

OTIMIZAÇÃO DA MALHA DE PERFURAÇÃO EM UMA PEDREIRA NO SUL DO PARÁ

Raquel Cristina Ribeiro de Moraes¹
Leandro de Vilhena Costa²

Resumo: Os agregados minerais para a construção civil são consumidos mundialmente em larga escala, já que estes recursos minerais são facilmente encontrados na natureza com abundância. No Brasil, a brita ou rocha britada possui consideráveis reservas em todo o território nacional. Grande parte das indústrias de agregados estão localizadas próximas a centros urbanos, o que facilita o atendimento a demanda do mercado interno. O trabalho foi realizado em uma pedreira localizada próximo a cidade de Parauapebas, no Estado do Pará, que produz britas para construção civil. A mineradora possui um grande gargalo em sua produção de Brita. O material proveniente da mina (ROM) através do desmonte de rochas alimenta a britagem, porém a quantidade de maticos (blocos grandes), interrompe o funcionamento do britador diversas vezes ocasionando um aumento do custo operacional. Diante esse problema, é necessário a otimização do plano de fogo com intuito de diminuir os problemas nas subsequentes, principalmente a britagem.

405

Palavras Chaves: Análise de Custos, plano de fogo, Perfuração e Desmonte.

Abstract: Mineral aggregates for civil construction are consumed globally on a large scale, as these mineral resources are easily found in nature and in abundance. In Brazil, crushed stone or crushed rock has considerable reserves throughout the national territory, because of this the aggregate industries are located close to urban centers, in order to meet the demand of the domestic market. The work was carried out at the Mo Mining Company located near the city of Parauapebas, in the state of Pará, Brazil, which manufactures crushing machines for civil construction. The miner has a large bottleneck in its production of Brita, as far as the ROM that feeds the crushing because the quantity of boulders from the rock crushing, makes the crushing stage stop several times by the packing of materials and maintenance of the crushers, which Generates a higher cost in the mining company. With this there is a need to optimize the blast plan so that the subsequent stage of crushing will reduce its problems.

Keywords: Cost Analysis, Rom, Drilling and blasting.

¹ Engenheiro de minas graduado pela Faculdade FINOM.

² Professor do Curso de Engenharia de Minas da Faculdade do Noroeste de Minas – Finom/ Faculdade Tecsoma – Paracatu-MG e Doutor em Engenharia Mineral – UFOP- MG. Email: minas.leandro@gmail.com

Recebido em 18/02/2020
Aprovado em 10/03/2020

1. INTRODUÇÃO

A mineração é considerada como a segunda atividade industrial mais antiga da humanidade e tem sido importante desde antiguidade quando o homem se interessou pelos materiais geológicos observando qualidades estéticas ou procurando propriedades físico-mecânicas, a fim de melhorar as atividades desenvolvidas ao longo dos anos (HARTMAN; MUTMANKY, 2002).

A mineração a céu aberto permite maior flexibilidade e facilidade na produção, pois permite a extração até 100% do minério existente no corte (GIRODO, 2005 APUD FERREIRA, 2013). A grande maioria das exportações mineiras, em todo mundo, são realizadas por métodos de lavra a céu aberto. E, as minas variam de acordo com o tamanho, forma, orientação e profundidade. Dessa forma, o corpo mineral é geralmente minerado de cima para baixo, por bancadas (CURI, 2014).

As operações mineiras estão cada vez mais desafiadoras e competitivas, pois visam o máximo da extração dos bens minerais durante a vida útil da mina com baixo custo de produção. Por isso é necessário que seja escolhido o método de lavra ideal, assim como as etapas seguintes do planejamento (perfuração, desmonte, carregamento, transporte e beneficiamento).

