
Análise dos Impactos das Vibrações Geradas por Desmontes em Taludes das Minerações – Estudo de Caso da Mina de Timbopeba em Ouro Preto (MG)

Gabriel Alves da Costa Lima *

RESUMO

Este artigo relata parte de uma pesquisa realizada na Mina de Timbopeba, localizada em Ouro Preto/MG, onde a Companhia Vale do Rio Doce extrai minério de ferro. O objetivo do trabalho foi investigar os efeitos das vibrações geradas pelos desmontes de rochas realizados para produção e pré-corte na estabilidade do talude final da mina que possui cerca de 380 metros de altura. Foram realizadas medidas dos níveis de vibrações em pontos fixos do talude, mas considerando-se diferentes distâncias dos desmontes. A pesquisa revelou que os níveis de vibrações medidos não alcançam nem 10% do mínimo necessário para causar fraturamento nas porções sãs do talude. Todavia, no que toca aos efeitos das vibrações sobre os blocos semi-soltos dispostos na superfície, eles requerem estudos complementares, pois não ficaram claros. A grande heterogeneidade da área é apontada como uma das causas para a não obtenção de um modelo satisfatório para a lei de atenuação das vibrações e, portanto, não fornecem resultados confiáveis.

PALAVRAS-CHAVE: vibrações, talude, desmontes, explosivos.

INTRODUÇÃO

A mina de Timbopeba localiza-se no município de Ouro Preto/MG, quadrante SE do Quadrilátero Ferrífero, distante cerca de 130 km da cidade de Belo Horizonte (Figura 1).

As reservas iniciais incluíram cerca de 234 milhões de minério hematítico e 386 milhões de itabiritos friáveis, com produção em torno de 8 milhões de toneladas de minério hematítico. Esta mina encontra-se em produção desde 1983 e apresenta um talude final com cerca de 380 metros de altura e inclinação de 55 graus, mas dada a continuidade das operações de lavra, sua altura final poderá chegar a 500 metros. A Figura 2 mostra o contexto das operações de lavra juntamente com os pontos escolhidos para a realização

das medidas de vibrações da partícula. No ponto 1 foram monitorados os desmontes de produção e pré-corte, ao passo que no ponto 2 apenas os desmontes de pré-corte.

A geologia da região é basicamente representada pelas rochas dos Grupos Caraça e Itabira, pertencentes à seqüência metasedimentar do Supergrupo Minas (Barbosa, 1969, apud Principais Depósitos Mineraiis do Brasil, 1986)). Rochas básicas metamorfizadas ocorrem em diques cortando toda a seqüência. A Figura 3 mostra um perfil geológico e topográfico da área.

O talude em estudo encontra-se nas rochas do Grupo mencionado, sendo representadas pelos quartzitos bem estratificados de coloração creme da Formação Moeda e pelos filitos crenulados de coloração cinza

* Engenheiro de Minas e Mestre em Engenharia Mineral (UFOP), Doutorando em Geociências (UNICAMP) g30lima@bol.com.br; gabriel@ige.unicamp.br



Figura 1 – Localização da Mina de Timbopeba num contexto regional e nacional.



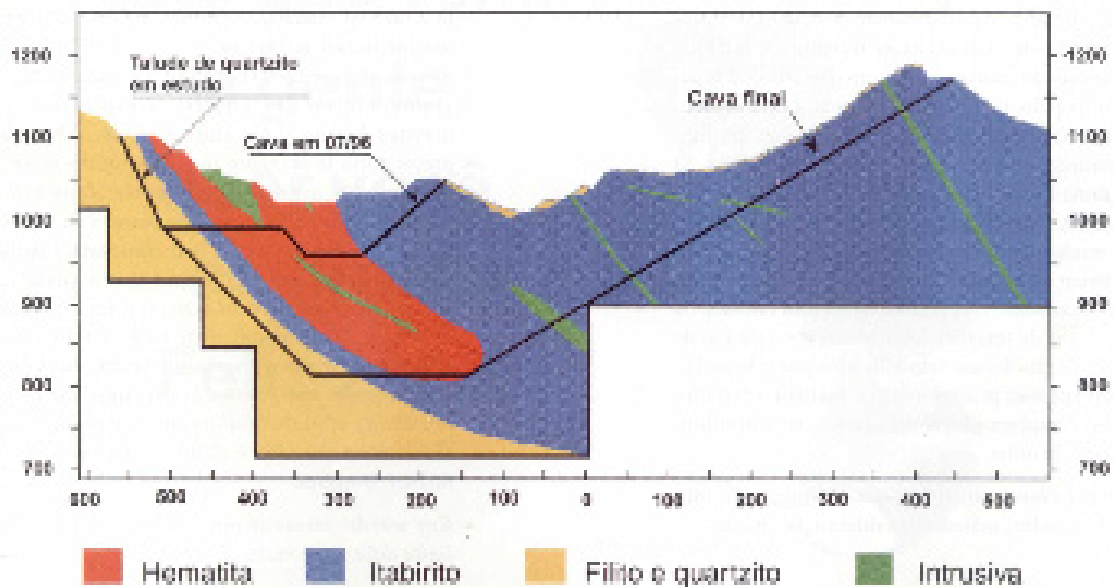
Figura 2 – Vista geral das operações de produção na Mina de Timbopeba e seu talude final.

