ht} / P_t \quad (37)$$

Estes números são fracionários e devem ser arredondados para o inteiro imediatamente superior.

Com base nestas informações e na média esperada para o índice de disponibilidade física de equipamentos de carga (p_c) e equipamentos de transporte (p_t), a Distribuição Binomial pode ser aplicada para se estimar a ocorrência das diversas combinações e a produtividade máxima da operação unitária, **Prod.Máx_{Conjunto}**, utilizando a mesma sistemática adotada no tratamento de dados deste trabalho.

O número de unidades das frotas de carregamento e transporte, para a consecução dos resultados esperados, respectivamente, N_c e N_t , é calculado multiplicando-se o número teórico de unidades pela relação entre a produção horária requerida (P_{hc} e P_{ht}) e a produtividade máxima da operação unitária (**Prod.Máx_{Conjunto}**), conforme apresentado nas Fórmulas 38 e 39. Novamente, tem-se um número fracionário, cujo refinamento pode ser feito através de simulação das quatro alternativas (arredondamento para baixo e para cima, para os dois conjuntos), utilizando a mesma metodologia.

$$N_c = N_{ct} \times P_{hc} / \text{Prod.Máx}_{\text{Conjunto}} \quad (38)$$

$$N_t = N_{ct} \times P_{ht} / \text{Prod.Máx}_{\text{Conjunto}} \quad (39)$$

O índice de utilização real dos equipamentos (u_c e u_t), que corresponde à relação entre as horas em operação e as horas disponíveis para operação, pode ser calculado aplicando-se as Fórmulas 40 e 41, respectivamente para equipamentos de carregamento e equipamentos de transporte.

$$u_c = (IHO_c \times P_{hc}) / (N_c \times P_c \times p_c) \quad (40)$$

$$u_t = (IHO_t \times P_{ht}) / (N_t \times P_t \times p_t) \quad (41)$$

Na Fórmula 40, IHO_c representa o índice de horas operacionais, P_{hc} a produção horária requerida, N_c o número de unidades da frota, P_c a produtividade horária de cada unidade e p_c o índice de disponibilidade física, para equipamentos de carga. A mesma terminologia é utilizada na Fórmula 41, para equipamentos de transporte.

Definidas as frotas, a sequência de cálculo utilizada neste trabalho, para determinação do número de unidades operadas simultaneamente, é sugerida para especificar o número ideal de operadores por turno. Os resultados obtidos podem ser utilizados, também, para a determinação do nível mínimo de polivalência requerido, representado pelo número de funcionários que deverão ser treinados, tanto na operação de equipamentos de carga, quanto na operação de caminhões.

De forma a tornar mais claro o relacionamento entre as horas aqui estabelecidas e os índices calculados apresenta-se, na Figura 4, um diagrama ilustrativo destas relações.

Figura 4 - Relacionamento entre horas e índices

HE	AO	HN	HMP	HMC
HO				
HD				HM
HH				
HE: Horas efetivamente de produção AO: Atrasos operacionais HO: Horas em operação HN: Horas não operacionais HD: Horas disponíveis para operação HMC: Horas de manutenção corretiva HMP: Horas de manutenção preventiva HM: Horas de manutenção HH: Horas horizonte				
$IAO = \text{Índice de atrasos operacionais} = HE/HO$ $IHO = \text{Índice de horas operacionais} = (HO/HD)^*$ $p = \text{Índice de disponibilidade física} = HD/HH$ $u = \text{Índice de utilização} = HO/HD$				

* expurgar as horas paradas por manutenção na outra frota, quando utilizar a Distribuição Binomial

