

AVALIAÇÃO DE PLUGUES DE TAMPONAMENTO EM DESMONTES DE BANCADAS À CÉU ABERTO

F. F. SITONIO¹

Universidade Federal do Rio Grande do Sul¹

Universidade Federal de Pernambuco²

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0992-6200>¹

felipe@plugplus.com.br

Submetido 17/07/2019 - Aceito 28/11/2019

DOI: 10.15628/holos.2022.8806

RESUMO

A variação dos parâmetros de tamponamento e a utilização de dispositivos auxiliares são amplamente explorados nas detonações em mineração a céu aberto. O objetivo é otimizar o confinamento do explosivo dentro dos furos, evitando ao mesmo tempo uma fragmentação ineficaz e inconvenientes ambientais. Ainda assim, pó de perfuração e materiais britados em granulometria inadequada são utilizados como tampão, com o intuito de obter economias diretas na etapa de desmonte. O propósito deste trabalho é avaliar a efetividade dos plugues de tamponamento, baseado em seu formato, material e os parâmetros do plano de fogo. Para tal, filmagens foram realizadas em diversos desmontes de rocha em pedreiras graníticas e minerações de calcário utilizando um protótipo do plugue de tamponamento,

com a finalidade de posteriormente selecionar a geometria e polímero ideal do acessório. Após definido, o produto foi aplicado em duas detonações com iniciadores não-elétricos de bancadas consecutivas, monitoradas por filmagem e sismógrafos de engenharia. Fotografias das pilhas de desmonte foram processadas no software *Split Desktop* para análise das curvas de fragmentação. O estudo indicou excelente retenção e maior atuação gasosa quando se utilizando de plugues de tamponamento. Contudo, é de extrema importância evitar a redução excessiva na altura da coluna de tampão, com a intenção de melhorar a fragmentação na área de tamponamento, pois isto deve afetar o controle de lançamento e retenção dos gases explosivos, mesmo que usando dispositivos auxiliares de tamponamento.

PALAVRAS-CHAVE: Tamponamento, desmonte de rocha, plugue.

EVALUATION OF STEMMING PLUGS APPLICATION IN OPEN PIT MINING BLASTINGS

ABSTRACT

Variation of stemming parameters and auxiliary devices are widely explored in open pit mining. The objective is to improve explosive confinement inside the hole, avoiding poor fragmentation and environmental drawbacks. Nevertheless, drill cuttings and ordinary comminuted material are widely used as stemming material, in order to achieve operational savings. The purpose of this paper is to develop and evaluate stemming plugs, based on its design, polymer quality and blast parameters. First, video capture analyzed several bench blasts with non-electrical initiation using a prototype plug, and then defined final geometry and material. Furthermore, *Split Desktop* software processed

photos of muck piles from two blast events, performed on consecutive benches with similar parameters. Seismographs measured ground vibration and air overpressure to relate the results with explosive confinement. Our report indicates excellent gas retention using stemming plugs in addition with suitable gravel, saving explosive energy and decreasing comminution costs. However, it is important to avoid excessive reduction of stemming column height, with the objective of increase rock crushing on the top level of blast holes, because it can affect fly rock control and explosive gas retention, even if using stemming plugs.

KEYWORDS: Stemming, blasting, plugs.

1 INTRODUÇÃO

O desmonte de rochas na mineração é um processo tecnológico que visa a desagregação do maciço rochoso, e formação de fragmentos de rocha em granulometria satisfatória para alimentação das operações de britagem primária.

Fragmentação, sobrepressão atmosférica e ultralanchamentos são variáveis de performance do desmonte com o uso do explosivo que podem ser melhoradas pelo confinamento do mesmo, bem como pelo tempo necessário para prevenir uma fuga precoce dos gases. Os principais parâmetros de controle de confinamento em uma detonação são a altura da coluna de tamponamento e material utilizado. Outros fatores, como o afastamento entre linhas e esquema de amarração também podem influenciar na ejeção da coluna de tampão.

Não é adequado determinar nenhuma generalização no controle da altura de tamponamento nem o material utilizado. Ela deve ser baseada no conhecimento da formação geológica local, a razão de carga utilizada e a distância de lançamento de rocha que pode ser tolerada, juntamente com o bom julgamento e experiência.