prateada pertencentes à Formação Batatal. Os minerais-minérios encontram-se no Grupo Itabira pelas rochas da Formação Cauê, principalmente hematita, itabiritos, itabiritos anfíbolíticos e itabiritos anfíbolítico-carbonáticos. O minério de ferro desta mina é constituído de hematitas (até 63% de Fe) e itabiritos silicosos.

Os taludes das minerações são projetados a partir de considerações técnicas e econômicas, constituindo-se numa das principais variáveis

a ser incluída no planejamento das cavas finais das minas. Sua estabilidade pode ser afetada pela geometria e propriedades geomecânicas das rochas, vibrações, dentre outros.

A metodologia empregada baseou-se na medição dos níveis de vibrações gerados pelos desmontes em três pontos fixos por meio de geofones e posterior processamento dos sinais afim de determinar a frequência, deslocamento e velocidade de vibração da partícula. Nos pontos de medi-



Fonte (GARAS, CVRD, 1999).

Figura 3 – Perfil Geológico da Mina de Timbopeba.

ção, esses geofones fixados através de uma massa de gesso de forma que estes não apresentassem nenhuma movimentação. A seguir, buscou-se correlacionar os níveis de vibrações no talude registrados nos pontos de monitoramento com as características do plano de fogo.

Dado o grande número de variáveis envolvidas e a heterogeneidade das rochas hospedeiras dos depósitos minerais e rochas circunvizinhas torna-se difícil fazer previsões teóricas sobre a geração e o efeito das vibrações sobre os taludes ou edificações. Portanto, realizam-se estudos empíricos para obter dados que possibilitem a realização de previsões, como foi feito neste trabalho.

1. VIBRAÇÕES GERADAS POR DESMONTES

A detonação de cargas explosivas como as utilizadas nas atividades operacionais de mineração gera ondas de choque que podem induzir tensões com magnitude de até 10 bilhões de Pa (N/m²) no maciço rochoso. Estes valores de tensões são suficientes para pulverizar o material rochoso do perímetro da parede cilíndrica dos furos. Se a tensão aplicada a um material rochoso (s) em função da detonação da carga explosiva superar a sua tensão de ruptura (s_r), ocorrerá fraturamento e fragmentação. Em caso contrário, a rocha será apenas deformada em função de suas características elásticas.

Nos desmontes realizados nas atividades de lavra visa-se a liberação de energia pela detonação de carga explosiva, de modo a propiciar um determinado grau de fragmentação que seja satisfatório por toda a área de influência do furo (afastamento x espaçamento). Entretanto, nem sempre este objetivo é alcançado, ou seja, pode ser que uma porção da energia liberada não realize o trabalho de fragmentação da rocha, se perdendo pelo maciço rochoso e podendo ocasionar problemas de vibrações. Portanto, vibrações são geradas quando uma parte ou toda a energia liberada na reação química de decomposição dos explosivos desenvolve tensões no maciço insuficientes para superar as suas resistências de ruptura, mas suficientes para causar deformações.

As ondas de choque perdem energia ao se propagar através de um meio material como o maciço rochoso. Deste modo, as tensões que são induzidas no meio material sofrem atenuação na medida em que as frentes de ondas se afastam da fonte (furos carregados), até atingir o valor mínimo da tensão de ruptura do material, quando o processo de fraturamento cessa-se. O alcance do processo de fraturamento deve coincidir com as dimensões do afastamento e espaçamento dos furos; além destas, a rocha deixa de ser fragmentada e passa a ser apenas deformada, podendo ocasionar os problemas de vibrações.

