

Avaliação Geotécnica para Posicionamento e Definição do Projeto de Perfuração de *Slot* em Realces do Tipo *Sublevel stoping*. Estudo de Caso: Mina Córrego do Sítio.

Yulder Cardenas Vilca

AngloGold Ashanti, Santa Bárbara, Brasil, YCVilca@anglogoldashanti.com.br

Leandro Caio Barbosa Costa

AngloGold Ashanti, Santa Bárbara, Brasil, LCCosta@anglogoldashanti.com.br

Sandro Sander Chaves

AngloGold Ashanti, Santa Bárbara, Brasil, SSChaves@anglogoldashanti.com.br

Michele Márcia de Souza

AngloGold Ashanti, Santa Bárbara, Brasil, michellesouza88@hotmail.com

Roberto Santos Lima

AngloGold Ashanti, Santa Bárbara, Brasil, RSLima@anglogoldashanti.com.br

Jonathan David Rezende Correa

AngloGold Ashanti, Santa Bárbara, Brasil, JDCorrea@anglogoldashanti.com.br

RESUMO: Na mina subterrânea de Córrego do Sítio, de propriedade da AngloGold Ashanti, a abertura de faces livres era um desafio constante, sendo refletido nos altos valores de *underbreak* operacionais obtidos. Diversas ações foram tomadas pela Operação Mina, Mecânica de Rochas e Planejamento de Mina para melhorar a eficiência na abertura dos *slots*, sendo uma delas a adoção de padrões de perfuração específicos para diferentes qualidades de maciço rochoso, pois sabe-se que a qualidade do maciço rochoso e a presença de descontinuidades singulares interferem no sucesso da abertura de *slots*, podendo ocasionar desvio de furos, perda de pressão dos gases de detonação e dificuldades na etapa de carregamento. Dessa forma, foi implementado na Mina Córrego do Sítio, uma nova metodologia de execução desses projetos. Atualmente, o ciclo compreende a definição do melhor posicionamento do *slot*, evitando regiões com a presença de estruturas geotécnicas críticas. Em sequência, é obtida a qualidade do maciço rochoso na região do *slot* por meio de um modelo de blocos geotécnico, para que possa ser definido o projeto de perfuração e desmonte mais adequado de acordo com as recomendações da empresa de fornecimento de explosivos. Após a realização da avaliação geotécnica do maciço na região do *slot*, em conjunto com diversas outras melhorias realizadas pelas equipes de Operação e Planejamento de Mina, foi obtida uma redução satisfatória do *underbreak* operacional tornando essa etapa um procedimento padrão na execução dos projetos de *slot*.

PALAVRAS-CHAVE: *Underbreak*, avaliação de *slot*, caracterização geotécnica, mina Córrego do Sítio

1 INTRODUÇÃO

No que diz respeito à realização de realces do

tipo *sublevel stoping* por meio de perfurações longas, a abertura de *slot* corresponde a uma das etapas mais críticas para reduzir o *underbreak*

operacional. Uma abertura de face livre inadequada pode comprometer ou dificultar a recuperação posterior do minério, tendo um impacto significativo no retorno financeiro de determinada operação. Portanto, ações multidisciplinares envolvendo as áreas de Operação, Planejamento de Mina e Mecânica de Rochas para mitigar ou reduzir o risco de insucesso na detonação do *slot* são essenciais para a sustentabilidade destes empreendimentos mineiros.

2 CONCEITOS

2.1 Slot

Na mineração subterrânea o *slot* consiste em uma abertura vertical ou inclinada com o intuito de permitir ou gerar face livre para o realce a ser executado (Hustrulid, 2001).

O ciclo operacional do método de lavra *sublevel stoping* consiste na abertura da face livre (*slot*) através de perfuração e desmonte, seguida das operações de carregamento com explosivos, detonação e limpeza. A Figura 1 apresenta um perfil esquemático típico de um *slot*.

Uma abertura bem sucedida do *slot* para a geração de face livre é fundamental para a garantia da produção no método de lavra *sublevel stoping*.

