

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/782

Metodologia para Gerenciamento de Riscos em Lavras de Crown pillar. Estudo de caso: Mineração Fazenda Brasileiro

Marina Ramos Campos

Assistente de Geotecnia, Equinox Gold, Barrocas, Brasil, marina.campos@equinoxgold.com

Michele Márcia de Souza

Coordenadora de Geotecnia, Equinox Gold, Barrocas, Brasil, michele.msouza@equinoxgold.com

Arlton Ferreira Nascimento

Géologo Geotécnico, Equinox Gold, Barrocas, Brasil, arilton.nascimento@equinoxgold.com

RESUMO: Há 38 anos em operação, a mineração Fazenda Brasileiro, localizada na cidade de Barrocas, região nordeste do estado da Bahia, produziu mais de 3,3 milhões de onças de ouro. Embora o foco principal seja a extração por meio de lavras subterrâneas pelo método Sublevel Stopping, na sequência Top Down, a alta valorização do ouro, associada ao desenvolvimento de novas tecnologias e custos elevados com o aprofundamento subterrâneo, viabilizaram a reabertura das operações a céu aberto, tendo como foco de produção regiões de teor a menor e trechos de crown pillar com o subsolo. Como forma de gerenciar e mitigar os riscos de interação com vazios, foi desenvolvido em Fazenda Brasileiro uma metodologia de caracterização e operação nessas regiões. Atualmente essa identificação é realizada através de métodos geofísicos, sondagens investigativas e escaneamentos. Somado a isto, são realizados o levantamento de dados geológicos e geotécnicos, como mapeamento estrutural e classificações do maciço, seguido de elaboração de modelos geotécnicos tridimensionais e análises numéricas. O estudo mostra que se não mapeados, operações em regiões de crown pillar estreito possuem risco alto para pessoas e equipamentos, tornado assim a aplicação da metodologia desenvolvida uma ferramenta chave para o gerenciamento dos riscos associados a esta atividade.

PALAVRAS-CHAVE: Crown pillar, Fazenda Brasileiro, Gerenciamento de riscos, Vazios

ABSTRACT: The Fazenda Brasileiro mining company located in the town of Barrocas, in the northeast of the state of Bahia, has produced more than 3.3 million ounces of gold during its 38 years of activities. Although the main focus is on extraction through underground mining using the Sublevel Stopping method with a Top Down sequence approach, the high value of gold combined with the development of new technologies and the high costs of underground deepening have made it possible to reopen open-pit operations, focusing on lower grade regions and crown pillar stretches of the subsoil. As a way of managing and mitigating the risks of interaction with stope, a methodology for characterizing and operating in these regions was developed at Fazenda Brasileiro. This identification is currently carried out using geophysical methods, investigative drilling and scans. In addition to the collection of geological and geotechnical data, such as structural mapping and classifications of the massif, this work also presents the development of three-dimensional geotechnical models and numerical analyses. The study shows that operations in narrow crown pillar regions pose, when not mapped, a high risk to both people and equipment, making the application of the methodology developed a key tool for managing the risks associated with this activity.

KEYWORDS: Crown pillar, Fazenda Brasileiro, Risk management, Stope

1 INTRODUÇÃO

A Mineração Fazenda Brasileiro possui aproximadamente 40 anos de operação, tendo o método de extração iniciado através de lavras a céu aberto, mas que após quatro anos migrou para o contexto de lavras subterrâneas através do método *Sublevel Stopping*, na sequência *Top Down*, sendo este o principal método de extração o minério, com escavações atualmente a mais de 1000m abaixo da superfície.

Com a alta valorização do ouro, e o desenvolvimento de novas tecnologias, foi viabilizada a reabertura de operações a céu aberto, em regiões anteriormente definidas como *crown pillar*. Atualmente o plano estratégico da empresa prevê o aumento da produção de ouro iniciado em 2022 sendo incrementada parte das onças proveniente do Open Pit.