Referências Bibliográficas

- ATKINSON, T. Selection and sizing of excavating equipment. In: HARTMAN, H.L,ed. **SME mining engineering handbook**. 2.ed. Littleton, SME, 1992. v.2, p.1311-33.
- BOHNET, E.L. Mine equipment fleet size determination. **International Mining**. v.1,n.12, p.13-20, Dec.1984.
- BOHNET, E.L. Surface mining: method advantages and disadvantages. In: HARTMAN, H.L,ed. **SME mining engineering handbook**. 2.ed. Littleton, SME, 1992. v.2, p.1533-7.
- BORISOV, S.; KLOKOV, M.; GORNOVOI, B. **Labores Mineras**. Moscow, Mir, 1976.
- BORQUEZ, G.V.; THOMPSON, J.V. Feasibility studies. In: KENNEDY, B.A,ed. **Surface mining**. 2.ed. Littleton, SME, 1990. p. 396-423.
- CATERPILLAR. **Princípios básicos de Terraplenagem**. Piracicaba, 1992.
- CHURCH, H.K. **Excavation handbook**. New York, McGraw-Hill, 1981.
- ELBROND, J. Haulage system analysis: queuing theory. In: KENNEDY, B.A,ed. **Surface mining**. 2.ed. Littleton, SME, 1990. p.743-8.
- FILES, T.I. Hydraulic excavator. In: KENNEDY, B.A,ed. **Surface mining**. 2.ed. Littleton, SME, 1990. p.634-8.
- FOURIE, G.A.; DOHM JR., G.C. Open pit planning and design. In: HARTMAN, H.L,ed. **SME mining engineering handbook**. 2.ed. Littleton, SME, 1992. v.2, p.1274-97.

HAYS, R.M. Trucks. In: KENNEDY, B.A,ed. **Surface mining**. 2.ed. Littleton, SME, 1990. p.672-91.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Índices de manutenção e de operação**. Belo Horizonte, IBRAM, 1997.

LANNA, D.S.L.; MIQUELANTE, E.; COSTA, E.F. Dimensionamento de quadro de pessoal polivalente por simulação. In: SEMINÁRIO NACIONAL O COMPUTADOR E SUA APLICAÇÃO NO SETOR MINERAL: PESQUISA, LAVRA E BENEFICIAMENTO MINERAIS, 5., Belo Horizonte, 1992. **Coletânia de trabalhos técnicos**. Belo Horizonte, IBRAM, 1992. p.221-37.

MAEHLMAN, H. Application of large hydraulic excavators in open-pit mines and basic parameters for the selection of excavator and truck size. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MINE PLANNING AND EQUIPMENT SELECTION, Calgary, 1988. **Mine planning and equipment selection**: proceedings; ed. by R.K. Singhal. Rotterdam, Balkema, 1988. p.247-53.

MENDONÇA, R.J. Compatibilização e dimensionamento da frota de equipamentos de lavra em operação conjugada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO, 2., São Paulo, 1987. **Coletânea de trabalhos técnicos**. Belo Horizonte, IBRAM, 1987. p.447-59.

MORGAN, B. Optmizing truck-loader matching. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MINE PLANNING AND EQUIPMENT SELECTION, 3., Istambul, 1994. **Mine planning and equipment selection 1994**: proceedings; ed. by A.G. Pasamehmetoglu. Rotterdam, Balkema, 1994. p.313-20.

- NASCIMENTO, M.A.P. Desempenho de equipamentos de transporte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO, 2., São Paulo, 1987. **Coletânea de trabalhos técnicos**. Belo Horizonte, IBRAM, 1987. p.460-75.
- RAMANI, R.V. Haulage systems simulation analysis. In: KENNEDY, B.A,ed. **Surface mining**. 2.ed. Littleton, SME, 1990. p. 724-42.
- RICARDO, H.S.; CATALANI, G. **Manual prático de escavação**. São Paulo, McGraw-Hill, 1976.
- SARGENT, F.R. Loading. In: KENNEDY, B.A,ed. **Surface mining**. 2.ed. Littleton, SME, 1990. p.620-33.
- SPIEGEL, M.R. **Estatística**. São Paulo, McGraw-Hill, 1977.
- SRAJER, V.; KOLADA, B.; STUART, N.J.; SZYMANSKI, J. Optimization for maximum production of truck/shovel mining systems. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE APPLICATION OF COMPUTERS AND OPERATIONS RESEARCH IN THE MINERAL INDUSTRY, 21., Las Vegas, 1989. **Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry**; ed. by A. Weiss. Littleton, AIME, 1989. p.617-30.
- SRAJER, V.; KOLADA, B.; STUART, N.J.; SZYMANSKI, J. Selection of loading and hauling equipment: user practices. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE APPLICATION OF COMPUTERS AND OPERATIONS RESEARCH IN THE MINERAL INDUSTRY, 21., Las Vegas, 1989. **Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry**; ed. by A. Weiss. Littleton, AIME, 1989. p.638-45.