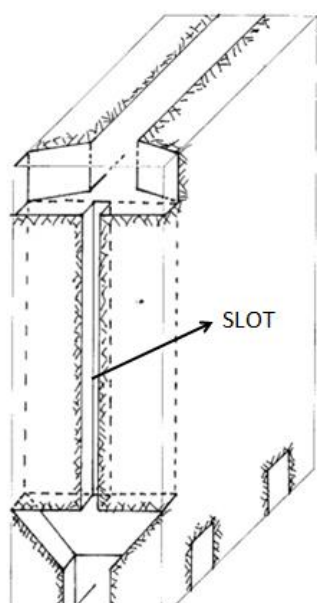


Figura 1: *Slot* com abertura vertical executada para gerar face livre para a detonação do realce.

2.2 Classificações Geomecânicas

As classificações geomecânicas têm como objetivo caracterizar maciços rochosos por meio do levantamento de um conjunto de parâmetros qualitativos, sendo a qualidade do maciço o resultado final dessas classificações.

Há diversos métodos de classificação, porém, atualmente há duas técnicas que vem sendo amplamente utilizadas (El-Naga, 2001; Morales, 2006 *in* Fiori *et al.* 2009), sendo que as mesmas foram propostas por Bieniawski (1989) e Barton *et al.* (1974).

2.2.1 Sistema RMR

Conhecida como Sistema RMR (*Rock Mass Rating*), a classificação geomecânica proposta por Bieniawski (1989) atribui pesos a cinco parâmetros considerados como os que mais contribuem para mudanças no comportamento do maciço rochoso.

Os parâmetros avaliados correspondem à resistência à compressão uniaxial da rocha intacta, RQD (*Rock Quality Designation*), influência da água, espaçamento e condição das descontinuidades.

O somatório do peso atribuído a cada um dos parâmetros citados acima constituem o Índice RMR (Hoek *et al.* 1995). Esse valor é o que define a classificação do maciço, podendo variar entre cinco classes distintas (Tabela 1).

Tabela 1: Classificação do Maciço Rochoso proposta por Bieniawski (1989).

CLASSES	PESO GLOBAL	DESCRIÇÃO
Classe I	81 - 100	Maciço rochoso muito bom
Classe II	61 - 80	Maciço rochoso bom
Classe III	41 - 60	Maciço rochoso razoável
Classe IV	21 - 40	Maciço rochoso fraco
Classe V	< 21	Maciço rochoso muito fraco

2.2.2 Sistema Q

O índice de qualidade Q proposto por Barton *et al.* (1974) leva em consideração seis fatores relevantes para caracterização e comportamento dos maciços rochosos, obtendo assim, um valor numérico através do uso da seguinte fórmula (1):

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \frac{J_r}{J_a} \frac{J_w}{SRF} \quad (1)$$

Sendo:

RQD: *Rock Quality Designation*;

J_n : Índice do número de famílias de descontinuidades;

J_r : Índice de rugosidade das descontinuidades;

J_a : Índice de alteração das paredes das descontinuidades;

J_w : Índice de influência da água subterrânea;

SRF: *Stress Reduction Factor*.

3 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso apresentado neste artigo se refere a trabalhos desenvolvidos na mina sulfetada de Córrego do Sítio – Portaria I, de propriedade da AngloGold Ashanti, localizada cerca de 20 quilômetros da cidade de Santa Bárbara (Figura 2).

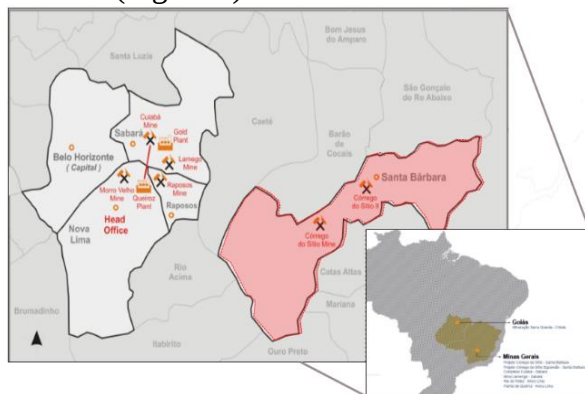


Figura 2: Localização do complexo Córrego do Sítio, destacado na cor vermelha.