O método de lavra em bancadas prevê o aprofundamento do Open Pit em regiões já escavadas pelo subsolo, promovendo assim uma interação com vazios, o que gera maior complexidade no gerenciamento e mitigação dos riscos. Somando a isso, também tem-se o desafio de mapear/identificar as galerias mais rasas devido ao fato das mesmas terem sido lavradas no contexto inicial da mina, onde a maior parte dos dados topográficos eram registrados por meio de papéis, sendo parte deles perdidos ao longo do passar dos anos.

Dessa forma, o presente trabalho foi desenvolvido de forma a propor uma metodologia de investigação e trabalho em regiões com interações em subsolo, buscando mitigar os riscos associados a interações com essas escavações, garantindo assim maior segurança para as atividades e aumento de confiabilidade ao projeto.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO

2.1 Localização

O presente estudo foi realizado na Mineração Fazenda Brasileiro (FBDM) situada a nordeste da Bahia, localizada a 180 km de Salvador, no município de Barrocas, sendo FBDM pertencente a empresa Equinox Gold, que assumiu as operações a partir de março de 2020 (Figura 1).

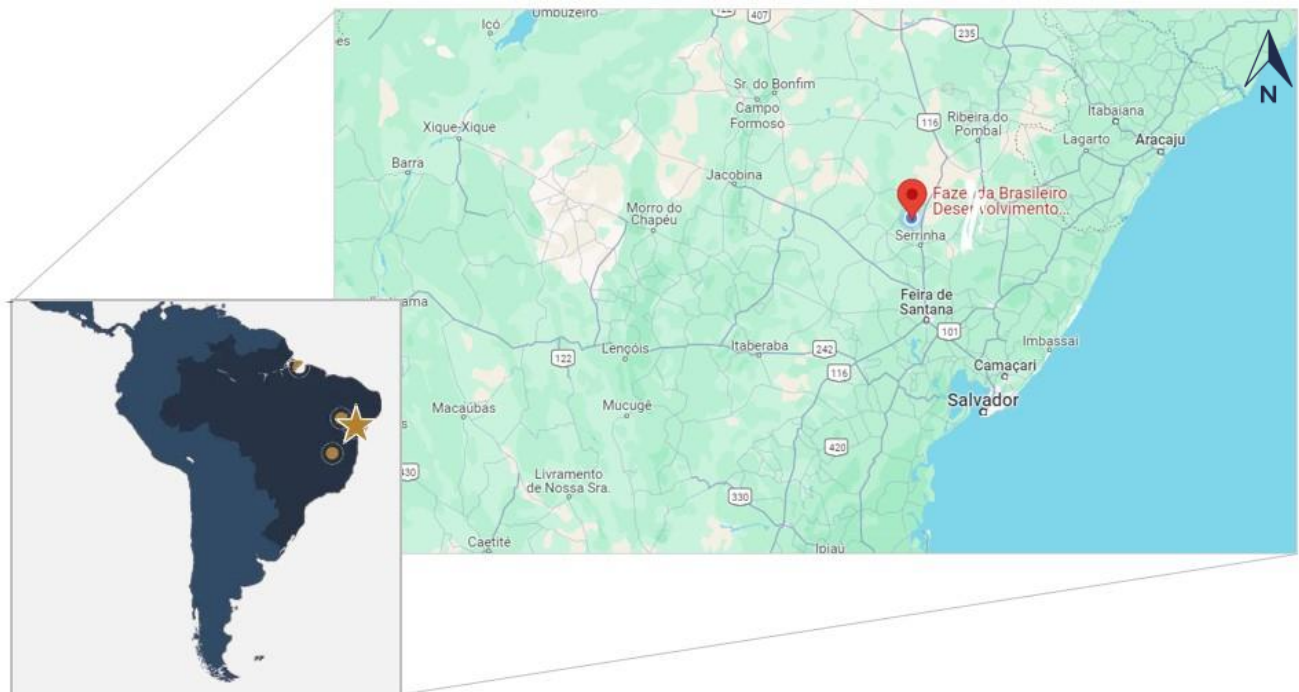


Figura 1. Localização da área de estudo

2.2 Métodos de lavra

O foco de produção em Fazenda Brasileiro consiste na extração por meio de escavações subterrâneas através do método *Sublevel Stopping*, tendo a sequência *Top Down* como predominante. Diferente da sequência *Bottom Up* que prevê o enchimento dos stopes já lavrados para continuação da lavra nos níveis superiores, a sequência *Top Down*, mantém as escavações abertas, estabilizadas por meio de pilares verticais e horizontais, também conhecidos como *rib pillar* e *sill pillar*.