Este trabalho tem por objetivo realizar uma otimização da malha de perfuração da empresa estudada, para que se tenha uma excelente fragmentação, a fim de diminuir os custos e aumentar sua produção de agregados para a construção civil. A princípio para determinar a malha ideal nós utilizamos a variável razão de carga, pois é um parâmetro primordial na realização do plano de fogo por determinar a quantidade de explosivo por metro linear de furo detonado.

A maioria das operações de mineração, a rocha é submetida a vários processos para se tornar um produto comercial (KANCHIBOTLA, 2003). Ao projetar uma detonação, a geometria é um fator muito importante (forma e tamanho das cargas e volume atribuído a elas, posição e extensão das superfícies livres, posição das cargas em relação a esse volume), mas também a quantidade e tipo de explosivo e a seqüência de tempo desempenham um papel importante. Tudo deve ser estabelecido tendo em vista o efeito desejado e contendo, tanto quanto possível, os efeitos colaterais (MANCINI & CARDU, 2001).

O artigo tem como objetivo determinar a malha de perfuração obter uma melhor fragmentação do gnaiss e diminuir os custos com explosivo, beneficiamento e manutenção.

Os objetivos específicos são: calcular os custos com o desmonte secundário; diminuir a quantidade de maticos e analisar a perfuração e sub-furação para evitar o aparecimento de repé.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O Município de Parauapebas está localizado na região sudeste do estado do Pará, a aproximadamente 700 km da capital do estado do Belém, e possui limites de fronteiras ao norte com a cidade de Marabá; ao sul com, Canaã dos Carajás e Água Azul do Norte; a leste com Curionópolis e a oeste de São Felix do Xingu (Figura 1).

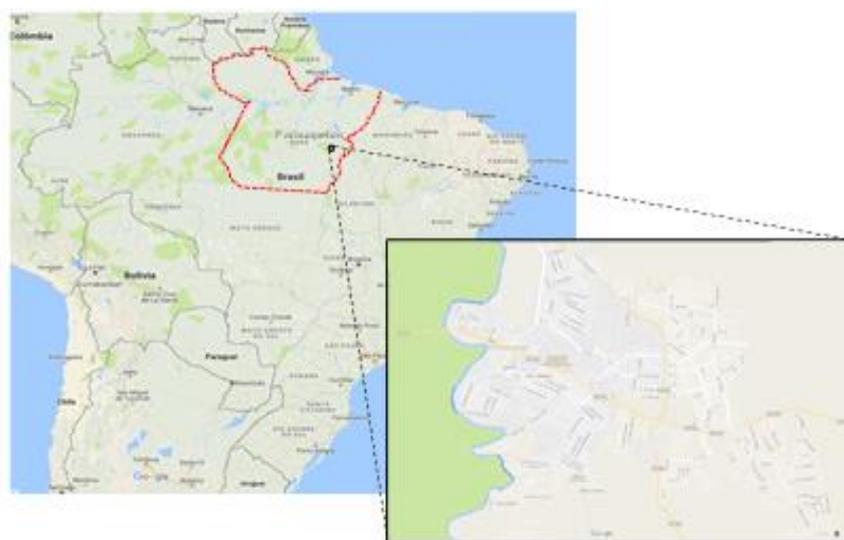


Figura 1- Mapa do estado do Pará com a localização da cidade de Parauapebas. Fonte: IBGE/ Google Earth. 2019

Parauapebas é um dos municípios com maiores horizontes na região Amazônica, possui diversos potenciais econômicos, como as jazidas minerais de Carajás, florestas, rios, serra, solo fértil e clima agradável. A cidade tem aeroporto para aeronave de grande porte, ferrovia ligando o município com o Porto de Itaquí, no Maranhão, e boas rodovias em várias direções, tornando-a totalmente integrada ao Brasil inteiro e ao exterior.