A importância do tamponamento na qualidade da fragmentação e controle de ultralanchamento, vibração e pressão atmosférica em alguns empreendimentos, é completamente negligenciada. Assim, a falta de seleção da altura de tampão ideal, tipo de material inerte utilizado e possíveis reforçadores a serem adicionados, aparentam ser um dos principais causadores de fragmentações ineficazes e onerosas. Tendo em vista que, em tamponamentos subdimensionados, parte relevante dos gases provenientes dos explosivos (produto que representa cerca de 80% no custo total de uma detonação com iniciadores não-elétricos) não permanecem o tempo suficiente no interior do maciço rochoso, torna-se evidente que o processo de melhora operacional de um desmonte passa pelo conhecimento mais detalhado destes parâmetros.

Pela necessidade de otimizar a região de tampão sem aumentar a altura da coluna do mesmo, e assim evitar a criação de blocos de granulometria incompatível com as etapas subsequentes sobretudo no topo da bancada, o estudo do desenvolvimento de reforçadores do tampão vem sendo trabalhado a algumas décadas. Os plugues de tamponamento, artefatos poliméricos criados para atuar em conjunto com os métodos usuais do tampão, foram inicialmente introduzidos na mineração no ano de 1994, por meio de estudos da Universidade de Missouri. A partir daí, plugues de vários formatos e diferentes tipos de polímeros foram desenvolvidos.

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento e avaliação de plugues de tamponamento para detonações a céu aberto, a fim de elucidar as variáveis que afetam o funcionamento deste dispositivo enquanto otimizador da coluna de tampão, e consequente controle de ejeções precoces.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Conforme citado por Dobrilovic et al (2005), o desmonte de rocha com a utilização de explosivo é considerado satisfatório quanto maior for a taxa de energia produzida na fase detonação, confinada por tempo suficiente para promover os principais mecanismos de fragmentação do maciço rochoso.

O tampão, neste caso, é uma ferramenta de detonação, constituído por material inerte inserido no furo após o explosivo, utilizado com o propósito de confinar o explosivo ou separar cargas de explosivo de uma mesma coluna (Atlas Powder Company, 1987). Em relação ao material utilizado, uma prática bastante comum é o uso do pó de perfuração como material de tamponamento, já que possui a vantagem econômica e de logística em relação ao material britado, que por sua vez provocaria melhor retenção pelo intertravamento dos grãos, devido à granulometria (Tamrock, 1984).

O desmonte de rocha por explosivos é a técnica mais aceita e praticada para a quebra de uma rocha. Durante a detonação, uma reação química ocorre, convertendo a energia química do explosivo em energia de choque e energia gasosa. Segundo Dhekne (2015), é estabelecido que aproximadamente 20% da energia é encaminhada para a quebra da rocha, já o restante se manifesta em desperdício de energia. Esta fração de energia dissipa-se, em sua maior parte, através do maciço circundante sob a forma de vibrações, e da atmosfera sob a forma de ruído e sobrepressão atmosférica. Gera poeira, podendo também ocasionar danos ao maciço remanescente e ultralançamentos. A proximidade de minerações a céu aberto em relação a urbanizações de modo geral faz necessária a mitigação destes impactos ambientais oriundos do desmonte de rocha com explosivos.

Segundo a Sociedade Internacional dos Engenheiros de Explosivos (ISEE, 2015), a sismografia no desmonte de rocha é utilizada, além com o objetivo de estabelecer conformidades com as regulamentações federais, estaduais e locais, para avaliar a detonação. A disposição e ajustamento às regras, assim como a verificação da performance do explosivo, dependem da acurácia na leitura dos níveis de vibração de terreno e sobrepressão atmosférica.

A norma NBR 9.653 (ABNT, 2015), responsável pela normatização de evento de desmonte com o uso de explosivo, estabelece a velocidade de vibração de partícula (PPV) igual a 15 mm/s como limite máximo de vibração admissível nos arredores da área de operação das pedreiras. A norma também estabelece que não devem ocorrer, de forma alguma, ultralançamentos de fragmentos e sobrepressões atmosféricas excessivas. Sendo, a partir de 2005, corrigida para levar em consideração as baixas frequências que podem provocar o fenômeno de ressonância.