O minério explotado corresponde ao ouro, que de maneira geral é encontrado em estruturas como veios estreitos dobrados, boudinados e descontínuos (Lima, 2012).

Para lavrar esse minério, é aplicado em Córrego do Sítio o método *sublevel stopping*, sendo a abertura de face livre (*slot*) uma das

etapas de lavra. A Figura 3 apresenta uma configuração típica da lavra executada na mina Córrego do Sítio.

Os *slots* podem ser divididos entre *slots* cegos e varados. Os cegos são os realizados por meio de perfurações ascendentes que não interceptam o nível superior. Os varados são as aberturas de face livre que conectam uma galeria inferior a uma galeria superior, podendo ter sido realizada uma perfuração ascendente, descendente ou ambas.

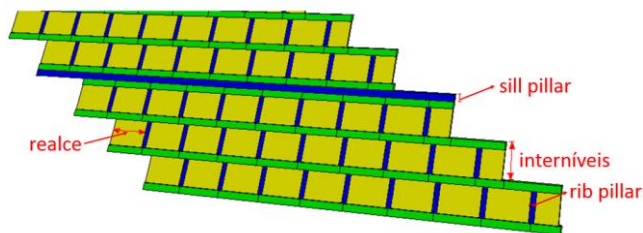


Figura 3. Configuração típica da lavra pelo método *sublevel stopping* executada na mina Córrego do Sítio. Modificado de Vieira & Barbosa, 2009

3.1 Abertura de *Slots* na Mina Córrego do Sítio

A abertura de *slots* sempre foi uma preocupação e um desafio constante na mina Córrego do Sítio. Principalmente porque nesta unidade não é permitida a entrada de pessoas em um *slot* já detonado. Desta maneira, não é possível executá-lo em várias etapas e o mesmo deve ter sucesso em uma única fase de detonação.

A regra vigente em Córrego do Sítio de não permitir a entrada de pessoas em um *slot* já detonado é considerada um avanço considerável em questões de segurança, pois este é um local crítico em que não ocorreu o abatimento de blocos de rocha potencialmente instáveis ou uma fortificação do maciço rochoso com sistemas de suporte.

Nos últimos anos também ocorreu um aumento da distância entre os subníveis, aumentando o comprimento de perfuração, assim como a adoção de uma sequência de lavra conhecida como *top down* em que não se tem acesso à galeria superior para realizar perfuração e/ou carregamento.

Tais condições apresentadas acima fizeram com que houvesse a necessidade de busca de uma excelência operacional em todas as áreas

diretamente envolvidas no sucesso da abertura dos *slots*.

4 AÇÕES

Diversas ações foram realizadas pela equipe de Planejamento Operação e Mecânica de Rochas ao longo do ano de 2015 para poder aumentar a eficiência da abertura de *slots*. Dentre as quais, podemos citar a troca dos hasteamentos do *fan drill*, perfilagem dos furos, alteração no diâmetro dos furos alargados, ajustes no tempo de retardo para permitir uma adequada liberação de face livre do pilão antes da detonação dos demais furos, entre outras. Essas medidas fogem do escopo desse trabalho. O foco desse artigo é a implantação de uma avaliação detalhada da qualidade do maciço rochoso na região em que se planeja realizar a abertura de *slot*.

Tal avaliação envolve uma classificação da qualidade do maciço rochoso pelos métodos tradicionais e caracterização das descontinuidades singulares, seguido de uma avaliação do melhor posicionamento do *slot* e do plano de perfuração a ser adotado dependendo das condições geotécnicas observadas. Os diferentes planos de perfuração a depender da qualidade do maciço rochoso foram definidos por meio de um trabalho em conjunto com a empresa que fornece os explosivos.

4.1 Metodologia para Classificação do Maciço Rochoso

A dinâmica do trabalho necessária para classificar o maciço rochoso pode ser dividida em mapeamento geológico-geotécnico e/ou descrição geotécnica de furos de sondagem, atualização do banco de dados e geração do modelo de blocos geomecânico e de estruturas singulares.