Embora as escavações subterrâneas tenham sido parte principal da produção do conteúdo metálico ao longo dos anos, a abertura de cavas em regiões anteriormente definidas como *crown pillar* tornaram-se parte

do plano estratégico de FBDM, acarretando assim em operações simultaneas, ou seja, operações por meio do *Open Pit* e subsolo.

Na Figura 2 é possível visualizar a interação entre superfície e subsolo melhor detalhada, sendo as escavações em vermelho correspondentes a lavras subterrâneas e as linhas em azul o projeto previsto para o *Open Pit*. Vale a pena ressaltar que as escavações subterrâneas tratam-se de escavações antigas cujo foco de produção correspondia a minério de teor maior, ao passo que o *Open Pit* busca extrair a mineralização ao entorno dessas escavações, que possuem teor a menor, porém se tornam viáveis de ser extraídas através da superfície.

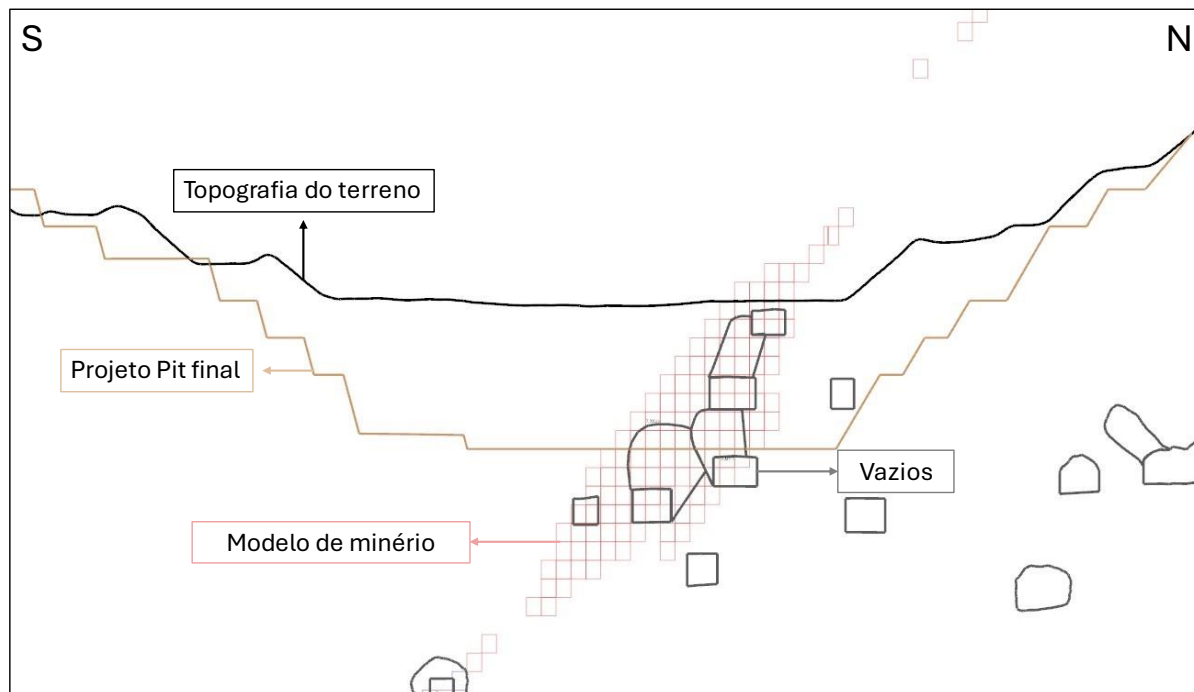


Figura 2: Croqui esquemático representado em seção indicando interação entre Open Pit e subsolo.

