

Retomada dos Trabalhos em Cavas Paralisadas e com Áreas de Ruptura.

Estudo de Caso: Cava João Burro – Mina Córrego do Sítio

Sandro Sander Chaves

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

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

Michele Márcia de Souza

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

Erivelton Rodrigues da Conceição

AngloGold Ashanti, Santa Bárbara, Brasil, ERConceicao@AngloGoldAshanti.com.br

RESUMO: Retomar os trabalhos em cavas que se encontram paralisadas devido a algum tipo de ruptura é um desafio que envolve um gerenciamento de risco multidisciplinar, que quando exequível, deve seguir uma avaliação criteriosa dos riscos, seguida de etapas de monitoramentos e inspeções constantes. Nesse contexto se insere a cava João Burro (JB), de propriedade da AngloGold Ashanti. Em agosto de 2014 foi observado o surgimento de uma ruptura na região superior do setor oeste da cava, posteriormente a ruptura evoluiu atingindo diversos bancos e consequentemente, por questões de segurança, foi necessário a paralização dos trabalhos. No início de 2015 viu-se a oportunidade de retomada das atividades e para isso foram desenvolvidos estudos buscando identificar o padrão e a geometria da ruptura para assim reconformar a região aplicando geometrias que fornecessem fatores de segurança adequados. Concomitantemente, foram realizadas novas avaliações do restante da cava para identificar locais onde fossem necessárias adequações. Para auxiliar no dimensionamento da nova geometria foram feitas caracterizações geológico-geotécnicas, assim como a compilação de trabalhos executados anteriormente. Através desses trabalhos foi possível atualizar o modelo geomecânico e gerar um modelo de blocos utilizando as metodologias Q e RMR. A partir da representação tridimensional do maciço rochoso, foi possível a realização de retro análises na região da ruptura, além de análises de estabilidade pelo método do equilíbrio-limite para a nova setorização da cava. Tendo definido os novos setores, foram realizadas diversas avaliações, em conjunto com outras disciplinas, para que a retomada da operação na cava fosse feita através de um gerenciamento adequado dos riscos. Após esses estudos foi possível a realização do retaludamento na área rompida e em seguida foi retomada a lavra. Para essa etapa, além dos controles que já estavam sendo executados, foi implementado um monitoramento através de radar da região leste. A aplicação dessa tecnologia buscou garantir um maior controle do comportamento do talude leste devido principalmente aos desmontes da lavra. Todos esses estudos e controles foram realizados buscando sempre o gerenciamento dos riscos da maneira mais adequada e alinhada com o principal valor da empresa, a Segurança. Os trabalhos executados permitiram a recuperação de grande parte do minério remanescente, contribuindo efetivamente para os resultados da empresa.

PALAVRAS-CHAVE: Retomada de cavas paralisadas, mina a céu aberto, cava João Burro.

1 INTRODUÇÃO

A recuperação de minério remanescente em cavas paralisadas ou com áreas onde ocorreu algum tipo de ruptura é um desafio que envolve um gerenciamento de riscos detalhado e multidisciplinar, em função de muitas vezes existirem incertezas quanto ao comportamento do maciço ao realizar a retomada da lavra. No caso de ser exequível essa atividade, a mesma deve seguir uma avaliação criteriosa dos riscos, seguida de etapas de monitoramento e inspeções constantes.

Neste contexto se insere a cava João Burro, de propriedade da AngloGold Ashanti, localizada próximo à cidade de Santa Bárbara, a cerca de 120 km da cidade de Belo Horizonte (Figura 1).



Figura 1: Mapa de localização do Complexo Córrego do Sítio – Portaria I, onde se encontra inserida a cava João Burro.

2 HISTÓRICO DA CAVA JOÃO BURRO

A cava João Burro deu início à etapa de lavra em 2013, a qual possuía acompanhamento da equipe de Geotecnia ao longo de toda a operação através de inspeções visuais, monitoramento topográfico de placas e mapeamentos geológico-geotécnicos. Ao longo dos trabalhos, foram observados indícios de instabilidade na região denominada de leste, porém os constantes monitoramentos mostraram que as trincas geradas não apresentavam evolução.