2.2 Empresa

A pedreira está localizada na área rural da cidade de Parauapebas na vila de Palmares II que fica a uma distância de 25 Km da cidade de Parauapebas. Sua atividade é a exploração de granito para produção de brita que é destinada a fabricação de concreto, lastros ferroviários e construção civil. A instalação do empreendimento, no porte projetado, é um fator preponderante de aceleração do desenvolvimento econômico regional levando, em consequência, à melhoria da infraestrutura local, geração de empregos e impostos, crescimento do comércio local e da própria economia regional.

O empreendimento mineiro possui área total de 49,96 Ha, sendo este requerido ao DNPM pelo processo nº 850892/2007 no qual o bem mineral a ser lavrado é o gnaissse tendo como produto final a brita para a construção civil. Esta área é limitada pelas coordenadas de amarração latitude (-05°56'06"390) longitude (-49°51'51"793).

2.1.3. Clima

A região amazônica apresenta clima equatorial com médias térmicas anuais de 24° C a 27° C. Essa variação de temperatura ocorre devido a composição climática da região quente e úmida que possibilita um regime regular de chuvas durante o ano inteiro. O regime pluviométrico da região chega em média a 1500mm a 2000 mm ao ano. Dessa forma, é possível evidenciar que período chuvoso ocorre de novembro a março enquanto que o verão amazônico acontece no intervalo dos meses de junho a outubro (AZIZ AB'SÁBER, 2003).

2.1.4. Geologia

2.2.1. Geologia Regional

A província mineral de Carajás está localizada na porção leste do Craton Amazônico, estabilizada tectonicamente no período arqueano. Na região identificam-se rochas proterozóicas e arqueanas abrigadas nos terrenos: Granito-gnáissico de alto grau, granito-greenstone, e sequencias Vulcano-sedimentares supracustrais de baixo grau (OLIVEIRA, 2002).

O granito-gnáissico de alto grau é representado pelas rochas do complexo Xingu e Suíte Plaquê. O primeiro está relacionado as rochas que estão presentes praticamente em todo o Craton Amazônico que por sua vez é formado por gnaisses bandados/foliados de composição tonalítica e grandiorítica, além de anfibolitos e magmatitos (SILVA, 1974 APUD OLIVEIRA, 2002).

O segundo relaciona-se ao grupo de granitoides que afloram na direção geral E-W, no qual ocorrem de forma exposta e concordante com associação das rochas complexo Xingu (Araújo, 1988 apud Oliveira,2002). O Terreno granito-greenstone corresponde as rochas de idade arqueana, que é evidenciada na região sul da Serra dos Carajás e pôr fim a sequência Vulcano sedimentar de baixo grau que corresponde a rochas vulcânicas e sedimentares distribuídas no interior de estruturas limitadas por lineamentos maiores a qual fazem parte de estruturas transcorrentes associada ao supergrupo Itacaiunas (OLIVEIRA, 2002).

2.2.2. Geologia local

O gnaiss estrela ocorre na porção NE da folha Serra de Carajás a leste do rio Parauapebas e principalmente a sul da rodovia PA-275. Este apresenta composição essencialmente granítica com granulações, anisotropia estrutural e índices de coloração e intensidades diferenciadas (CPRM,1991).

Esta unidade foi correlacionada aos granitos androgênicos do proterozóico inferior e médio. Esse corpo se apresenta gnaissificado e foliado em toda sua extensão, sugerindo que a formação deste granito ocorreu em um evento anterior, uma vez que este complexo apresenta granitoides bastante deformados e gnaissificado que se diferenciam das características da rocha encaixante no qual possivelmente teriam se deformado durante ciclo Transamazônico ou evento anterior (DALL`AGNOL, 1986 APUD CUNHA, 2002).