3 METODOLOGIA

3.1 Identificação de Vazios

Para a identificação e mapeamento das escavações antigas, também denominadas de vazios, são realizadas avaliações através do uso dos escaneamentos topográficos. Entretanto, por se tratar de uma mina em operação a aproximadamente 40 anos, parte das escavações superficiais que haviam sido projetadas e direcionadas apenas com o uso mapas em papéis, não tiveram seus dados recadastrados e digitalizados uma vez que foram perdidos com o passar dos anos. Com isso, diferentes metodologias de identificação de vazios se tornam necessárias, sendo os métodos geofísicos, perfurações investigativas e voos de drone parte do trabalho.

3.1.1 Levantamento Geofísicos

Para identificação de vazios podem ser utilizados métodos como o GPR (*Ground Penetrating Radar*), e a Eletroresistividade, cujas anomalias encontradas podem estar relacionadas a regiões potenciais de vazios, que são então validadas através de perfurações investigativas.

O GPR é um método eletromagnético baseado na propagação de ondas eletromagnéticas (EM) de alta frequência. A partir de uma antena transmissora, são emitidas ondas/pulsos eletromagnéticos que podem variar de 10MHz a 2,5 GHz, essas ondas são refletidas e refratadas sendo recebidas pela antena receptora. As ondas EM são radiadas diretamente do subsolo, por uma antena transmissora, colocada em superfície (TOPP et al., 1980).

O GPR permite a investigação de alvos rasos, bem como seu detalhamento, o que possibilita no auxílio da descrição dos meios geológicos e/ou geotécnicos. O processamento dos dados tem a finalidade de realçar os contrastes do GPR para distinguir possíveis anomalias do subsolo, a partir dos resultados (Figura 3), é realizada a interpretação dos dados.

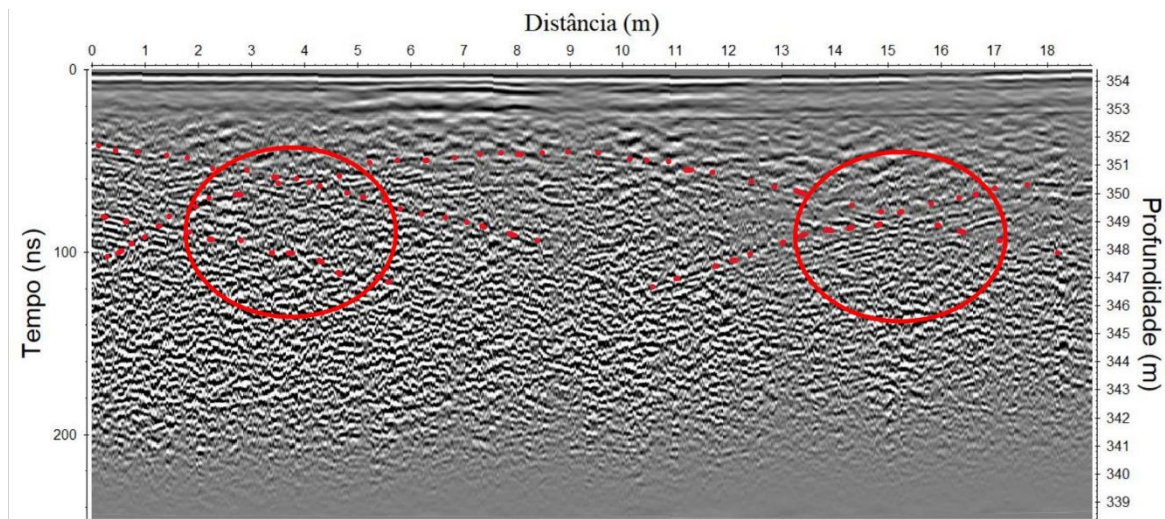


Figura 3. Perfil de processamento de dados do GPR a partir do Software Reflex-Win

Já a eletroresistividade pode ser realizada através de levantamentos utilizando a técnica de caminhada elétrica efetuado ao longo de linhas paralelas e transversais. Este método é possível identificar anomalias com maior profundidade que o GPR. Os caminhamentos elétricos realizados em FBDM utilizam o arranjo Dipolo-Dipolo, com espaçamento de 5 e 10 metros entre eletródos (o tipo de caminhada dependerá da necessidade da investigação, ou seja, maior profundidade ou maior resolução).