Em 2014 foi detectada surgência de água em locais isolados e deu-se início a um entendimento hidrogeológico da cava, consistindo em elaboração de modelo conceitual e instalação de indicadores de nível d'água, onde constatou-se não se tratar de um

aquífero livre, mas provavelmente de um aquífero suspenso, uma vez que com o avanço da lavra não se teve mais a surgência dessas águas. Em agosto do mesmo ano foi observado o surgimento de uma ruptura na região oeste da cava (Figura 2), posteriormente esta ruptura evoluiu atingindo diversos bancos e consequentemente, por questões de segurança, foi necessário a paralização dos trabalhos na cava João Burro. Logo abaixo da ruptura onde o maciço apresentava uma melhor qualidade, foi recomendado que fossem deixadas duas bermas de segurança para auxiliar no controle da ruptura. A paralização da cava acarretou em um impacto negativo na produção planejada para o ano de 2014.

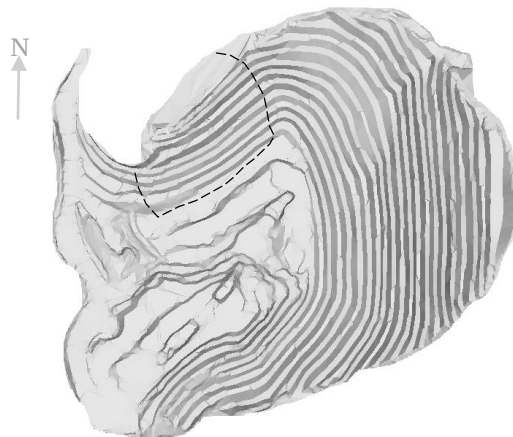


Figura 2: Vista em planta da cava João Burro e da ruptura ocorrida no talude oeste em agosto de 2014.

No início de 2015 viu-se a oportunidade de retomar as atividades na cava, para isso foram desenvolvidos novos estudos buscando identificar o padrão e a geometria da ruptura existente para assim reconformar essa região aplicando geometrias que fornecessem fatores de segurança adequados, ao mesmo tempo, foram realizadas novas avaliações do restante da cava

para identificar locais onde fossem necessárias adequações.

3 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

3.1 Contexto Geológico e Estrutural

Os litotipos presentes na cava João Burro estão inseridos na sequência metassedimentar clástica da Unidade Córrego do Sítio (que pertence ao Grupo Nova Lima, e esta ao Supergrupo Rio das Velhas (Lima, 2012)) e são identificados conforme denominação interna da AngloGold Ashanti como metarritmitos pelíticos (RP), metarritmitos pelito-psamíticos (RPP), metagrauvacas (MG) e os metarritmitos de alteração fílica (RPPHF), além das zonas hidrotermalizadas (HID) e os diques de rochas metabásicas (DB).

Em geral, há uma grande variabilidade geológica na cava João Burro (Figura 3) e ocasionalmente intercalações com filitos sericíticos e/ou carbonosos, podendo a espessura variar de centímetros a metros.

Já em relação ao comportamento estrutural da cava, tem-se a xistosidade regional, responsável por sobrepor as estruturas primárias do acamamento sedimentar, além da clivagem de crenulação e outra família de clivagem mais espaçada.

Embora essas três estruturas sejam bem caracterizadas em toda a região do complexo Córrego do Sítio – Portaria I, a presença de falhas e dobramentos na cava João Burro torna a sua geologia estrutural ainda mais complexa, sendo definidas regiões com e sem controle estrutural.



Figura 3: Vista frontal do talude leste indicando a grande variabilidade litológica da cava João Burro.

3.2 Caracterização Geomecânica do Maciço Rochoso

Com o objetivo da retomada dos trabalhos na cava João Burro, viu-se a necessidade de implementar novas informações para uma melhor caracterização geomecânica da cava.

As novas informações geológico-geomecânicas do maciço rochoso foram obtidas através de mapeamentos geotécnicos e descrições de furos de sondagem (Figura 4), sendo utilizadas as metodologias Q (Barton, 1974) e RMR (Bieniawski, 1989). Foram considerados os seguintes parâmetros: RQD, influência da água, espaçamento das descontinuidades, condições (persistência, abertura, rugosidade, preenchimento e alteração) das mesmas, que reunidos ao parâmetro de resistência à compressão uniaxial da rocha intacta, definem o RMR. Além desses parâmetros, também são levantados o número de famílias de juntas, índice de rugosidade, índice de alteração, fator de redução devido à presença de água e o SRF (*Stress Reduction Factor*) para definição do índice Q.