2.3. Lavra

O método de lavra era em bancadas esse método forma de camadas horizontais próximas a superfície. As etapas são feitas simultaneamente em duas frentes seguindo a sequência, de marcação, perfuração, desmonte, carregamento e seu transporte ate a etapa subsequente. Este sequenciamento das etapas possibilita uma flexibilização da lavra, e promove uma maior mobilidade dos equipamentos nas frentes de extração, reduzindo o tempo de ciclo em suas atividades. O ritmo de cada frente na mineradora é medido pela quantidade de equipamentos disponíveis para sua utilização, sendo o engenheiro responsável pela distribuição desses equipamentos. Por hora a produtividade dos equipamentos de transporte nas duas frentes sempre limitadas pela granulometria da matéria desmontada. Sendo a fragmentação um fator preponderante para o tamanho do ciclo de transporte dos caminhões. O transporte do material é feito de forma por caminhões rodoviários e *off roads* de 3 e 4 eixos, com velocidade máxima de 40km/h, com carga máxima de 40 t, a uma distância média de transporte (DMT) 1.8km determinada pelo responsável pelo planejamento da mina. Na figura 2 é possível visualizar a operação da mina.



Figura 3 - Operação da mina. Fonte: Arquivo Pessoal, 2019.

Figura 2 - Vista frontal das bancadas da Pedreira. Fonte: Arquivo Pessoal, 2019.

As operações de lavra são realizadas com mão de obra própria e terceirizada, contabilizando um total de 70 funcionários dentro de um turno de nove horas com intervalo de uma hora para almoço. A altura das bancadas varia de 14 m (Figura 3), os acessos possuem 5 m de largura com inclinação até 15%.

Para a realização desta monografia, foi necessário um estudo de novas propostas para a elaboração do plano de fogo, com isso foi realizado um levantamento na literatura, artigos, e na coleta de dados realizados na empresa, aonde se busca uma otimização do desmonte de rocha, a fim de evitar custos com o desmonte secundário e na etapa de beneficiamento, gerando assim uma fragmentação adequada às exigências de seus clientes.

A perfuração é realizada em bancadas de 14 m de altura, sendo que o ângulo de inclinação do furo é aproximadamente 15° graus e o bit utilizado é de 3 polegadas. As perfuratrizes utilizadas na mineração são pneumáticas-percussivas modelo PW 5000, no qual fazem uso da técnica do martelo de superfície (*tophammer*) que se caracteriza pela percussão, no qual a energia de impacto é transmitida da perfuratriz para a rocha por meio dos botões de metal duro (bits) (Figura 4 a, b).



Figura 4 - a) Perfuratriz pneumática percussiva; b) Bits de perfuração. Fonte: Arquivo pessoal, 2019.

No entanto, no decorrer do processo de perfuração podem ocorrer desvios na furação por diversos fatores, tais como: presença de fraturas, zonas de cisalhamento e diferentes estratos. Sendo assim, esses desvios possibilitam a geração de problemas durante a execução

do desmonte, pois podem provocar elevada vibração no terreno e ultra lançamentos de fragmentos de rocha. Na figura 5 mostra a bancada sendo perfurada.



Figura 5 - Bancada sendo perfurada. Fonte: Arquivo Pessoal, 2019.

O desmonte é realizado após a perfuração usando dados e parâmetros como altura da bancada, afastamento, espaçamento, carga de corpo de fundo, altura do tampão, diâmetro dos furos, entre outras variáveis que são coletados das planilhas e dos dados de campo. Estes servem como informação para elaboração do plano de fogo. Devido à alta dureza do material (gnaisse) e do nível de fraturas. O desmonte é feito em bancadas com a utilização dos explosivos ANFO e emulsão encartuchado. Estes explosivos são utilizados na pedreira pois liberam energia em grandes velocidades ajudando na fragmentação do maciço rochoso.

O processo de desmonte é realizado por uma empresa terceirizada Strondo a qual é responsável por realizar o transporte dos explosivos do paiol para a frente de lavra, assim como os acessórios de detonação (cordéis, brineis, espoletas e retardo, etc.) (Figura 6). Todos os explosivos e acessórios de detonação não consumidos, retornam para o paiol utilizando os mesmos procedimentos de segurança.