Eston (1998) define sobrepressão atmosférica como toda propagação de uma onda elástica pelo ar, considerando ruído uma faixa de frequências acima de 20 Hz e abaixo de frequências ultrasônicas, de 20.000 Hz. Muito da sobrepressão atmosférica produzida pelas detonações possui uma frequência abaixo do limite audível de 20 Hz. Este efeito, tanto audível como inaudível, pode fazer vibrar uma estrutura tão impactante quanto as vibrações de terreno.

Em relação ao limite de pressão acústica admitido pela ABNT é de 134 dBL pico no ambiente externo a área de operação da mina, assim entendida como aquela sujeita a concessão, licenciamento ou área de propriedade da empresa.

Como alternativa para os métodos usuais de tamponamento, Cevizci (2013) avaliou o gesso em detrimento ao pó de perfuração, e como resultado obteve uma redução dos custos de desmonte em 7%, mantendo a mesma fragmentação. Estes resultados foram obtidos através do aumento do espaçamento e diminuição da coluna de tampão, já que o gesso gerou confinamento mais prolongado do explosivo. Apesar disto, o material mostrou-se incapaz de agir na presença de água nos furos.

Já Cancec et al. (2001) realizaram um estudo utilizando plugues de tamponamento, com o objetivo de auxiliar o aprisionamento do explosivo no interior do maciço. Apesar de gerar um custo adicional direto ao desmonte e um tempo adicional à logística de aplicação do explosivo, foi observado a redução no tempo de carregamento do material desmontado nos caminhões em 8,2%, e melhora na fragmentação de 22%.

3 METODOLOGIA

Com o intuito de analisar a efetividade do plugue isoladamente, cinco detonações em diferentes minerações a céu aberto foram efetuadas com a utilização do acessório, inicialmente desenvolvido pelo método de injeção de Polietileno de Baixa Densidade (PEBD) e completamente vazado em seu interior. Em todos os eventos, o tamponamento foi realizado em furos de 3 1/2 “, com material britado de granulometria retida em telas de 12 m. Para análise qualitativa, a ejeção da coluna de tampão foi monitorada com o auxílio de filmagens de alta definição (Figura 1), sendo os furos à esquerda das imagens carregados apenas com material britado, e à direita auxiliado com os plugues de tamponamento. Os plugues foram inseridos no furo acima de uma base de brita de cerca de 12 cm, a fim de evitar a deflagração do material e ejeção do acessório. A partir das imagens capturadas e observação in situ após as detonações, notou-se que apesar de uma retenção gasosa maior em relação aos furos carregados apenas com brita, alguns plugues apresentavam rompimento parcial ou deformação do polímero, reduzindo sua atuação no interior do furo. Desta forma, o projeto inicial dos plugues de tamponamento sofreu alterações (Figura 2). O polímero injetado foi alterado pelo Poliestireno de Alto Impacto (PSAI), que apesar de apresentar um aumento de 68% no custo de produção do plugue, previa uma maior resistência à tração e altas temperaturas. Além disto, foi adicionado à matriz de produção dos plugues um reforço na parte interior. A partir destas modificações, duas detonações foram monitoradas com o projeto final do sistema de tamponamento para verificar o aumento na eficiência do mesmo.



Figura 1: Capturas de tela das filmagens de detonações utilizadas para validar o funcionamento do plugue de tamponamento, onde os mesmos foram instalados apenas na porção direita das bancadas – a) acessório com PEBD e vazado em seu interior; b) acessório com PSAI e com reforço na parte interna.