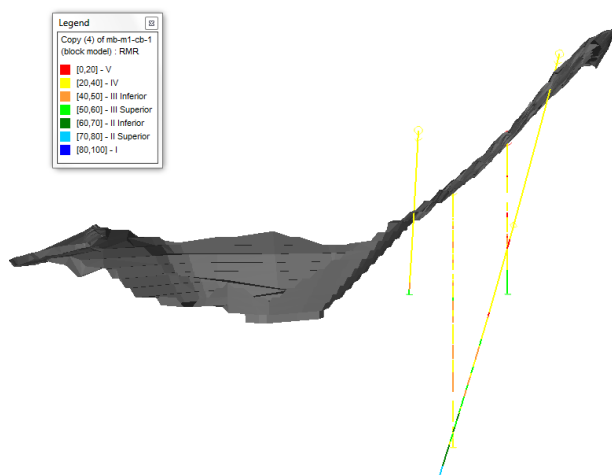


Figura 4: Vista em perfil do talude leste, indicando furos descritos e a classificação RMR dos mesmos.

A partir do tratamento dos dados obtidos e compilação de trabalhos executados anteriormente na cava João Burro, foi possível atualizar o modelo geomecânico e gerar um modelo de blocos da qualidade do maciço rochoso. Os resultados mostraram que na região da cava o maciço pode variar de muito ruim a muito bom, sendo que predomina maciço de classe IV.

3.3 Retro-Análise do Talude Oeste

O material rochoso próximo à região onde ocorreu a ruptura no talude oeste é formado por diferentes planos de descontinuidades, orientações e mergulhos variáveis. Sendo assim, é provável que o controle estrutural não tenha sido o principal responsável pela ruptura, além do fato do material ser classificado como pertencente a classe V (Bieniawski, 1989), mostrando comportamento pouco competente.

A grande heterogeneidade observada quanto à orientação dos planos, corresponde a um problema de elevada complexibilidade, tornado este um dos fatores que contribuem para o aumento da incerteza na interpretação de resultados obtidos em ensaios laboratoriais. Dessa forma, buscou-se definir os parâmetros de coesão e ângulo de atrito, necessários para os posteriores cálculos das análises de estabilidade, por meio do uso de retro-análises (Figura 5).

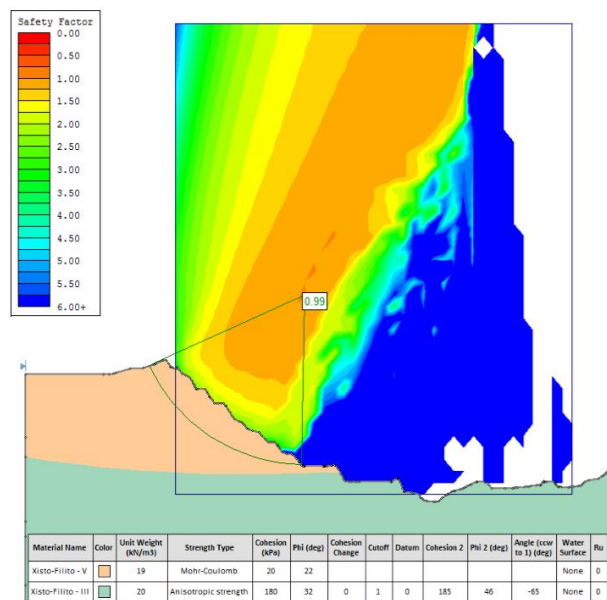


Figura 5: Retro-análise do talude oeste.

Sabe-se que fatores de segurança $< 1,00$ indicam rupturas nos taludes, sendo assim, através da retro-análise buscou-se calibrar o parâmetros (tabela 1) do maciço rochoso de maneira que se obtve-se um fator de segurança de pelo menos 0,99 conforme a Figura 5.

Tabela 1: Parâmetros obtidos por meio da retro-análise no talude oeste.

Material Name	Unit Weight (kN/m³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
Xisto-Filito - V	19	Mohr-Coulomb	20	22

4 DIMENSIONAMENTO

4.1 Análises de Estabilidade

As análises de estabilidade foram elaboradas para os taludes mais críticos da cava, além de considerar as diferentes classes geomecânicas, o controle lito-estrutural e as possíveis formas de ruptura, a fim de definir as geometrias mais adequadas para reconformação da região oeste, avaliando também o restante da cava para identificar locais onde fossem necessárias adequações.

O método usado para as análises de estabilidade corresponde ao método de Equilíbrio Limite, avaliando rupturas do tipo circular, através do método das fatias de Bishop Simplificado. Optou-se pelo uso de rupturas

circulares nos cálculos devido ao maciço da região oeste apresentar características de um maciço isotrópico. Já nas outras regiões, apesar da anisotropia verificada em campo, as análises também foram realizadas considerando rupturas circulares em função do padrão estrutural dessas regiões, onde as descontinuidades principais possuem mergulho na direção contrária do talude.