O levantamento dos parâmetros necessários para obter as classificações geomecânicas Q e RMR (conforme mostrado no item 2.2) é feito definindo os intervalos mapeados através de trechos (“janelas”) com dimensões de aproximadamente cinco metros de comprimento. Já a distância de um trecho ao

outro é definido com base na variação geológico-geomecânica observada em campo.

Além do levantamento da qualidade do maciço rochoso, também são classificadas as principais estruturas singulares, como diques, falhas, zonas de cisalhamento e venulações persistentes.

Para isso, foi desenvolvido internamente na mina de Córrego do Sítio um critério de classificação para descontinuidades singulares (RMR_J), baseado nos parâmetros de classificação das descontinuidades e de presença de água do RMR (Bieniawski, 1989).

O RMR_J pode ser representado pela seguinte equação (2):

$$\text{RMR}_J = \text{Pcd} + \text{Pw} \quad (2)$$

Sendo:

RMR_J: RMR adaptado para classificar somente as descontinuidades singulares;

Pcd: somatório dos pesos relativos à condição das descontinuidades;

Pw: peso relativo à presença de água.

Após a obtenção do RMR_J as descontinuidades singulares passam a ser divididas em faixas de qualidade de acordo com a Tabela 2, para que essa representação se torne mais visual.

Tabela 2: Classes de qualidade das descontinuidades singulares definidas pelo RMR_J.

Faixas de valores do RMR _J	Classes	Esquema de Cores
> 40	I - Muito Boa	
31 - 40	II - Boa	
20.5 - 31	III - Razoável	
7 - 20.5	IV - Ruim	
0 - 7	IV - Muito Ruim	

Através da compilação dos dados levantados em um banco de dados interno, é possível obter uma representação tridimensional da qualidade do maciço rochoso (Figura 4) e das descontinuidades singulares (Figura 5) para posterior avaliação geomecânica da qualidade do maciço próximo à abertura do *slot*.

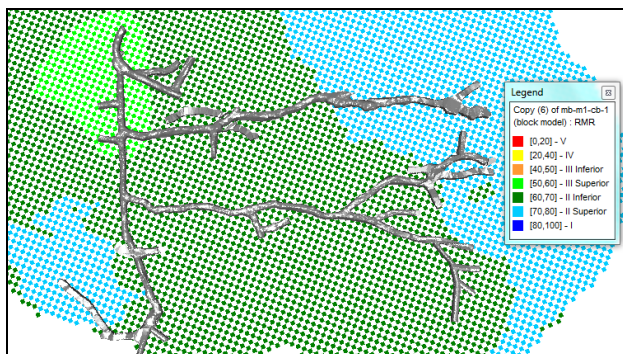


Figura 4: Modelo de blocos geomecânico.

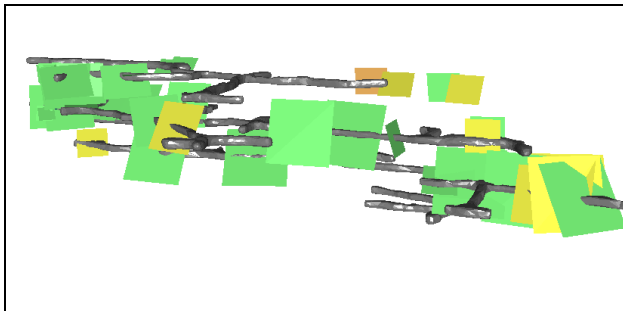


Figura 5: Modelo de estruturas singulares.

4.2 Avaliação Geomecânica para Abertura de Slot

A definição do posicionamento do *slot* e a adequação dos projetos de perfuração e desmonte de acordo com a caracterização geotécnica são de suma importância para garantir uma adequada abertura de face livre.

Sendo assim, foi implementado na mina Córrego do Sítio, uma nova metodologia de execução desses projetos. Atualmente, o ciclo compreende a definição do melhor posicionamento do *slot*, evitando regiões com a presença de estruturas geotécnicas críticas. Em sequência, é obtida a qualidade do maciço rochoso na região do *slot* por meio de um modelo de blocos geotécnico (Figura 6).