SUBOLESKI, S.C.; CAMERON, R.E.; ALBERT, I.K. Systems engineering. In: HARTMAN, H.L.ed. **SME mining engineering handbook**. 2.ed. Littleton, SME, 1992. v.1, p.563-97.

SULLIVAN, T. W. New technology and economies of scale in shovel-truck sizing. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MINE PLANNING AND EQUIPMENT SELECTION, Calgary, 1988. **Mine planning and equipment selection: proceedings**; ed. by R.K. Singhal. Rotterdam, Balkema, 1988. p.3-6.

SWEIGARD, R.G. Materials handling: loading and haulage. In: HARTMAN, H.L.ed. **SME mining engineering handbook**. 2.ed. Littleton, SME, 1992. v.1, p.761-82.

WANG, Q.; SEVIM, H.; DE TOMI, G. A solution to the problem of scheduling and replacement in open-pit mines. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE APPLICATION OF COMPUTERS AND OPERATIONS RESEARCH IN THE MINERAL INDUSTRY, 21., Las Vegas, 1989. **Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry**; ed. by A. Weiss. Littleton, AIME, 1989. p.662-73.

WONNACOTT, T.; WONNACOTT, R. Introdução à estatística. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1980.

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PMI/001 - Características Geométricas da Escavação Mecânica em Mineração: Exemplo de Escavadora de Caçamba de Arraste - ANTONIO STELLIN JUNIOR
- BT/PMI/002 - Prospecção Geoquímica Experimental na Ocorrência de Ouro Tapera Grande - PAULO BELJAVSKIS, HELMUT BORN
- BT/PMI/003 - Estudo de Processo de Dupla Flotação visando o Beneficiamento do Minério Carbonático de Fosfato de Jacupiranga - JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/004 - Desenvolvimento de um Equipamento Não-Convencional em Beneficiamento Mineral: A Célula Serrana de Flotação Pneumática - RICARDO NEVES DE OLIVEIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/005 - Aluste de Modelos Empíricos de Operação de Ciclones - HOMERO DELBONI JUNIOR, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/006 - Contribuição ao Estudo dos Explosivos Permissíveis -AMILTON DOS SANTOS ALMEIDA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/007 - Contribuição ao Dimensionamento de Pilares em Minas Subterrâneas de Manganês - LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA, ANTONIO STELLIN JUNIOR
- BT/PMI/008 - Exploração Mineral: Conceitos e Papel do Estado - LUIZ AUGUSTO MILANI MARTINS, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/009 - Otimização do Projeto de Pátios de Homogeneização através do Método da Simulação Condicional - FLAVIO MOREIRA FERREIRA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/010 - Considerações Gerais sobre Desmonte de Rocha: Análise de Custo - Índice de Produtividade e Otimização da Malha de Perfuração - MARCO ANTONIO REZENDE SILVA, FERNANDO AMOS SIRIANI