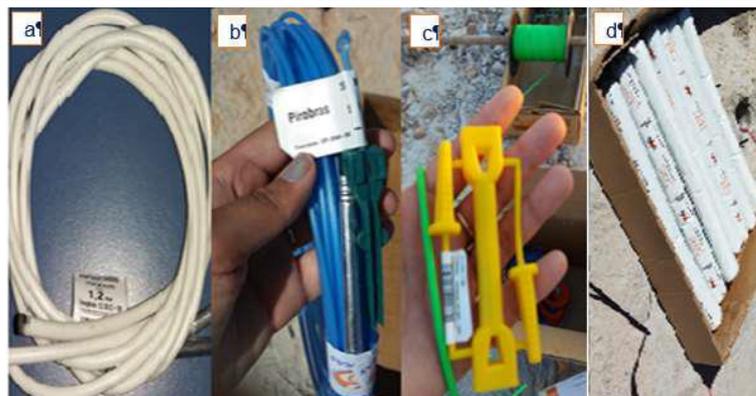


Figura 6 - Material utilizado no desmante (a- espoleta; b- brinel; c- retardo e cordel; d- emulsão. Fonte. Arquivo Pessoal, 2019.

Na Mineração são utilizadas duas malhas de perfuração, 1,80 x 3,60 m e 2 x 3,60 m. Nas tabelas 2 e 3 são destacadas as seguintes malhas usadas no desmante da Mineradora de brita.

Tabela 2 - Características do plano de fogo malham 1,80 x3,60

CARACTERÍSTICAS DO MACIÇO	
Rocha:	Granito
Densidade:	2,75 g/cm ³
Grau de fraturamento:	Bastante fragmentado
Material produzido:	Brita
CONDIÇÕES VARIÁVEIS	
Malha:	Estagiada
Malha de fogo:	1,80 x3,60
Diâmetro do furo:	3 polegadas
Altura da bancada:	10 a 14 m
Profundidade média do furo:	14.8 m
Inclinação dos furos:	15°
Subfuração:	0,8 m
Tampão:	1,0 m
Tipo de Explosivo:	Anfo e Emulsão
Razão de Carregamento Atual	510 g/t

Fonte: Os autores

Tabela 3 - Características do plano de fogo malham 2,0 x 3,60

CARACTERÍSTICAS DO MACIÇO	
Rocha:	Granito
Densidade:	2,75 g/cm ³
Grau de fraturamento:	Bastante fragmentado
Material produzido:	Brita
CONDIÇÕES VARIÁVEIS	
Malha:	Estagiada
Malha de fogo:	2,0 x3,60

Diâmetro do furo:	3 polegadas
Altura da bancada:	10 a 14 m
Profundidade média do furo:	14,8 m
Inclinação dos furos:	15°
Subfuração:	0,8 m
Tampão:	1,0 m
Tipo de Explosivo:	Anfo e Emulsão
Razão de Carregamento Atual	510 g/t

Fonte: Os autores

As duas malhas seguem as mesmas definições, o engenheiro determina qual a malha a ser utilizada de acordo com a geometria da jazida, esta por sua vez e bastante fragmentada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Mineração estudada os planos de fogo do desmonte de rocha não seguem um autor específico. Com isso levantou a proposta de estudar três autores diferentes e seus cálculos para otimizar a malha de perfuração na intenção de diminuir a quantidade de blocos grandes gerados nos desmonte. Foram utilizadas planilhas do excel no desenvolvimento dos cálculos.

Foram analisados os seguintes autores John Floyd (2012), Scott et al (1996), Konya (1995). Na figura a seguir mostra a quantidade de matacos (blocos grandes) provenientes do desmonte de rocha da Mineradora.



Figura 7 - Matacos provenientes do desmonte de rocha da mineração.
Fonte. Arquivo pessoal, 2019.