Por fim, é emitida uma nota técnica com a avaliação, contendo os valores das classificações Q e RMR, e se há a presença de descontinuidade crítica, indicando também se a mesma interfere no posicionamento do *slot*, para que posteriormente seja escolhido o projeto de *slot* a ser adotado de acordo com a qualidade do maciço rochoso.

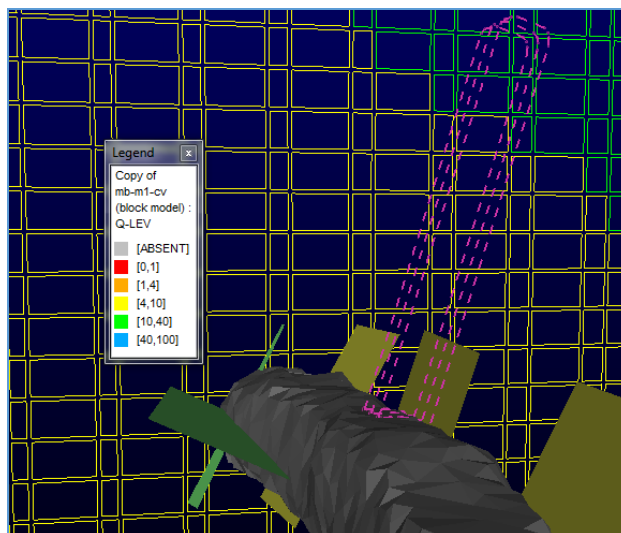


Figura 6: Exemplo de uma avaliação geomecânica para abertura de *slot* (linhas na cor rosa). Ressalta-se a presença de descontinuidades singulares e o modelo geomecânico em blocos.

4.3 Projetos de Slot Adotados

Seguem abaixo exemplos de configuração de *slot* desenvolvidos pela empresa fornecedora de explosivos para qualidades de Rocha considerada Ruim e de Rocha considerada Boa com comprimento de perfuração de até 20 metros (Figuras 7 e 8).

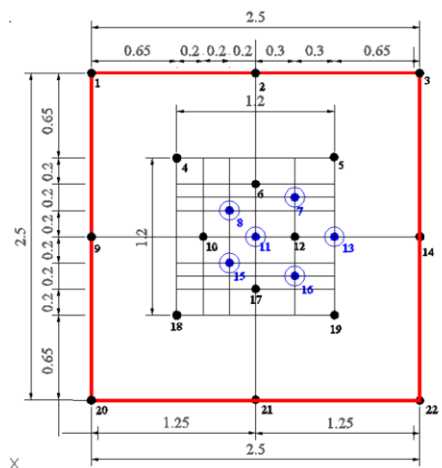


Figura 7: Padrão de perfuração para Rocha considerada Boa.

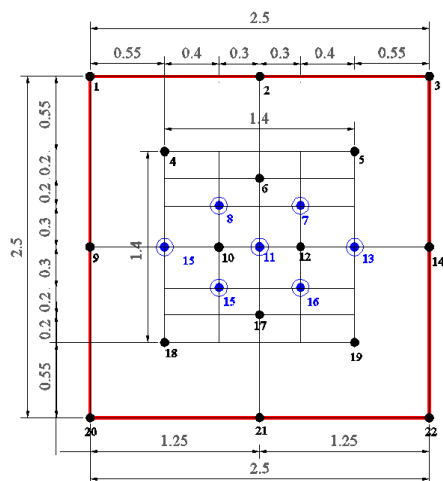


Figura 8: Padrão de perfuração para Rocha considerada Ruim.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a implantação desta análise da qualidade do maciço rochoso do local em que se pretende realizar o *slot* pela equipe de Mecânica de Rochas, aliado a diversas outras medidas adotadas pela equipe de Planejamento e Operação de Mina, foi possível reduzir o *underbreak* de valores em torno de 15% no primeiro semestre de 2015 para uma média de 10% no segundo semestre, com um acumulado anual médio de 13%, conforme apresentado na Figura 9.