Na figura 4 é possível observar um exemplo de anomalia obtida com esse tipo de levantamento, sendo as cores mais quentes características de regiões com potenciais escavações subterrâneas/vazios.

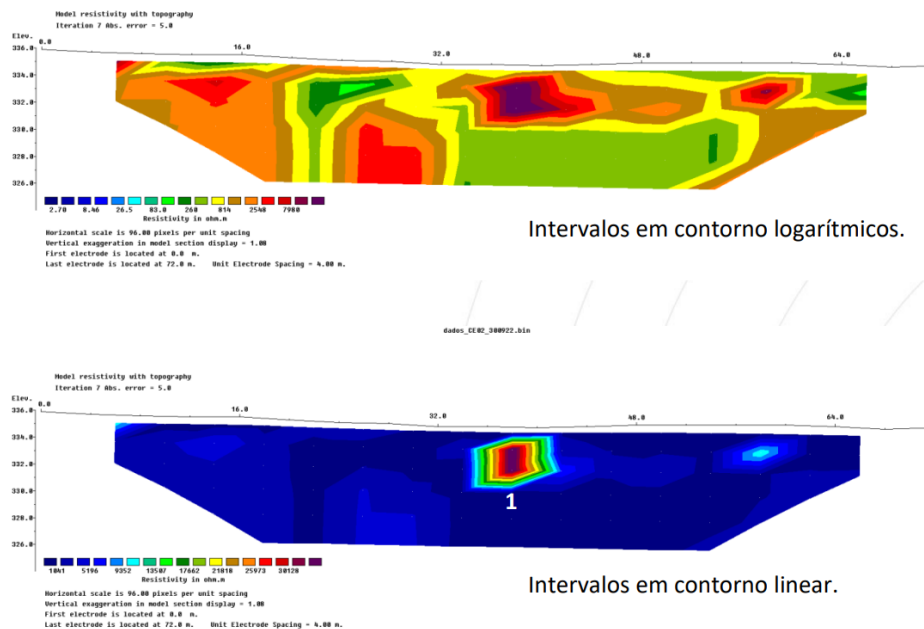


Figura 4. Perfil de processamento de dados a partir da eletroresistividade a partir do Softwares Prosys II

3.1.2 Furos investigativos

A partir de sólidos tridimensionais desenhados com os resultados dos levantamentos geofísicos, são então adicionadas sondagens exploratórias para validar os dados de geometria e profundidades identificadas. Entretanto, para o posicionamento correto dos furos, são seguidas premissas de *crown pillar* mínimo que definirá se os furos poderão seguir com inclinação de 90 graus ou se terão que ser perfurados partindo de fora da região a ser investigada.

3.1.3 Levantamento de drone

A depender do tipo e posicionamento das escavações a serem investigadas, somente os voos de drone se tornam viáveis para o mapeamento (questões relacionadas a profundidade, inclinação e espaço para o caminhamento geofísico podem influenciar nessa tomada de decisão).

Nestes casos são utilizados drones com a tecnologia do LIDAR Slam (Algoritmo de localização e mapeamento simultâneo), que funciona utilizando um laser scanner para construir uma nuvem de pontos e georreferenciar ela no espaço (DURRANT-WHYTE et. al., 2006), confirmando e gerando geometrias exatas dos possíveis vazios identificados por meio dos caminhamentos e furos investigativos.

Vale a pena ressaltar que esse tipo de levantamento é realizado partindo do subsolo, em regiões próximas às programadas para serem lavradas pelo Open Pit e correspondem ao método de maior precisão para este tipo de cenário, contribuindo para aumento da segurança e redução do tempo de espera para execução das sondagens exploratórias confirmativas.

3.2 Análises Numéricas

Tendo em vista a influência das tensões induzidas ao entorno das escavações, principalmente dos stopes, são confeccionadas análises numéricas com intuito de entender melhor as rupturas no entorno do plano de perfuração envolvendo regiões em interação com vazios. Neste método são realizadas análises e desenho do sólidos prevendo diferentes cenários de variação. Essas análises irão influenciar principalmente na garantia do rompimento do *crown pillar*, preenchimento por completo dos vazios, e na avaliação da condição do talude final e berma após a variação.