Foram elaboradas análises considerando as geometrias atuais e finais (Figuras 6 e 7) da cava João Burro, adotando como premissa fatores de segurança maiores ou iguais a 1.3 (Priest & Brown, 1983).

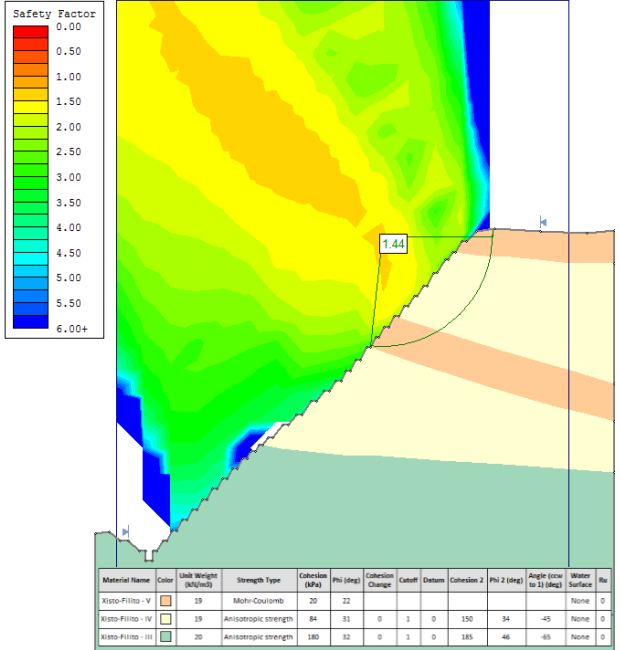


Figura 6: Análises de estabilidade da geometria final da região leste.

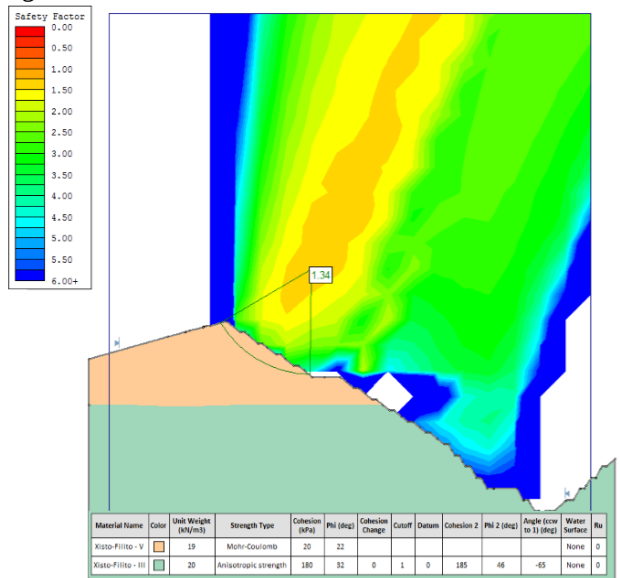


Figura 7: Análises de estabilidade da geometria final da região oeste.

4.2 Configuração Geométrica

A configuração geométrica proposta na tabela 2 foi definida através das novas análises de estabilidade que consideraram o novo modelo geomecânico (Figura 8).

Além da nova geometria indicada para o retaludamento da região oeste, viu-se a necessidade de se aplicar uma bermã de segurança de 10 metros na cota 864 para garantir uma maior estabilidade do talude global.

Nota-se que a largura proposta para as bermãs e a altura das bancadas são padrões, variando apenas os valores de ângulo de face a serem usados de acordo com os intervalos de azimute.

Tabela 2: Parâmetros geométricos usados na cava João Burro.

Cota	Azimute	Classe de Maciço	Bermas (m)	Bancada	
				Altura Máx (m)	Ângulo Máx (°)
> 840m	20 - 240	V	1.6	4	66
		IV			
		V			
< 840m	240 - 20	III	1.6	4	40
		III			
		III			
< 840m	20 - 240	III	1.6	4	66
		III			
		III			
< 840m	240 - 20	III	1.6	4	60
		III			
		III			