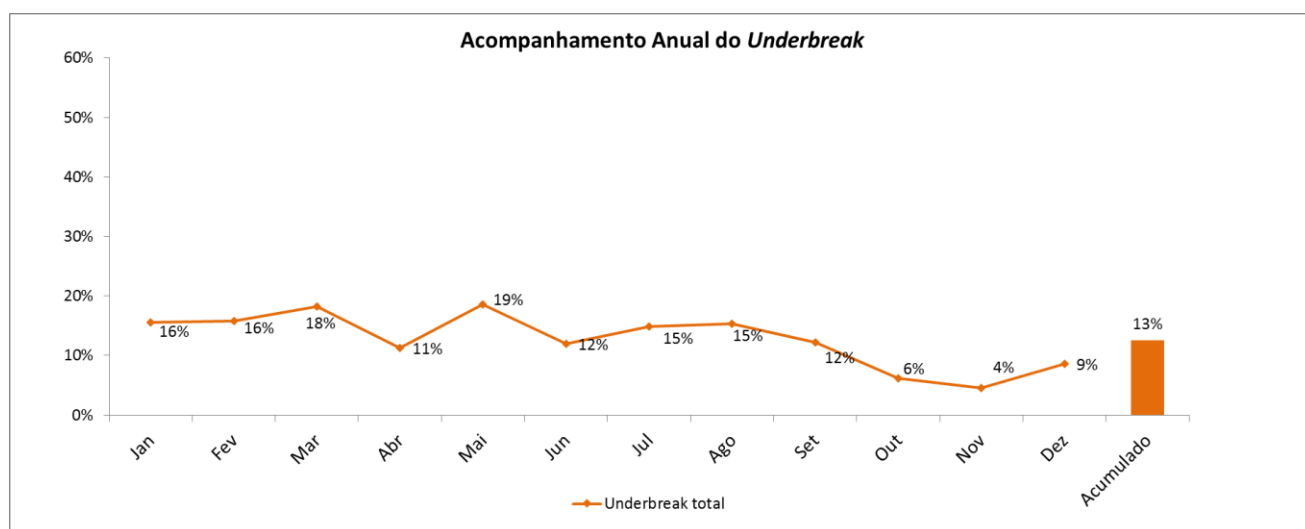


Figura 9: Histórico do *Underbreak* Total no Ano 2015.

Tais resultados indicam que um conhecimento geotécnico detalhado do maciço rochoso pode contribuir com a eficiência da detonação e, conseqüentemente, com os resultados econômicos de uma mina subterrânea. Mostra também que por meio da excelência operacional das diversas áreas envolvidas é possível quebrar o paradigma de que não era possível realizar a detonação de *slot* em uma única etapa, reduzindo, portanto, a exposição do trabalhador e dando um passo importante, para a garantia de um ambiente seguro de trabalho.

REFERÊNCIAS

- Barton, N. R. (1974). A review of the shear strength of filled discontinuities in rock. *Norwegian Geotech. Inst. Publ. No. 105*. Oslo: Norwegian Geotech. Inst.
- Bieniawski Z.T., 1989, Engineering rock mass classifications. *John Wiley & Sons*, New York, 251 pages.
- Fiori, A. e Carmignani, L. (2009)- *Fundamentos de Mecânica dos Solos e das Rochas: aplicações na estabilidade de taludes* - 2 ed. Ver. E ampl. - Curitiba: Ed. UFPR
- Hustrulid, W. A. (2001). *Underground Mining Methods*. Littleton, Colorado: SME.
- Lima, L.C. (2012). *Geologia do Depósito Lode Au-As-Sb Laranjeiras, em Metaturbiditos do Grupo Nova Lima*,

Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil,
Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-
Graduação em Geologia do Instituto de Geociências,
Universidade Federal de Minas Gerais, 323p.

Vieira, F., & Barbosa, K. (2009). *Avaliação Geotécnica das Variantes do Sublevel Stopping para o Projeto Sulfetado da Mina Córrego do Sítio. Nova Lima: Centro Técnico Operacional e Projetos (CTOP) - AngloGold Ashanti Mineração Ltda.*