- BT/PMI/011 - Aglomeração de Rejeitos de Fabricação de Brita para sua Reciclagem - ARTHUR PINTO CHAVES, BRADDLEY PAUL
- BT/PMI/012 - Método de Dimensionamento de Peneiras para a Classificação Granulométrica de Rochas ou Minérios - FERNANDO AMOS SIRIANI
- BT/PMI/013 - Processo de Beneficiamento para Obtenção de uma Carga Mineral Nobre a partir do Fosfogesso - WALTER VALERY JUNIOR, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/014 - Estudo da Carboxi-Metil-Celulose como Aglomerante para Pelotização - JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/015 - A Influência do Amido de Milho na Eficiência de Separação Apatita/Minerais de Ganga Via Processo Serrana - LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/016 - Beneficiamento de Criolita Natural - Estado da Arte - HENRIQUE KAHN, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/017 - Estudo da Variação do Úndice Energético Específico - Wi, segundo a Granulometria do Ensaio, Obtida através de um Moinho de Bolas Padrão, em Circuito Fechado - MARIO SHIRO YAMAMOTO, FERNANDO AMOS SIRIANI
- BT/PMI/018 - Fluorita - FERNANDO FUJIMURA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/019 - O Aproveitamento de Recursos Minerais: Uma Proposta de Abordagem a Nível Nacional - CELSO PINTO FERRAZ, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/020 - Comparação de duas Metodologias - A de Bieniawski e a de Panek, para Dimensionamento de Tirantes em Galerias Subterrâneas de Seção Retangular em Camadas Estratificadas - NESTOR KENJI YOSHIKAWA, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/021 - Caracterização de Maciços Rochosos através de Envoltórios de Resistência por Tratamento Estatístico utilizando Dados de Laboratório do IPT Simulando Condições Geotécnicas do Maciço - NESTOR KENJI YOSHIKAWA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/022 - Avaliação de Impactos Ambientais na Mineração de Combustíveis Fósseis Sólidos - GILDA CARNEIRO FERREIRA, ANTONIO STELLIN JUNIOR
- BT/PMI/023 - O Lado Nocivo do Elemento Quartz no Desgaste Abrasivo de Mandíbula de Britadores - FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/024 - Conceitos Básicos de Iluminação de Minas Subterrâneas - SÉRGIO MEDICI DE ESTON, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/025 - Sistema Computadorizado para Ajuste de Balanço de Massas e Metalúrgico - ANTONIO CARLOS NUNES, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/026 - Caracterização Mineralógica/Tecnológica das Apatitas de alguns Depósitos Brasileiros de Fosfato - SARA LAIS RAHAL LENHARO, HELMUT BORN
- BT/PMI/027 - Classificação de Maciços quanto à Escarificabilidade - GUILHERME DE REZENDE TAMMERIK, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO, LINDOLFO SOARES