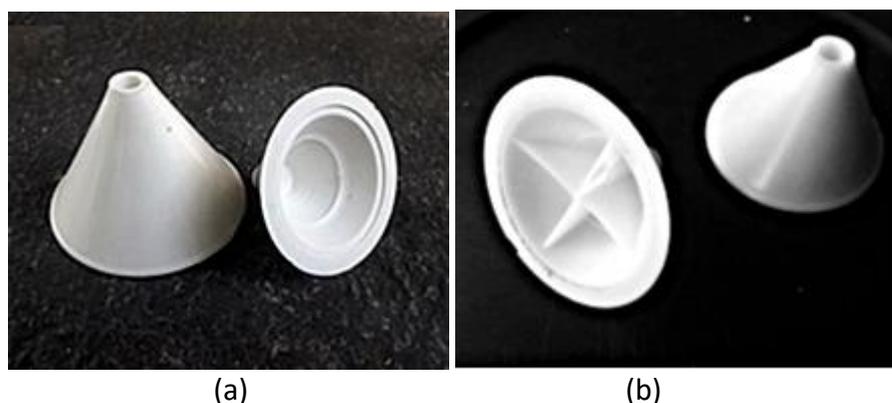


Figura 2: Evolução do projeto dos plugues de tamponamento – a) protótipo, produzido por PEBD injetado; b) plugue utilizado nas análises quantitativas posteriores, de PSAL injetado.

Posteriormente, análises quantitativas foram realizadas em duas detonações com iniciadores não-elétricos, realizadas nos dias 03/11/2015 e 18/01/2016, em bancadas consecutivas a céu aberto. A área de rocha granítica (Figura 3) pertence à Pedreira Guarany, localizada em Jaboatão dos Guararapes, Estado de Pernambuco. O material inerte utilizado em adição aos plugues de tamponamento, desta vez instalados em todos os furos, foi uma brita-19 mm. Oriunda da própria planta de britagem da mineração, permite um intertravamento ideal entre os grãos pelo seu formato e granulometria, maximizando assim o poder de retenção da coluna.



Figura 3: Vista lateral da bancada inicial, posteriormente desmontada no dia 03/11/2015.

Além de filmagens em alta definição (50 telas por segundo), um total de 48 fotografias das pilhas de minério foram realizadas, para posterior análise de distribuição granulométrica da detonação, via *Split Desktop*. Destas 48, 11 foram admitidas como representativas e então selecionadas para processamento. A planta de britagem, referência na análise dos resultados de fragmentação, é composta por um conjunto onde o minério proveniente da lavra é despejado no alimentador de dimensões 5 m x 2 m, e posteriormente segue para a britagem primária, sendo ela composta por: Um britador C140 (42" x 55") da *Metso Minerals*, onde o material britado com a abertura na posição fechada (APF) de 7" é transportado através de uma correia transportadora de 42", formando uma pilha intermediária.

Ambos os desmontes foram monitorados por um sismógrafo de engenharia modelo SSU 3000 EZ, da fabricante *Geosonic Incorporation*, para relacionar a variação dos níveis de vibrações de terreno e sobrepressão atmosférica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 PRIMEIRO DESMONTE

Quatro fotografias da pilha de minério do primeiro desmonte de rocha (Figura 4) foram processadas no *Split Desktop*. Dentre outras, todas as fotografias da área onde ocorreu ejeção excessiva (Figura 5) foram eliminadas, pelo fato da mesma ter sido causada por uma falha na temporização dos sistemas de iniciação não-elétricos, comprovada na análise das telas da filmagem. Em todas as fotografias, uma bola de basquetebol de dimensões previamente conhecidas foi colocada na pilha por questões de escala.



Figura 4: Exemplar de fotografia da pilha de minério oriunda do primeiro desmonte.



Figura 5: Captura de tela da filmagem do primeiro desmonte. A iniciação do desmonte foi realizada à esquerda do vídeo, onde pode ser verificada uma ejeção do material de tampão. Ainda assim, é possível observar uma retenção gasosa satisfatória nos demais setores do desmonte.

A Figura 6 mostra os resultados da curva de distribuição granulométrica obtida para a pilha de fragmentos. Observa-se que 90% dos fragmentos ficaram abaixo de 71 cm. 50% dos fragmentos ficaram acima e abaixo dos 20 cm. Aproximadamente 95% dos fragmentos ficaram com um comprimento compatível com o tamanho ideal dos fragmentos rochosos, ou seja, 80% da abertura máxima do britador (<1,1 m).