Uma das formas de avaliação é por meio da abordagem bidimensional, sendo feito uso do *software* RS2 da empresa Rocscience, inserindo os parâmetros geotécnicos obtidos por meio de mapeamentos, descrições de sondagem e execução de ensaios de laboratório.

Os resultados são apresentados em termos de SRF (*strength reduction factor*). O princípio do cálculo considera que:

- Os parâmetros de resistência de um talude são reduzidos por um determinado fator (SRF), e a análise de tensões por elementos finitos é calculada.
- Esse processo é repetido para diferentes valores de fator de redução de força (SRF), até que o modelo se torne instável (os resultados da análise não convergem).
- Isso determina o fator crítico de redução de resistência (SRF crítico), ou fator de segurança, do talude (Figura 5).

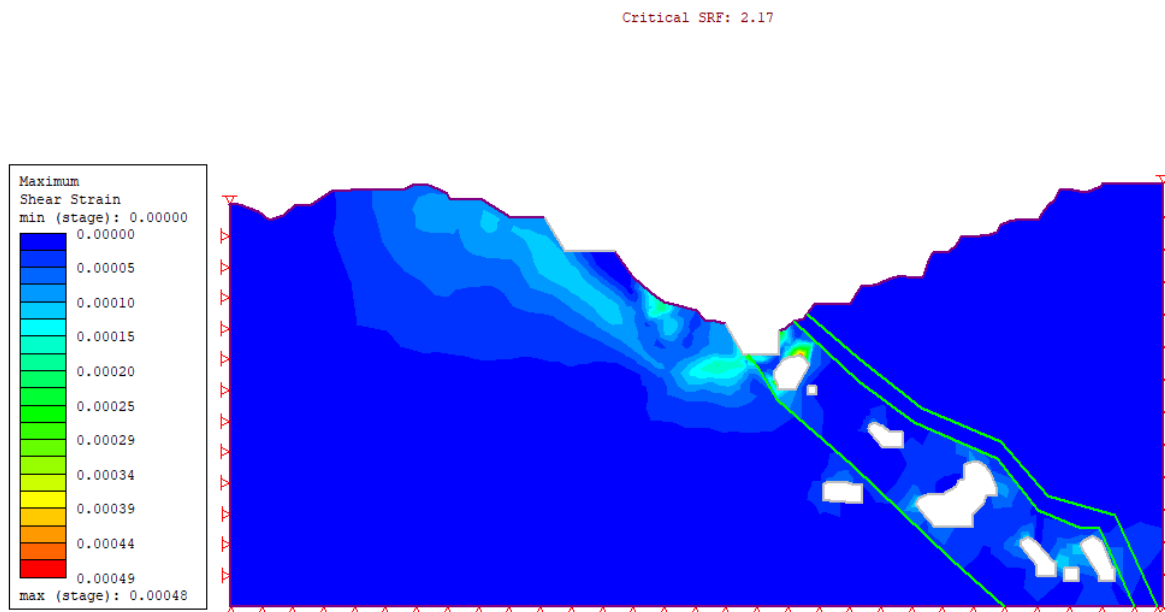


Figura 5. Resultado da análise numérica realizada para avaliação da interação com Open Pit e Subsolo

Para lavras mais complexas e com um span maior, são realizadas análises numéricas tridimensionais, fazendo uso do *software* MAP3D que corresponde a um programa tridimensional que utiliza o método de análise por elementos de contorno para avaliar a estabilidade das escavações subterrâneas, fornecendo resultados em termos de tensões e deformações. Durante essas análises, é verificada a estabilidade do crown pillar e definida a sequência operacional (realização de variação ou mantido as operações respeitando crown pillar mínimo).