3.1 Caso 1

No primeiro caso será analisado a metodologia proposta por Scott et al (1996). O afastamento (B) podemos calcular de várias maneiras, dependendo do autor, o diâmetro do furo

há uma extrema relação de dependência com o afastamento Scott et al (1996) sugere a utilização da seguinte equação (1):

$$B = 19,7d^{0,79} \quad (1)$$

Onde:

B= afastamento
d= diâmetro do furo

$$B = 19,7 \cdot 0,076^{0,79}$$

$$B = 2,58 \text{ m}$$

O espaçamento é distância entre os furos de uma linha. Scott et al (1996), fixa essa constante entre 1,2 e 1,8: equação 2.

$$S = Q_s \cdot B \quad (2)$$

$S = 1,2 \times 2,58$	$S = 1,8 \times 2,58$
$S = 3,09 \text{ m}$	$S = 4,64 \text{ m}$

Onde:

S = espaçamento (m);

Q_s = coeficiente de proporção entre espaçamento e afastamento, variando entre 1 e 1,8, dependendo do autor;

B = afastamento (m).

Os cálculos do autor Scott et al (1996), definiu a seguinte malha de perfuração:

$$B = 2,58 \text{ m}$$

$$S = 3,09 \text{ e } 4,64 \text{ m}$$

O autor não leva em consideração a densidade do explosivo e da rocha.

Tabela 4 - Características do plano de fogo de acordo com Scott et al (1996).

CARACTERÍSTICAS DO MACIÇO	
Rocha:	Granito
Densidade:	2,75 g/cm ³
Grau de fraturamento:	bastante fragmentado
Material produzido:	Brita
CONDIÇÕES VARIÁVEIS	
Malha:	Estagiada
Malha de fogo:	2,58 x 3,0 2,58x4,64
Diâmetro do furo:	3''
Altura da bancada:	14 m
Profundidade média do furo:	14.8 m
Inclinação dos furos:	15°

Subfuração:	0,5 m
Tampão:	1,92 m
Tipo de Explosivo:	ANFO e Emulsão
Razão de Carregamento Atual	510 g/t

Fonte: Os autores

3.2 Caso 2

Segundo Konya (1995) a equação para cálculo do afastamento e espaçamento são as seguintes:

$$B = 0,012 (2SGe / SGr + 1,5) de \quad S = 1,4 * B$$

$$B = 0,012 (2 * (1,15 / 2,75 + 1,5) * 76,20 \text{ mm}) \quad S = 1,4 * 2,18$$

$$B = 2,19 \text{ m} \quad S = 3,07 \text{ m}$$

Onde:

B = afastamento (m);
 SGe = densidade do explosivo (g/cm³);
 SGr = densidade da rocha (g/cm³);
 de = diâmetro do explosivo;
 S = espaçamento entre os furos

Tabela 4 - Características do plano de fogo de acordo com Konya (1995)

CARACTERÍSTICAS DO MACIÇO	
Rocha:	Granito
Densidade:	2,75 g/cm ³
Grau de fraturamento:	Bastante fragmentado
Material produzido:	Brita
CONDIÇÕES VARIÁVEIS	
Malha:	Estagiada
Malha de fogo:	2,19 x 3,07
Diâmetro do furo:	3''
Altura da bancada:	14 m
Profundidade média do furo:	14.8 m
Inclinação dos furos:	15°
Subfuração:	0,5 m
Tampão:	2,20 m
Tipo de Explosivo:	ANFO e Emulsão
Razão de Carregamento Atual	510 g/t

Fonte: Os autores

Já o autor Konya (1995), a densidade da rocha e do explosivo estão diretamente relacionados com os cálculos. Definindo a seguinte malha de perfuração:

- Afastamento de 2,18 m;

- Espaçamento de 3,0m.

3.3 Caso 3

De acordo com John Floyd (2012), o cálculo do afastamento e espaçamento é feito de com a planilha do excel demonstrado no apêndice 1. E obteve o seguinte resultado: Afastamento de 2,04 m. Espaçamento de 3,16 m. John Floyd (2015) utiliza parâmetros como densidade da rocha e do explosivo na execução de seus cálculos.