A Figura 4 mostra o modelo de geração de ondas adotado por Crosby (1998). A detonação de uma carga de explosivos de geometria cilíndrica pode gerar ondas internas e superficiais.

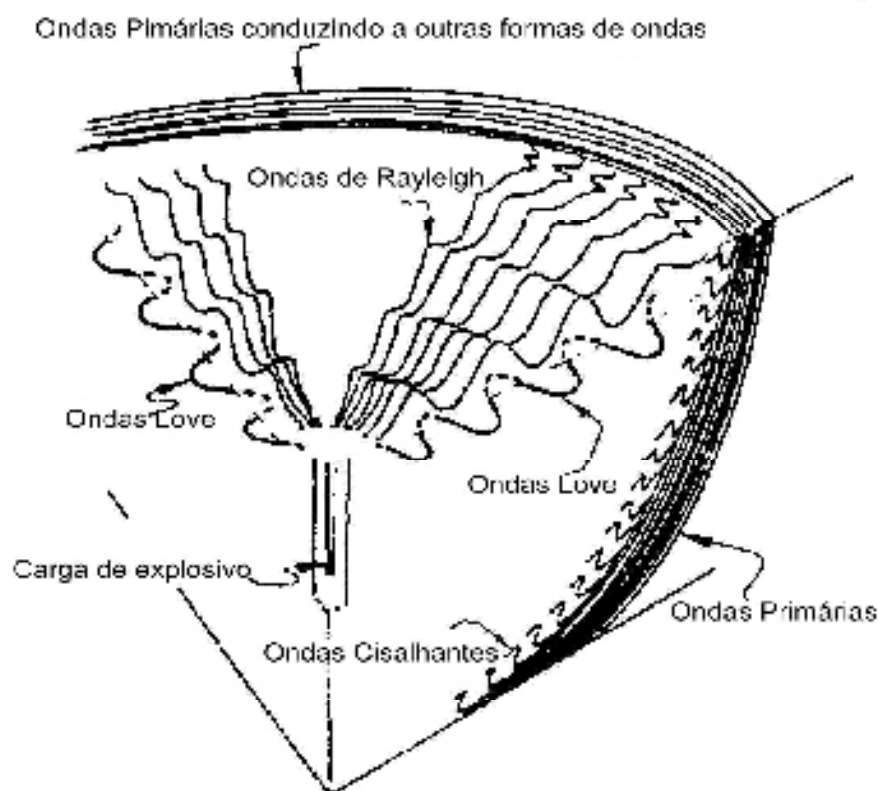


Figura 4 – Geração de ondas sísmicas pela detonação de uma carga de explosivos de forma cilíndri-

As ondas internas são as que se propagam em grandes profundidades e se compõem de: (1) ondas longitudinais, que aplicam esforços de compressão e/ou tração na rocha, (2) ondas cisalhantes, que aplicam tensões transversais na rocha. As ondas superficiais são aquelas que se propagam em pequenas profundidades, mas atingindo maiores distâncias - são representadas pelas ondas Love e Rayleigh. Geralmente, as ondas superficiais são as principais responsáveis pelos danos às estruturas superficiais e taludes das minerações.

A geração das ondas juntamente com o impacto das vibrações na estabilidade dos taludes deve ser estudado para cada situação particular. O nível de vibrações ideal para uma mina depende tanto da estabilidade do talude e demais estruturas afetadas, como do impacto econômico, devido às variações de custos operacionais. Por um lado, altos níveis de vibrações indicam que o plano de fogo está ineficiente (qualidade de explosivos e acessórios, malha, forma de carregamento e escorva etc.) e podem ocasionar danos. De outro, baixos níveis de vibrações, significam aumento dos custos de desmonte (perfuração, redução da carga por espera, explosivos menos energéticos, mais mão-de-obra) e/ou operação.

2. REGISTRO DAS VIBRAÇÕES NO TALUDE E DISCUSSÕES

A velocidade da partícula vem sendo utilizada para monitorar os efeitos das vibrações nos taludes das minerações como no trabalho de Calder e Bauer (1971). Neste trabalho, esta variável foi selecionada para medir os níveis de vibrações ocasionados pelos desmontes de produção e pré-corte da mina de Timbopeba.