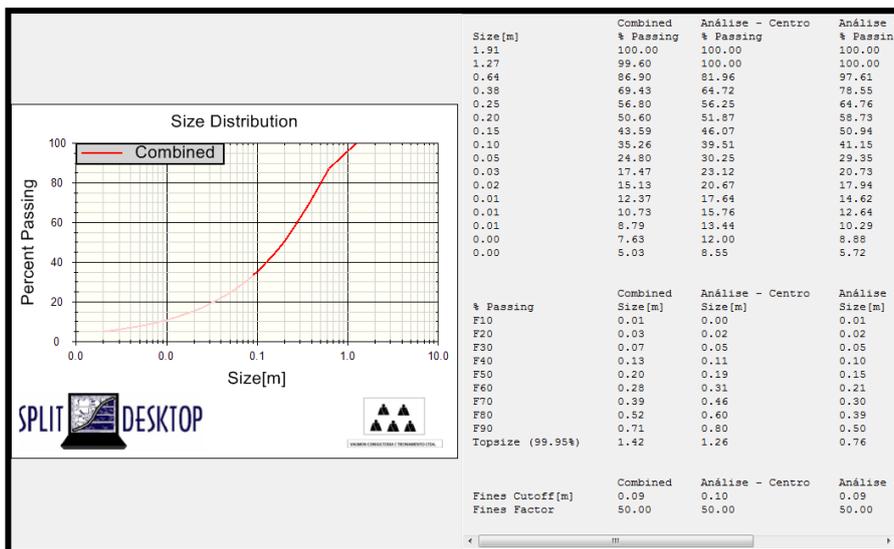


Figura 6 – Curva de distribuição granulométrica do primeiro desmonte.

4.2 SEGUNDO DESMONTE

Alguns parâmetros do plano de fogo foram modificados em comparação ao primeiro desmonte. A coluna de tampão foi reduzida sua altura em 35 centímetros, conforme Tabela 1. Esta mudança teve o objetivo de criar uma tendência de contraste entre a retenção do tampão nos dois desmontes, e notificar se os plugues ainda atuavam conforme esperado. Além disso, um número maior de furos, justificado pelo plano de produção do empreendimento mineiro, gerou a adição de duas linhas ao desmonte. A redução da altura média da bancada é fruto do acidente demográfico natural.

Foram processadas 7 fotografias da pilha obtidas no segundo desmonte. Conforme a Figura 7, observou-se que 90% dos fragmentos ficaram abaixo de 1,24 m. 50% dos fragmentos ficaram acima e abaixo dos 38 cm. Cerca de 80% dos fragmentos ficaram com um comprimento compatível com o tamanho ideal dos fragmentos rochosos, ou seja, 80% da abertura máxima do britador (<1,1 m).

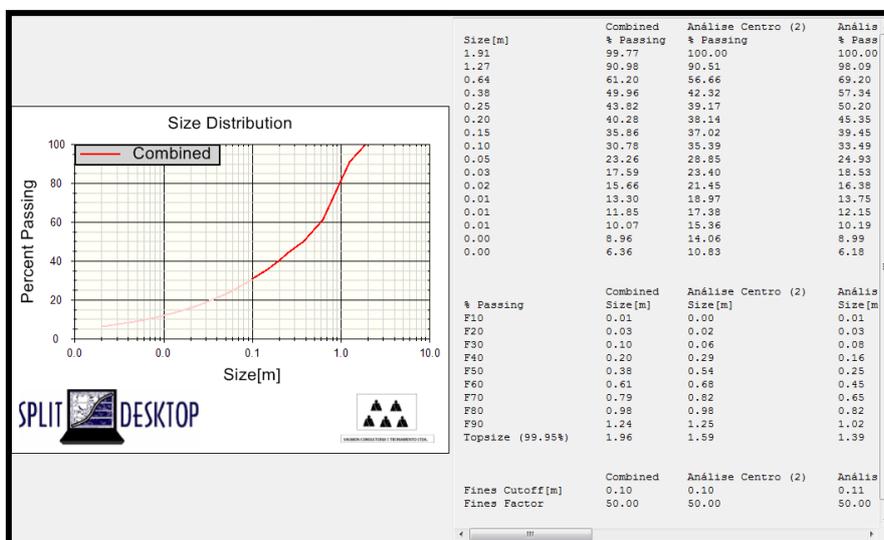


Figura 7 – Curva de distribuição granulométrica do primeiro desmonte.