- BT/PMI/028 - Análise Comparativa de Métodos de Amostragem de Depósitos Auríferos - FABIO AUGUSTO DA SILVA
SALVADOR, HELMUT BORN
- BT/PMI/029 - Avaliação da Qualidade de Corpos Moedores para o Minério Fosfático de Tapira - MG - GERALDO DA SILVA
MAIA, JOSÉ RENATO B. DE LIMA
- BT/PMI/030 - Contribuição ao Estudo da Cominuição Inicial à Partir da Malha de Perfuração - MARCO ANTONIO REZENDE
SILVA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/031 - Análises Químicas na Engenharia Mineral - GIULIANA RATTI, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/032 - Usos Industriais da Atapulga de Guadalupe (PI) - SALVADOR LUIZ MATOS DE ALMEIDA, ARTHUR PINTO
CHAVES
- BT/PMI/033 - Minerais Associados às Apatitas: Análise de sua Influência na Produção de Ácido Fosfórico e Fertilizantes
Fosfatados - ROBERTO MATTIOLI SILVA, ANTÔNIO EDUARDO CLARK PERES
- BT/PMI/034 - Beneficiamento dos Caulins do Rio Capim e do Jari - ADÃO BENVINDO DA LUZ, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/035 - Dimensionamento de Suportes em Vias Subterrâneas - LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA, WILDOR
THEODORO HENNIES
- BT/PMI/036 - Estudos da Modelagem Matemática da Moagem com Seixos para Talco de Diversas Procedências - MARIO
VALENTE POSSA, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/037 - Mecânica de Rochas Aplicada ao Dimensionamento do Sistema de Atirantamento em Minas Subterrâneas -
LEONCIO TEÓFILO CARNERO CARNERO
- BT/PMI/038 - Geometria de Minas a Céu Aberto: Fator Crítico de Sucesso da Indústria Mineral - FÁBIO JOSÉ PRATI,
ANTÔNIO JOSÉ NAGLE
- BT/PMI/039 - Substituição do Aço por Polímero e Compósitos na Indústria Automobilística do Brasil: Determinantes e
Consequências para o Mercado de Minério de Ferro - WILSON TRIGUEIRO DE SOUSA, EDUARDO
CAMILHER DAMASCENO, ANTONIO JOSÉ NAGLE
- BT/PMI/040 - Aplicação de uma Metodologia que Simule em Moinho de Laboratório Operações Contínuas de Moagem com
Seixos para Talco - REGINA COELI CASSERES CARRISSO, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/041 - A Indústria Extrativa de Rochas Ornamentais no Ceará - FRANCISCO WILSON HOLLANDA VIDAL, ANTONIO
STELLIN JÚNIOR
- BT/PMI/042 - A Produção de Fosfato no Brasil: Uma Apreciação Histórica das Condicionantes Envolvidas - GILDO DE A. DE
SÁ C. DE ALBUQUERQUE, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/043 - Flotação em Coluna - Estado de Arte - JULIO CESAR GUEDES CORREIA, LAURINDO SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/044 - Purificação de Talco do Paraná por Flotação e Alvejamento Químico - IVAN FALCÃO PONTES, LAURINDO
SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/045 - Pequena Empresa - A Base para o Desenvolvimento da Mineração - GILSON EZEQUIEL FERREIRA,
EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/046 - Máquinas de Flotação - ROGÉRIO CONTATO GUIMARÃES, ANTÔNIO EDUARDO CLARK PERES
- BT/PMI/047 - Aspectos Tecnológicos do Beneficiamento do Carvão de Candiota (RS) - ANTONIO RODRIGUES DE
CAMPOS, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/048 - Efeito das Dimensões de Provetas no Dimensionamento de Espessadores - ELDON AZEVEDO MASINI,
ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/049 - Água no Processamento Mineral - RODICA MARIA TEODORESCU SCARLAT, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/050 - Drenagens Ácidas do Estéril Piiritoso da Mina de Urânia de Poços de Caldas: Interpretação e Implicações
Ambientais - VICENTE PAULO DE SOUZA, LUIS ENRIQUE SÁNCHEZ
- BT/PMI/051 - "Caracterização Tecnológica de Minérios Auríferos. Um Estudo de Caso: O Minério Primário da Jazida de
Salamangone, AP." - MARIA MANUELA MAIA LÉ TASSINARI, HENRIQUE KAHN
- BT/PMI/052 - Ensino de Engenharia de Minas - WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/053 - Redistribuição de Tensões e Desenvolvimento da Zona Clástica em Túneis Circulares - FERNANDO
FUJIMURA
- BT/PMI/054 - Projeto de Barragem para Reservação de Mistos de Minerais Pesados Rejeitados pelo Beneficiamento de
Cassiterita na Mina do Pitinga - MARCELO PIMENTEL DE CARVALHO, EDER DE SILVIO, LINDOLFO DE
SILVIO
- BT/PMI/055 - A Segurança e a Organização do Trabalho em uma Mineração Subterrânea de Carvão da Região de Criciúma -
Santa Catarina - DORIVAL BARREIROS, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/056 - Diagnóstico de Lixiviação para Mínérios de Ouro - VANESSA DE MACEDO TORRES, ARTHUR PINTO
CHAVES
- BT/PMI/057 - O Estado da Arte em Tratamento de Mínérios de Ouro - RONALDO DE MOREIRA HORTA, ARTHUR PINTO
CHAVES