Foram monitorados dois pontos na superfície do talude (ver Figura 2), os quais foram escolhidos em função da proximidade entre o sismógrafo e desmonte, levando-se em conta critérios de segurança para o equipamento e o pesquisador. O ponto 1 encontra-se numa das extremidades do ta-

lude onde a litologia dominante é composta por hematita, itabirito e quartzito. Já o ponto 2 encontra-se numa região onde a litologia é quartzito e que se encontra próxima das zonas do talude mais críticas em termos de segurança.

Primeiramente, foram observados os planos de fogo previamente adotados para ambos os desmontes, cujos valores médios dos principais parâmetros encontram-se na Tabelas 1. Observa-se na tabelas I diferenças significativas entre os dois desmontes: (1) os desmontes de pré-corte possuem uma carga por retardo de cerca de 44% daquela dos desmontes de produção, (2) não há subperfuração nem são utilizados iniciadores (boosters) de forma que a iniciação ocorre através do cordel detonante, (3) os desmontes de pré-corte não utilizam retardos de superfície, (4) nos desmontes de pré-corte utilizou-se uma carga por espera cerca de 2,5 vezes menor que a dos de produção.

As Tabelas 2 e 3 apresentam os valores obtidos por Lima (2000) nas medições em termos de deslocamento, velocidade e frequência de vibração da partícula. Os valores dos PVP (pico de velocidade da partícula) para os desmontes de pré-corte (46,7 mm/s) foram superiores aos do desmonte de produção (13,1 mm/s), enquanto que as frequências medidas estiveram na faixa de 20 hertz. O maior nível de vibrações gerado pelos desmontes para pré-corte pode ser devido ao maior confinamento da carga explosiva e maior proximidade ao talude – estes se encontravam a uma distância cerca de três vezes menor que os desmontes para produção (ver a distância nas Tabelas 2 e 3) – e uso de emulsão que é mais energética que o granulado de ANFO (mistura à base de óleo diesel e nitrato de amônio) e palha de arroz. Outras razões podem ser a possibilidade de erros de medida, enganos na etapa de carregamento, falha dos retardos, heterogeneidade da rocha, dentre outras. Os baixos valores encontrados para as acelerações significam a aplicação de pequenos esforços sobre os blocos de rochas semi-soltos que se encontram dispostos sobre a face do talude.

Tabela 1 – Parâmetros do plano de fogo adotado nas operações da Mina de Timbopeba.

| Parâmetros | Tipo de desmonte | |
|---------------------------|--|--------------------------------------|
| | Produção | Pré-corte |
| Tipo de material | Hematita e tabirito | Quartzito |
| Tipo de explosivo | Nitrato de amônio, óleo diesel e palha de arroz | Emulsão |
| Diâmetro de perfuração | 250,8 mm | 88,9 mm |
| Afastamento | 5,5 - 6,0 m | 2,0 m |
| Espacamento | 9,0 - 11,0 m | 4,0 m |
| Subperfuração | 1,0 - 1,5 m | - |
| Tampão | 5,5 - 7,0 m | 1,8 - 2,0 m |
| Altura do banco | 12 - 15 m | 5,5 - 6,0 m |
| Profundidade do furo | 13 - 17 m | 5,5 - 7,0 m |
| Carga de fundo e coluna | Só utilizadas quando há presença de água ou lentes de material muito duro. | Só utiliza emulsão em todos os furos |
| Retardos de superfície | 25,0 - 100,0 ms | 25,0 - 100,0 ms |
| Retardos de subsuperfície | 100,0 - 300,0 ms | - |
| Carga por retardo | 302,0 kg (valor médio) | 134,0 kg (valor médio) |
| Forma de iniciação | ANFO: boosters; Emulsão: cordel detonante. | Cordel detonante |
| Ligação entre furos | Cordel detonante NP-10 | Cordel detonante NP-10 |
| Tipo de malha | Estagiada | Linha de pré-corte |

Fonte: Lima (2000)

Tabela 2 – Dados referentes a monitoramentos de desmontes de pré-corte.