Tabela 5 - Características do plano de fogo de acordo com John Floyd (2012)

CARACTERÍSTICAS DO MACIÇO	
Rocha:	Granito
Densidade:	2,75 g/cm ³
Grau de fraturamento:	Bastante fragmentado
Material produzido:	Brita
CONDIÇÕES VARIÁVEIS	
Malha:	Estagiada
Malha de fogo:	2,04 x 3,16
Diâmetro do furo:	3"
Altura da bancada:	14 m
Profundidade média do furo:	14.8 m
Inclinação dos furos:	15°
Subfuração:	0,5 m
Tampão:	2,20 m
Tipo de Explosivo:	ANFO e Emulsão
Razão de Carregamento Atual	510 g/t

Fonte: Os autores

De acordo com os cálculos dos três autores essas foram as malhas definidas pelo estudo, com a intenção de melhorar a fragmentação do gnaisse. A malha utilizada para teste na mineradora foi proposta por John Floyd (2012), as malhas em sim não apresentaram uma grande diferença entre elas, apesar de alguns autores empregarem nos cálculos a densidade da rocha e do explosivo, parâmetros essenciais na realização do estudo.

Na figura 8 está o desempenho da fragmentação com a utilização da malha 2,04 x 3,16m, definida de acordo com John Floyd (2012), considerado uma referência mundial na área de desmonte de rochas.



Figura 8 - Resultado do desmonte da malha do caso 3.
Fonte: Arquivo Pessoal, 2019.

Na figura acima observa uma melhora na qualidade do material fragmentado, se comparar com a figura (7), vamos constatar uma diminuição no tamanho dos blocos gerados. Por causa do intervalo de tempo curto somente resultados do plano de fogo do caso 3.

De acordo com Cunha (2013), um fator que interfere diretamente na estimação e nos custos do plano de fogo é a fragmentação, pela detonação, da rocha em função de sua destinação final. Para que se obtenha uma fragmentação de qualidade, com características que atendam o método de produção do agregado, o plano de fogo utilizado no desmonte primário do maciço deverá ser bem definido.

4. CONCLUSÃO

Para determinar uma malha de perfuração com a intenção de evitar o aparecimento de matacos, custos com desmonte secundário e conseqüentemente diminuir as paradas na etapa de britagem foi elaborado um estudo utilizando três autores diferentes. Através da metodologia proposta por cada autor foi possível definir as malhas para a realização do plano de fogo para cada caso específico. Feitos os cálculos e análises do desmonte pode-se observar uma melhora significativa na fragmentação do gnaíse. A proposta de utilizar os três autores teve como intuito executar um comparativo de metodologias e a execução do plano de fogo com fundamento científico. O dimensionamento do plano de fogo exige análises e ajustes de acordo com a realidade de cada mina e pode apenas a limitar a experiência prática do responsável.

REFERÊNCIAS

HARTMAN, Howard L. **SME Mining Engineering Handbook**. Littleton, Colo.: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 1992.

HARTMAN, H.L.; MUTMUNSKY, J. M. **Introductory Mining Engineering**. 2. Ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2002.p 570.

OLIVEIRA, J. K. M. **Caracterização estrutural da borda sudeste do sistema transcorrente Carajás com ênfase nas rochas granítico-gnássico**. 2002. Dissertação (Mestrado em Geologia). Centro de Geociências. Universidade Federal do Pará. Belém. 2002.

RICARDO, H. S; CATALANI, G. **Manual prático de escavação terraplanagem e escavação de rocha**. São Paulo. Brasil. Pini ltda. 2007.

PROGRAMA LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS BÁSICOS DO BRASIL. **Serra dos Carajás, folha SB.22-Z-A**: Estado do Pará; texto explicativo organizado por Orlando José Barros de Araújo, Raimundo Geraldo Nobre Maia. - Estado do Pará. Brasília: DNPM/CPRM, 1991.