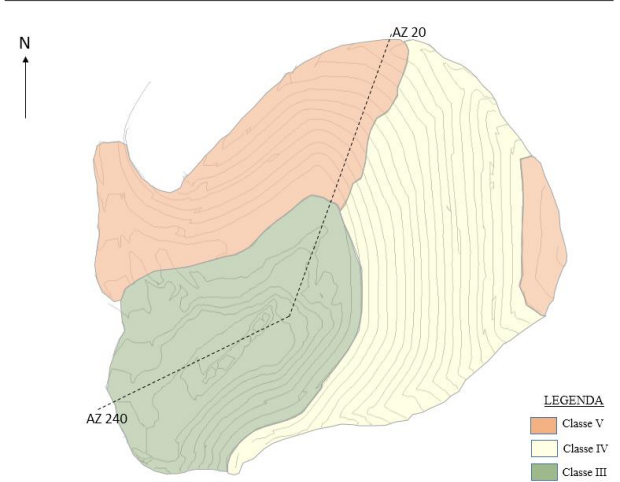


Figura 8: Modelo geomecânico da cava João Burro.

5 RETOMADA DOS TRABALHOS

5.1 Bow Tie

Antes de dar início aos trabalhos de retomada da

cava João Burro, foram feitas avaliações em conjunto com diversas disciplinas para identificar os possíveis riscos da atividade e assim eliminá-los ou minimizar os riscos através de seu gerenciamento, utilizando as ferramentas disponíveis, como o *Bow Tie*.

O *Bow Tie* é uma das alternativas gráficas usadas para a análise e gerenciamento dos riscos, sendo que nela, o evento a ser estudado é posicionado no centro do diagrama, suas causas à esquerda e seus efeitos à direita (Calil, 2009), permitindo assim, um bom entendimento sobre as relações entre as causas de qualquer evento, as barreiras de prevenção e a forma de mitigação.

Para a retomada dos trabalhos na cava João Burro, fez-se uso dessa ferramenta exclusivamente para a avaliação e controle dos riscos no retaludamento da região oeste, por se tratar da atividade com maior risco e pela complexidade de se entender a geometria e continuidade da ruptura dentro do talude.

5.2 Monitoramentos

5.2.1 Inspeções Visuais

Devido à incerteza quanto ao comportamento do maciço ao retomar os trabalhos, e a necessidade de um gerenciamento de risco detalhado e multidisciplinar, foi acordado durante a execução do *Bow Tie* a periodicidade das inspeções visuais e a equipe responsável por este monitoramento, formada por um técnico em geotecnia e um técnico em segurança do trabalho.

Sendo realizada diariamente, as inspeções visuais tinham como objetivo avaliar a condição dos acessos, geometria das bancadas, o surgimento de novas trincas nas bermas e o monitoramento das trincas pré-existentes, avaliando também as condições das drenagens superficiais, feições de subsidência e mecanismos de rupturas potenciais.

Dentre os trabalhos, destacam-se as inspeções realizadas durante o retaludamento da região oeste (Figura 9), onde foi possível acompanhar a retirada da ruptura, garantindo sempre um gerenciamento de risco adequado.



Figura 9: Retaludamento da região oeste. (a) Início dos trabalhos. (b) Região oeste após o retaludamento.

5.2.2 Monitoramento Topográfico de Placas

O monitoramento topográfico de placas corresponde a uma das atividades executadas pela equipe de Geotecnia desde o início da etapa de lavra na cava João Burro.

Esta forma de monitoramento se dá através da coleta de coordenadas de alvos localizados nos centros de placas, que se encontram instaladas ao longo da cava, por meio de uma estação total, sempre fixa em um mesmo marco de referência.

As coordenadas levantadas são inseridas em um banco de dados onde são tratadas, sendo elaborados a partir delas gráficos de deslocamento (Figura 10) e imagens com a localização das placas, contendo faróis que representam a velocidade média de deslocamento (Figura 11).

Esses faróis podem ser observados nas cores verde, amarelo e vermelho, os quais representam limites de velocidade estabelecidos com base na literatura (Sjöberg, 1996).

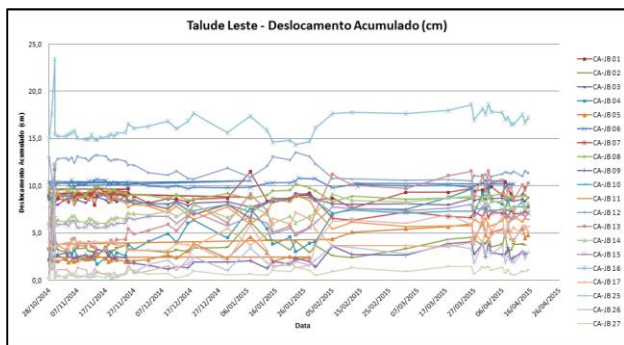


Figura 10: Gráfico de deslocamento acumulado da região leste.