| Carga kg | Dist m | VT (mm/s) | FT (Hz) | AT (g) | DT (mm) | VV (mm/s) | FV (Hz) | AV (g) | DV (mm) | VL (mm/s) | FL (Hz) | AL (g) | DL (mm) | PVP (mm/s) |
|-------------|-----------|--------------|------------|-----------|------------|--------------|------------|-----------|------------|--------------|------------|-----------|------------|---------------|
| 75 | 88 | 22,7 | 43 | 0,915 | 0,07 | 18,5 | 18 | 0,835 | 2,64 | 18,8 | 43 | 0,88 | 0,674 | 25,4 |
| 75 | 275 | 1,05 | 27 | 0,02 | 0,007 | 1,13 | 24 | 0,035 | 0,009 | 1,21 | 27 | 0,03 | 0,008 | 1,42 |
| 120 | 544 | 0,889 | 34 | 0,027 | 0,005 | 1,02 | 21 | 0,04 | 0,006 | 1,02 | 26 | 0,03 | 0,064 | 1,47 |
| 362 | 418 | 0,762 | 23 | 0,027 | 0,051 | 0,635 | 20 | 0,027 | 0,01 | 0,762 | 18 | 0,03 | 0,007 | 0,898 |
| 100 | 105 | 37,5 | 24 | 0,954 | 0,228 | 46,2 | 21 | 1,23 | 0,311 | 36,8 | 32 | 1,1 | 0,22 | 46,7 |
| 100 | 95 | 21,6 | 20 | 0,358 | 0,152 | 26,7 | 23 | 0,371 | 0,214 | 11,3 | 21 | 0,23 | 0,104 | 27,2 |
| 110 | 200 | 4,57 | 5,4 | 0,053 | 0,133 | 6,98 | 9,7 | 0,053 | 0,121 | 4,32 | 7,1 | 0,08 | 0,973 | 8,24 |

Fonte: Lima (2000)

Onde: PVP (mm/s) – é o pico de velocidade da partícula.

Carga (kg) – é a massa de explosivos detonada por retardo

Dist.(m) – é a distância entre o ponto de monitoramento (sismógrafo) e a frente de desmonte.

DT, DV, DL (mm) – referem-se aos deslocamento transversais, verticais e longitudinais da partícula, respectivamente.

VT, VV, VL (mm/s) – referem-se às velocidades transversais, verticais e longitudinais de vibração da partícula, respectivamente.

AT, AV, AL (mm/s²) – referem-se às acelerações transversais, verticais e longitudinais de vibração da partícula, respectivamente.

FT, FV, FT (Hz) – referem-se às freqüências transversais, verticais e longitudinais de vibração da partícula, respectivamente.

Tabela 3 – Dados referentes aos monitoramentos dos desmontes de produção.