4.3 ANÁLISE COMPARATIVA DOS DESMONTES DE ROCHA

Tabela 1: Resumo comparativo entre os dois desmontes

	Data do desmorte	03/11/2015	18/01/2016
Plano de Fogo	Altura do tampão (m)	2,5	2,15
	Número de furos	99	162
	Número de linhas	3	5
	Carga máxima por espera (kg)	74,75	67,9
	Altura média da bancada (m)	12,11	11,14
	Volume por furo (m ³)	99,9	91,89
	Volume total (m ³)	9890	14885
	Razão de carga (kg/m ³)	0,749	0,739
Sismografia	Distância sismógrafo-desmorte (m)	223	220
	PPV longitudinal (mm/s)	4,83	7,37
	PPV transversal (mm/s)	6,03	5,33
	PPV vertical (mm/s)	7,05	7,43
	Frequência longitudinal (Hz)	27,8	125
	Frequência transversal (Hz)	21,7	38,5
	Frequência vertical (Hz)	22,7	50
	PPV resultante (mm/s)	7,87	9,27
	Sobrepresão atmosférica pico (dB)	138	138

Por conta da maior altura da coluna de tamponamento, o primeiro desmorte apresentou uma retenção gasosa na região do tampão significativamente mais efetiva que a segunda detonação.

O aumento no número de linhas não parece ter influenciado negativamente o desmorte, uma vez que os retardos de 42 ms utilizados entre linhas garante a formação da nova face livre.

A redução da carga máxima por espera ocorreu por conta da diferença entre as alturas médias de coluna explosiva entre os dois desmontes.

Em relação aos picos de velocidade de partícula aferidos pelo sismógrafo, a variação notificada não parece ter sido afetada pela variação do tamponamento e estavam em consonância com a norma de avaliação de efeitos de detonação, a NBR 9653. Porém, o aumento significativo nas frequências captadas no ato desmorte aparenta ser reflexo de uma cominuição defasada no topo da bancada, conforme mencionado por Lynch (2006). A fuga dos gases na região de tamponamento no segundo desmorte não afetou os níveis de sobrepresão atmosférica.

Conforme citado anteriormente, as fotografias da área onde ocorreu a falha do primeiro desmorte foram eliminadas para a análise de distribuição granulométrica. Como resultado, a previsão de uma melhor curva de distribuição granulométrica para o primeiro desmorte, onde houve uma melhor atuação do explosivo, sobretudo na área de tamponamento, foi confirmada.

5 CONCLUSÃO

Pode-se afirmar, de acordo com as análises realizadas nos desmontes, que a utilização de plugues de tamponamento otimiza a retenção gasosa no interior do furo, maximizando o poder de fragmentação e reduzindo principalmente os níveis de ultralancamento, desde que o funcionamento do dispositivo seja previamente comprovado para diferentes situações de desmonte.

Entretanto, para um melhor julgamento e atuação da carga explosiva em um desmonte, a utilização da espoleta eletrônica, em detrimento às linhas silenciosas não-elétricas torna-se indispensável. Apesar da análise comparativa dos desmontes realizados na Pedreira Guarany indicar certa consonância com vários trabalhos já realizados, como Karakus et al. (2003), no que diz respeito ao aumento da fragmentação quando se obtém um tamponamento efetivo, os resultados podem ter sido afetados por erros inerentes de dispersão e falha de iniciação nos dispositivos não-elétricos.

Seguindo a linha de Langefors e Kihlstrom (1978), pode-se afirmar que a variação no número de linhas na malha de perfuração tenha causado diferentes situações no desmonte de rocha. O aumento no número de linhas, de três no primeiro desmonte para cinco no segundo desmonte, tende a proporcionar um maior engaste nas últimas linhas, criando uma predisposição a vibração e deslocamento de ar. Ainda que ambos tenham sido aferidos por sismógrafo instalado dentro da área de operação da mina, os valores obtidos se encontram dentro dos padrões requisitados pelas normas reguladoras.