AZIZ AB'SABER. **Os Domínios da Natureza no Brasil: POTENCIALIDADES PAISAGÍSTICAS**. Ateliê editorial. São Paulo. 2003.p 65.

KONYA, C. J. **Blast Design**. Montiville: International Development Corporation, 1995.

SCOTT, A. *et al.* **Open Pit Blast Design: Analysis and Optimisation**. Queensland: JKMR, 1996. 338 p.

BRITANITE: Produtos. Disponível em: www.britanite.com.br/produtos. Acesso em 25 de março de 2019, 20:54.

GERALDI, J.L.P. **O ABC das Escavações de Rocha**. Rio de Janeiro. Ed. Interciência, 2011.

GERARD, R. **Apostila de Introdução à Mecânica das Rochas**. UFJF. Minas Gerais, 2006.

BOTELHO, H.A. **Influência da operação de desmonte de rochas no carregamento de material fragmentado**. Dissertação – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Materiais e Metalúrgica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

CURI, A. **Minas a céu aberto planejamento de lavra**. Vol. Único. São Paulo: Oficina de textos. 2014.p 104.

IBRAM (Instituto Brasileiro de Mineração). **A trajetória da Mineração Brasileira**. Disponível em <http://www.ibram.org.br/>. Acesso em: 30 de novembro de 2019, 16:20.

FLOYD, J. Disponível em <http://www.blast dynamics.com/index.html/>. Acesso em: 25 de novembro de 2019, 14:00.

APÊNDICE 1

SIMULAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DO PLANO DE FOGO										
		caso 1 - scoot et al			caso 2- konya			caso 3- jonh floyd		
HB	ALTURA DO BANCO	m	CS		1,2					
A	AFASTAMENTO	m	CS2		1,8					
E	ESPAÇAMENTO	m	DADOS PRINCIPAIS			DADOS PRINCIPAIS			DADOS PRINCIPAIS	
HF	PROFUNDIDADE DO FURO	m	HB	14	m	HB	14	HB	14	
β	SUBPERFURAÇÃO	m	A	2,58	m	A	2,19	A	2,04	
CE	CARGA DE EXPLOSIVO	kg	De	0,0762	mm	De	76,2	De	76,2	
RC	RAZÃO DE CARREGAMENTO	g/t	ρ _r	2,75	g/cm ³	ρ _r	2,75	ρ _r	2,75	
MF	NÚMERO DE FUROS		ρ _e	1,15	g/cm ³	ρ _e	1,15	ρ _e	1,15	
De	DIÂMETRO DO EXPLOSIVO	mm	E1 e E2	3,09	4,64	E	3,07	E	3,16	
			T	2,47	m ²	T1 e T2	1,53	2,85	T	1,83
VF	VOLUME FURO	m ³	ÂNGULO DE INCLINAÇÃO	1,804299769		ÂNGULO DE INCLINAÇÃO	15		ÂNGULO DE INCLINAÇÃO	35
PE	PERFURAÇÃO ESPECÍFICA	m/m ³	cos(β25)	0,9995042		cos(β25)	0,96593		cos(β25)	0,819152044
BL	RAZÃO LINEAR DE CARREGAMENTO	kg/m	somatório de explosivo			55,48				
TE	TOTAL DE EXPLOSIVOS	kg	rc			13,34025				
DR	DENSIDADE DE EXPLOSIVO	g/cm ³	r							
T	TAMPÃO	m								
MP	METROS PERFURADOS	m								
HE	ALTURA DO EXPLOSIVO	m								
HCF	ALTURA DE CARGA DE FURO	m								
DR	DENSIDADE DA ROCHA	g/cm ³								
VN	VOLUME NECESSÁRIO	m ³								

Figura 9 - simulação do dimensionamento do plano de fogo