| Carga (kg) | Dist (m) | VT (mm/d) | FT (Hz) | AT (g) | DT (mm) | VV (mm/d) | FV (Hz) | AV (g) | DV (mm) | VL (mm/d) | FL (Hz) | AL (g) | DL (mm) | PVP (mm/d) |
|------------|----------|-----------|---------|--------|---------|-----------|---------|--------|---------|-----------|---------|--------|---------|------------|
| 325 | 126 | 9,91 | 26 | 0,331 | .0573 | 6,98 | 64 | .239 | 0017 | 9,78 | 26 | 0,278 | 0,049 | 13,1 |
| 350 | 204 | 3,19 | 27 | 0,078 | 0,018 | 3,56 | 22 | 0,076 | 0019 | 2,68 | 19 | 0,0812 | 0,0178 | 3,89 |
| 150 | 279 | 1,05 | 27 | 0,02 | 0,007 | 1,33 | 24 | 0,035 | 0009 | 1,21 | 27 | 0,0315 | 0,0078 | 1,42 |
| 389 | 112 | 4,27 | 27 | 0,104 | 0,028 | 3,59 | 32 | 0,068 | 0017 | 5,24 | 30 | 0,103 | 0,0403 | 6 |
| 155 | 120 | 1,52 | 18 | 0,04 | 0,012 | 1,52 | 22 | 0,04 | 0015 | 14 | 23 | 0,0398 | 0,0175 | 2,29 |
| 225 | 250 | 5,46 | 13 | 0,066 | 0,08 | 3,56 | 9,8 | 0,053 | 0059 | 4,06 | 9 | 0,053 | 0,0577 | 5,88 |
| 325 | 118 | 11,7 | 18 | 0,199 | 0,159 | 5,59 | 12 | 0,093 | 0817 | 14 | 20 | 0,159 | 0,0904 | 18,6 |
| 400 | 109 | 0,762 | 28 | 0,027 | 0,006 | 0,635 | 19 | 0,265 | 0 01 | 0,254 | >100 | 0,0265 | 0,0005 | 0,813 |
| 387 | 130 | 0,381 | 57 | 0,027 | 0,005 | 0,635 | 16 | 0,027 | 0008 | 0,635 | 18 | 0,0265 | 0,0067 | 0,823 |
| 120 | 544 | 0,889 | 34 | 1,02 | 0,018 | 1,36 | 21 | 1,02 | 0006 | 13 | 26 | 0,0026 | 0,0069 | 1,47 |
| 358 | 508 | 0,762 | 7,6 | 0,027 | 0,018 | 1,27 | 4 | 0,027 | 0044 | 14 | 6 | 0,0265 | 0,0316 | 1,45 |
| 358 | 442 | 2,67 | 8,3 | 0,027 | 0,055 | 4,57 | 7,3 | 0,04 | 0094 | 3,05 | 7,5 | 0,0265 | 0,0742 | 4,77 |
| 166 | 418 | 0,381 | 47 | 0,027 | 0,002 | 0,508 | 13 | 0,027 | 0006 | 0,381 | 39 | 0,0265 | 0,0035 | 0,622 |
| 288 | 215 | 5,33 | 8,5 | 0,53 | 0,06 | 5,84 | 6,9 | 0,053 | 0093 | 5,46 | 12 | 0,0663 | 0,07 | 6,65 |
| 650 | 215 | 4,57 | 5,4 | 0,053 | 0,013 | 6,98 | 9,7 | 0,053 | 0121 | 4,32 | 7,1 | 0,0795 | 0,0973 | 8,24 |
| 318 | 230 | 1,78 | 6,5 | 0,027 | 0,047 | 2,41 | 4,8 | 0,027 | 0097 | 2,29 | 5,5 | 0,0265 | 0,0724 | 3,07 |
| 365 | 210 | 5,33 | 8,5 | 0,053 | 0,06 | 5,84 | 6,9 | 0,053 | 0093 | 5,46 | 12 | 0,0663 | 0,07 | 6,65 |

Fonte: Lima (2000)

Obs.: O significado das siglas desta tabela é o mesmo da tabela 2.

Tabela 4 – Correlação entre velocidade de partícula e possíveis danos nos taludes.

| Velocidade de partícula (cm/s) | Danos previsíveis |
|--------------------------------|--|
| < 25 | Semi perigo em rocha sã. |
| 25 – 60 | Podem ocorrer fraturas por tração |
| 60 – 250 | Grandes fraturas por tração e gretas radiais |
| > 250 | Fraturamento total do maciço. |

Fonte: Calder e Bauer (1971)

Em estudos realizados por Calder e Bauer (1971) que encontram-se reproduzidos na tabela IV, verifica-se a possibilidade de correlacionar os efeitos da velocidade da partícula com possíveis danos nos taludes de mineração.

As principais propriedades geomecânicas do talude de quartzito da mina de Timbopeba são: módulo de elasticidade ($E=71,572$ GPa), resistência à tração ($RT=8,2$ MPa), velocidade de propagação das ondas longitudinais ($V_L=6.338,3$ m/s). Em função destes parâmetros, foi possível calcular a velocidade de partícula mínima para causar ruptura da matriz da rocha de acordo com Scherpenisse et al. (1999):

$$VCP \geq \frac{RT \times V_L}{E} \quad (1)$$

$$VCP \geq \frac{8,2MPa \times 6.338,3m/s}{71,572GPa} \therefore VCP \geq 726 \text{ mm/s.}$$

De acordo com o resultado da equação 1, os valores de velocidade de partícula medidos na Mina de Timbopeba não são suficientes para causar ruptura das porções sãs do talude, pois o maior valor registrado (46,7 mm/s) foi apenas 6,4% do valor mínimo para causar rupturas. Por outro lado, o valor de 726 mm/s se refere à velocidade mínima da partícula capaz de fragmentar a matriz de rocha sã, mas não a velocidade mínima para deslocar blocos semi-soltos ou com baixa coesão dispostos na superfície do talude. Portanto, os efeitos das vibrações medidas (ainda que baixas) não são claros na estabilidade de blocos predispostos na face do talude.