- BT/PMI/058 - Vias Subterrâneas em Rocha - Escavação por Explosivos - WILDOR THEODORO HENNIES, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/059 - Aumento da Seletividade na Separação da Fluorita/Calcita/Barita/Apatita por Flotação. Jazida de Mato Preto - PR - MONICA SPECK CASSOLA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMC/060 - Desenvolvimento de Processo para Extração de Gálio do Licor de Bayer por Resinas de Troca-Iônica de Poli (Acrilamidoxima) - WALDEMAR AVITSCHER, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/061 - Estudo de Aspectos Geomecânicos Aplicados ao Projeto de Minas Subterrâneas - EDUARDO CÉSAR SANSONE, LINEU A. AYRES DA SILVA
- BT/PMI/062 - Avaliação da Recuperação de Áreas Degradadas por Mineração na Região Metropolitana de São Paulo - OMAR YAZBEK BITAR, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/063 - Avaliação Técnica dos Processos de Cianetação/Adsorção da Mina de Fazenda Brasileiro - ÁUREA MARIA DIAS, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/064 - A Nova Configuração da Indústria de Fertilizantes Fosfatados no Brasil - YARA KULAIF, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/065 - Estudos de Flotação em Coluna com Finos de Fosfato da Ultrafértil em Escala Piloto - JOSÉ PEDRO DO NASCIMENTO, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/066 - Flotação da Apatita da Jazida de Tapira - MG - LUIZ A. F. BARROS, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO- LUIZ A. F. BARROS, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/067 - Minerais Industriais: Conceituação, Importância e Inserção na Economia - FRANCISCO REGO CHAVES FERNANDES, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/068 - Atividades Micro-Sísmicas e a Ruptura de Rochas - FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/069 - Metodologia para Caracterização Tecnológica de Matérias Primas Minerais - LÍLIA MASCARENHAS SANT'AGOSTINO, HENRIQUE KAHN
- BT/PMI/070 - Aplicação de Modelos Numéricos ao Projeto de Escavação por Explosivos de Túneis e Galerias - LUIZ CARLOS RUSILO, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/071 - O Estado da Arte da Cianetação de Minérios Auríferos - ROBERTO GOULART MADEIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/072 - Revisão da Indústria Mineral de Titânio - ANTÔNIO HELENO DE OLIVEIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/073 - Sistematização de Casos de Instabilidades em Encostas Rochosas no Município de Santos, Através de Nova Metodologia de Avaliação de Estabilidade - NESTOR KENJI YOSHIKAWA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/074 - A Mínero-Metalurgia e suas Ligações com a Geologia e suas Engenharias de Minas, Metalúrgica e Química - RICARDO ALVARES DE CAMPOS CORDEIRO, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/075 - A Redução da Umidade de Minérios de Ferro com o Emprego de Microondas - FERNANDO LEOPOLDO VON KRÜGER, ANTÔNIO EDUARDO CLARK PERES
- BT/PMI/076 - Estimação de Parâmetros do Modelo Cinético de Moagem - CLÁUDIO FERNANDES, ANTÔNIO EDUARDO CLARK PERES
- BT/PMC/077 - A Bauxita e a Indústria do Alumínio - JOSÉ CRUZ DO CARMO FLÓRES, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMC/078 - Técnicas de Tratamento de Minérios para Reciclagem de Vidro - CLEUSA CRISTINA BUENO MARTHA DE SOUZA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/079 - Comparação entre Cylpebs e Bolas na Moagem Secundária da Samarco Mineração - JOAQUIM DONIZETTI DONDA, ANTONIO EDUARDO CLARK PERES
- BT/PMI/080 - Calcários Dolomíticos da Região de Ouro Preto para usos na Metalurgia e como Rochas Ornamentais - MARCÍLIO DIAS DE CARVALHO, PAULO ROBERTO GOMES BRANDÃO
- BT/PMI/081 - Estudo de Reoxidação e Redução de Ferro Contido em Caulins - ADÃO BENVINDO DA LUZ, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/082 - Recuperação do Gálio Existente no Licor de Bayer de Poços de Cladas por Flotação Iônica: Estudo dos Coletores - ANA MARGARIDA MALHEIRO SANSÃO, LAURINDO DE SALLES LEAL
- BT/PMI/083 - Contribuição ao Conhecimento de Argilas de Cuba - GUILLERMO RUPERTO MARTÍN CORTÉS, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/084 - Determinação da Rugosidade da Superfície de Descontinuidades Rochoasas - JOSÉ MARGARIDA DA SILVA, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/085 - Serragens de Granitos para Fins Ornamentais - ANTONIO STELLIN JR
- BT/PMI/086 - Evolução Magmática e Modelo Metalogenético dos Granitos Mineralizados da Região de Pitinga, Amazônas, Brasil - SARA LAIS RAHAL LENHARO, HELMUT BORN