Figura 11: Faróis da região leste representado a velocidade média de deslocamento (cm/dia).

Embora já fosse realizado na cava João Burro, o monitoramento topográfico passou a ser executado de forma sistemática durante os trabalhos de retomada da cava, com periodicidade diária, sendo em alguns casos obtida mais de uma leitura por dia.

5.2.3 Radar

O radar consiste em uma ferramenta de monitoramento capaz de detectar movimentos milimétricos em faces de taludes. A região monitorada é varrida regularmente pelo aparelho que fica instalado na cava (Figura 12) e os dados levantados são enviados para escritório, permitindo assim, uma avaliação em tempo real da estabilidade dos taludes (Nader, 2013).

Além de permitir observar a estabilidade do maciço em tempo real, é possível definir limites de criticidade em relação à movimentação, de forma que o radar emita alarmes e envie e-mails ou mensagens de celular para os responsáveis técnicos de toda operação.

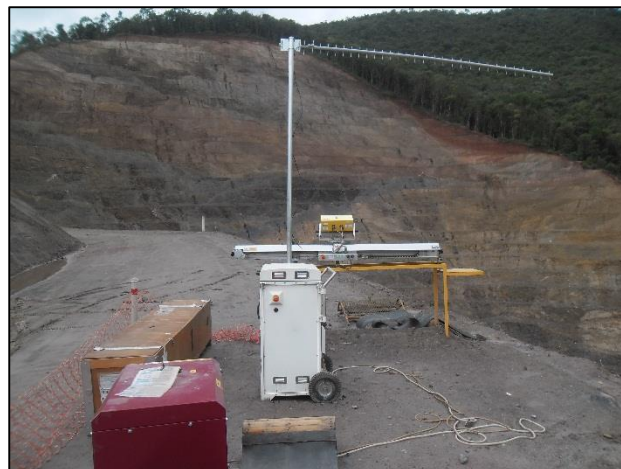


Figura 12: Radar de monitoramento instalado na cava João Burro.

Esta forma de monitoramento foi empregada na cava João Burro com intuito de avaliar principalmente a estabilidade do talude leste (Figura 13) frente aos desmontes da lava, uma vez que nessa região o talude possui uma maior altura e um ângulo global mais inclinado.

O monitoramento através do radar indicou que a região leste permaneceu estável ao longo de todo processo da lava, ocorrendo apenas pontos localizados de movimentação.

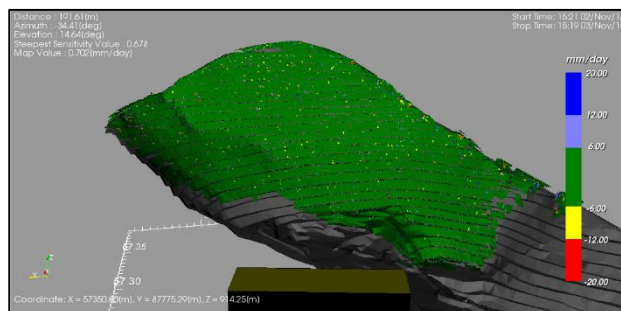


Figura 13: Imagem de monitoramento gerada através dos dados obtidos pelo radar.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dos resultados obtidos nos estudos e durante todo o processo de retomada das atividades na cava João Burro foi possível verificar que a nova geometria dimensionada apresentou resultados favoráveis no que concerne primeiramente à segurança, que é o principal e primeiro valor da AngloGold Ashanti, e também possibilitou contribuir de maneira bastante favorável para os resultados da empresa.

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.
- Calil, L.F.P. (2009). *Metodologia para Gerenciament ode Risco: Foco na Segurança e na Continuidade*, Dissertação de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 231p.
- 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.
- Nader, A.S. (2013). *Monitoramento de Taludes via Radar SSR como Indicador Chave de Desempenho Geotécnico Integrado às Atividades Primárias da Cadeia de Valor Mineral*, Dissertação de Doutorado, Programa de Pós-Graduação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 209p.
- Priest SD & Brown ET (1983). Probabilistic stability analysis of variable rock slopes. *Transactions of Institution of Mining and Metallurgy, Section A: Mining Industry* 92, A1-12.
- Sjöberg, J. (1996). Large scale slope stability in open pit mining – A review. *Luleå University of Technology, S-971 87 Luleå*.