Os valores de velocidade de partícula a serem adotados como critérios para prevenir danos nos taludes devem ser estimados a partir da sua geometria e propriedades geomecânicas: altura, módulo de elasticidade, ângulo de inclinação, resistência à tração e compressão, rugosidade, presença de água, fraturamento superficial etc., e devem ser estimados de forma independente para cada domínio geomecânico de uma mina. Nesse sentido, adotar apenas um valor de velocidade máxima de partícula pode significar ser conservador para alguns domínios geomecânicos mais estáveis e imprudentes naqueles mais fragilizados.

3. LEI DE ATENUAÇÃO DAS VIBRAÇÕES

A lei de atenuação das vibrações consiste numa expressão matemática que permite estimar o valor da velocidade da partícula (PVP) em função da carga detonada por retardos e da distância do desmonte. A expressão matemática para estudar a lei de atenuação segue Berta (1994), Jimeno et al. (1995) e Crosby (1998):

$$V = K \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-m} \quad 2)$$

onde V é a velocidade da partícula (milímetros por segundo), Q é a carga por espera (kg), D é a distância (metros) entre o sismógrafo e a carga explosiva, K e m são constantes. A equação 2 representa uma regressão entre V e

$$\left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right),$$

onde as constantes K e m são parâmetros da regressão e dependem das características das rochas em estudo (diáclases, fraturas, densidade, módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson, presença de fluidos etc.). Portanto, estes valores são característicos de cada área em estudo. O número de medições necessário para determinar a lei de atenuação dos terrenos depende das características geológico-estruturais da área. Materiais homogêneos apresentam baixos índices de dispersão e a lei pode ser determinada utilizando-se um número reduzido de pontos. Entretanto, situações de materiais mais anisotrópicos e formações geológicas heterogêneas requerem um maior número de medidas de forma a diluir a influência dos valores discrepantes e obter uma reta de regressão com coeficiente de ajuste de no mínimo 85%. A Figura 5 mostra a lei de atenuação das vibrações construída a partir dos dados empíricos oriundos da Mina de Timbopeba.

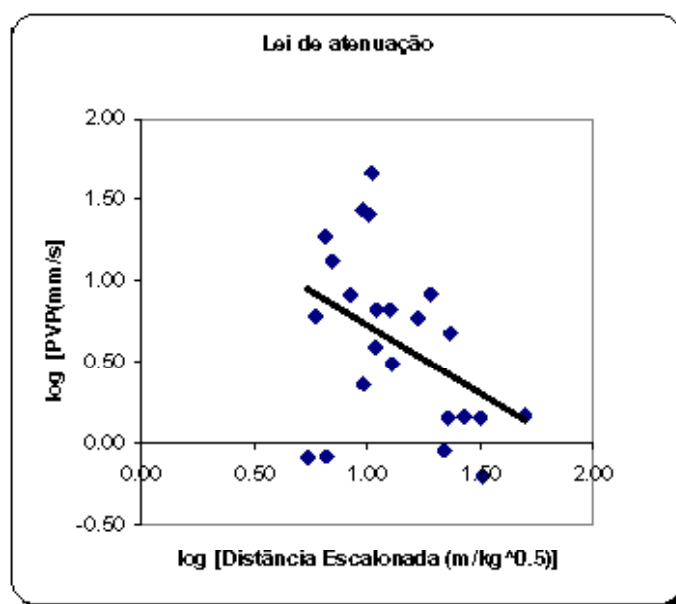


Figura 5 – Regressão da lei de atenuação das vibrações.

Algumas justificativas para a baixa correlação ($R^2=0.2019$) da nuvem de pontos inclui, dentre outros:

- grande distância entre o desmorte e o ponto de monitoramento. Como mostram as tabelas II e III, a menor distância foi 88 m e a maior 544 metros.
- presença de diferentes litologias no meio transmissor como hematita, itabirito, lentes de solo etc., que contribuem para aumentar o contraste e facilitar a reflexão, refração e superposição das ondas. Embora as diferentes litologias afetem a propagação das ondas, e portanto, os níveis de vibrações, não é claro o seu efeito combinado nos níveis de vibrações registrados.
- erros de medida tanto de operação como instrumentação, além da possibilidade de erros na fase de processamento.
- realização de desmortes diferentes dos projetados.