Em resumo, o investimento na produção do plugue de tamponamento, que representou em média 0,79% do custo total dos desmontes realizados, resultou em uma maior produtividade nas etapas subsequentes da mina. Isto pôde ser alcançado pelo fato do mesmo maximizar o tempo de atuação do explosivo no interior do furo, aumentando a cominuição direta do material e criando microfissuras nos agregados, facilitando a operação dos equipamentos de desmonte secundário, carregamento e britagem.

6 REFERÊNCIAS

ATLAS POWDER COMPANY. Explosive and rock blasting. Dallas, Vol. 1, 1987.

ABNT. NBR 9.653. Guia para avaliação dos efeitos pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas. São Paulo, 11 p., 2015.

CANCEC, Arturo; GALLARDO, Nasslo; Gutierrez, MANUEL. The importance of the explosive confinement, 27th Annual ISEE Conference on Explosives and Blasting Technique, 2001.

CETESB. Avaliação e monitoramento das operações de desmonte de rocha com uso de explosivo na mineração: procedimento. São Paulo, 8 p., 2015.

CEVIZCI, H. A new stemming application for blasting; A case study. Parte I. REM - Revista Escola de Minas. Vol. 66, n. 4, p. 51 - 57, 2013.

DHEKNE, P. Y. Environmental impacts of rock blasting and their mitigation. International Journal of Chemical, Environmental & Biological Sciences. Vol. 3, 2015.



- DOBRILOVIC, M.; ESTER, Z.; JANKOVIC, B. Measurement in blast hole stem and influence of stemming material on blasting quality. Rudarsko-geološko-naftni zbornik. Vol. 17, p. 47 - 53, 2005.
- ESTON, S.M. Uma análise dos níveis de vibração associados a detonações. Teste – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 125 p., 1998.
- FERREIRA, G. C.; DAITX E. C.; DALLORA NETO, C. Impactos ambientais associados a desmonte de rocha com uso de explosivos. Revista Geociências – UNESP. Vol. 25, p. 467-473, 2006.
- ISEE. INTERNATIONAL SOCIETY OF EXPLOSIVES ENGINEERS'S STANDARDS COMMITTEE. ISEE field practice guidelines for blasting seismographs. Cleveland, Ohio, 2015.
- KARAKUŞ, D.; ONUR, A. H.; KONAK, G.; KÖSE, H. Application of stemming plugs and a case study in a limestone quarry. International Mining Congress and Exhibition of Turkey-IMCET, 2003.
- LANGFORS, U; KIHLLSTROM, B. Rock Blasting. Almqvist & Wiksel Forlag AB Stockholm, p. 438, 1978.
- LITTLE, T.N.; MURRAY, C.E. The development and trialling of a cement grout blast hole stemming. Rock Fragmentation by Blasting. Vol. 1, p. 331 – 341, 1996.
- LYNCH, R. A.; MALOVICHKO, D. A. Seismology and slope stability in open pit mines. International Symposium on Stability of Rock Slopes in Open Pit Mining and Civil Engineering. South Africa, 2006.
- TAMROCK. Handbook on surface drilling and blasting. Painofaktorit, Finland, p. 308, 1984.

COMO CITAR ESTE ARTIGO:

Sitonio, F. F. (2020). AVALIAÇÃO DE PLUGUES DE TAMPONAMENTO EM DESMONTES DE BANCADAS À CEU ABERTO. HOLOS, 7. <https://doi.org/10.15628/holos.2020.8806>

F.F. SITONIO

Possui graduação em Engenharia de Minas pela Universidade Federal de Pernambuco (2013), mestrado em Engenharia Mineral pela Universidade Federal de Pernambuco e doutorado em andamento na área de Engenharia Mineral pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, tendo pesquisa com ênfase em emulsões explosivas e técnicas de desmonte de rochas. Trabalha atualmente como Engenheiro Sênior de Perfuração e Desmonte na Vale, no Complexo Mineral de Carajás. Membro da ISEE (International Society of Explosive Engineers), possui 10 anos de experiência multidisciplinar em operações de mina a céu aberto (ferrosos, cobre, ouro, calcário e agregados para construção civil).
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0992-6200>
E-mail: felipe@plugplus.com.br



Editor(a) Responsável: Francinaide de Lima Silva Nascimento



Recebido: 17 de julho de 2019

Aceito: 28 de novembro de 2019

Publicado: 11 de agosto de 2020