CONCLUSÕES

Este artigo relatou parte de uma pesquisa realizada na Mina de Timbopeba visando a investigar os efeitos das vibrações geradas pelos desmortes na estabilidade do talude. Concluiu-se que o valor máximo registrado para a velocidade de partícula atingiu apenas 6,4% da velocidade mínima para causar ruptura da matriz do quartzito (principal rocha que compõe o talude), e não são suficientes para causar novos fraturamentos nas porções sãs, mas não ficou claro o efeito destes níveis de vibrações sobre os fragmentos semi-soltos presentes na superfície do talude.

Embora os critérios internacionais sejam adotados pelas empresas em projetos dos taludes finais, verificou-se que eles servem apenas como uma sugestão inicial quando não se dispõe de meios para estudar o talude particular. Por exemplo, pelos critérios de Calder e Bauer (1971), somente velocidade de partícula acima de 250 mm/s é suficiente para causar fraturamento do maciço, ao passo que na Mina de Timbopeba este valor é de 726 mm/s. Portanto, a utilização irrestrita destes critérios pode levar à adoção de uma política operacional que em alguns casos pode ser conservadora ou inseguros noutras

situações, não permitindo contribuir para otimizar as operações.

A lei de atenuação das vibrações do terreno é um método útil para estimar a velocidade de partícula em função da distância e carga detonada, sendo utilizada como critério de segurança por pesquisadores como Crosby (1998), Berta (1994) e Jimeno (1995), mas nem sempre é possível obtê-la. A figura 3 mostrou que a lei obtida para a mina de Timbopeba apresenta um coeficiente de correlação (R^2) de apenas 0,2019, enquanto para um nível de confiança aceitável este indicador deveria ser no mínimo 0,85. Portanto, os resultados da lei de atenuação não são confiáveis e devem ser realizadas pesquisas complementares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTA, G. Blasting-Induced Vibration in Tunnelings. Proceedings of the Tunneling and Underground space Technology, v.9, n.02., p.175-187, 1994.

CALDER, P. N., BAUER, A. The Influence and Evaluation of Blasting on Stability. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON STABILITY IN OPEN PIT MINING, 1, 1971., Vancouver, B. C., Canadá. Proceedings... Vancouver, 1971. p. 83-94.

CROSBY, W. A. International Blasting, Drilling and Explosives Technology Course. Ouro Preto, Brasil: MREL (Mining and Research Engineering Limited), 1998. Vol. 01 e 02

JIMENO, J. et al. Manual de Perfuración y Voladura de Rocas. Madrid: Instituto Geominero de España, 1995. 545p.

LIMA, G. A. C. Análise das Vibrações Geradas por Desmontes de Rochas nos Taludes e Edificações das Minerações. 2000. 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

PRINCIPAIS depósitos minerais do Brasil. Brasília: DNPM/CVRD, 1986. V.2 p.103-110.

SCHERPENISSE, C. R.; ADAMSON, W. R.; DÍAZ, J. C. Monitoreo y consideraciones generales de modelamiento de vibraciones para la evaluación y optimización de las tornaduras de desarrollo horizontal. In: SIMPOSIUM DE INGENIERIA DE MINAS, 10, 1999. Departamento de Ingeniería en Minas, Universidad de Santiago de Chile. Proceedings... Santiago do Chile, 1999. p. 61-83.

Impact of Vibrations Due to Rock Blastings on Mine's Slopes – a Case Study of Timbopeba Mine – Ouro Preto – MG

ABSTRACT

The present paper reports part of a research that took place at Timbopeba Mine. This mining produces iron, is located in Ouro Preto/MG and operated by Companhia Vale do Rio Doce. The objective of this work was to investigate the effects of rock blasting vibrations on the final mine slope, which has around 380 meters height. Several measurements were made at fixed point on the slope's surface considering different distances from the rock blasting of producing and development bench. One result of this research shows that the vibration level generated by rock blasting reached merely 10% of the minimum peak particle velocity to fracture those intact portions of the mine slope. On the other hand, the effect of the vibration's level is not clear on the fractured rock fragments present on the slope's surface and claims for complementary researches. The site's great heterogeneity may be regarded as one reason for the unsatisfactory attenuation law of vibrations obtained.

KEY-WORDS: vibrations, mine's slope, rock blasting, explosives.