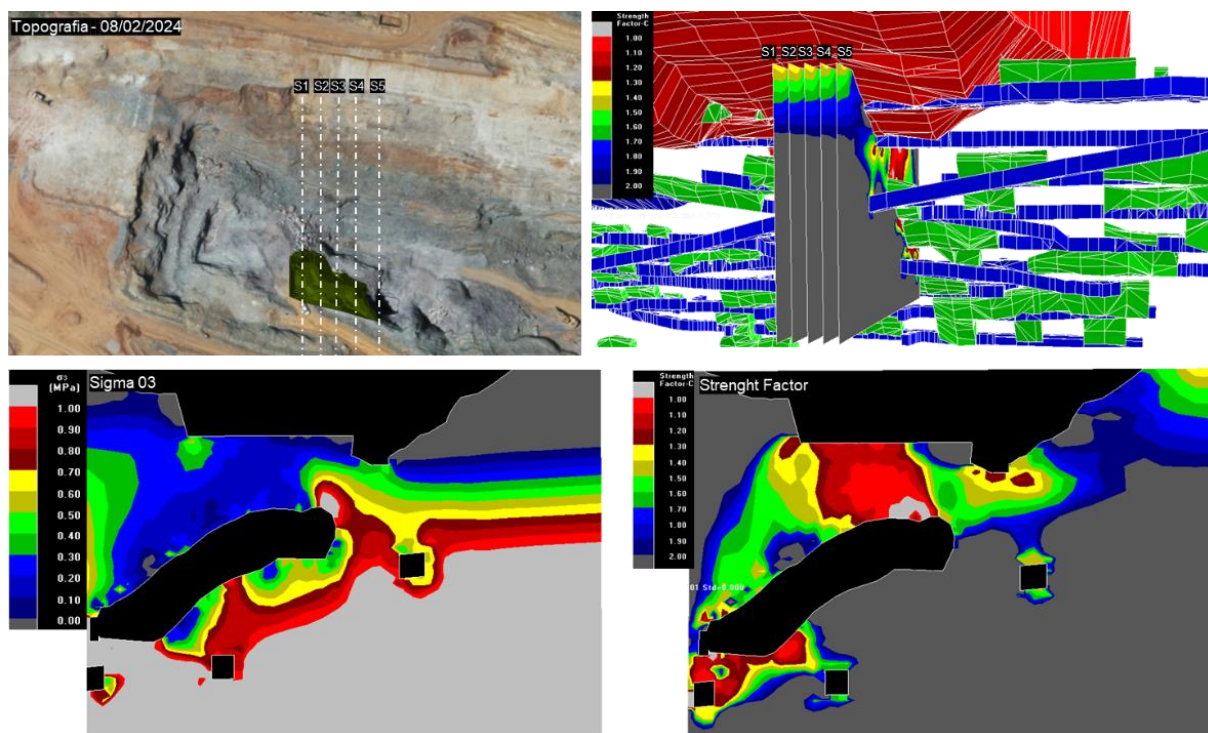


Figura 6. Avaliações numéricas tridimensionais com uso do software MAP3D.

3.3 Inspeções pós desmonte

Após o desmonte ocorrer em uma área com interação céu aberto com subsolo, é crucial garantir que o local esteja seguro antes de qualquer atividade operacional. Para isso, uma equipe multidisciplinar realizada a confirmação da quebra do crown pillar e avalia se houve o preenchimento parcial ou completo do vazio. Essas avaliações são feitas através do acompanhamento dos desmontes por drone, seguido de inspeção próximo ao local de varação.

Antes que a área seja liberada para o trabalho, é essencial que haja um plano para as atividades de escavação. Isso é elaborado em colaboração com as equipes de Operações de Mina, Planejamento e Geomecânica. Este plano detalhado garante que todas as etapas sejam consideradas, minimizando os riscos associados à atividade da operação de lavra.

Em algumas situações, pode não haver evidência rompimento do *crown pillar* após a detonação. Nestes casos, são definidos isolamentos a um raio de segurança da região detonada e novas investigações são realizadas ao entorno, sendo estas utilizadas como premissas para novas diretrizes de trabalhos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização da metodologia para o gerenciamento de riscos em lavras de *Crown Pillar* tem demonstrado grande eficácia, uma vez que permite a minimização dos riscos e o aumento da previsibilidade dos vazios. Contudo, para assegurar a efetividade desse processo, é imprescindível dar continuidade a uma investigação apropriada dos vazios, bem como estabelecer uma operação de lavra adequada em áreas com interação entre Céu Aberto e Subsolo. Nesse contexto, torna-se fundamental a realização frequente de reuniões multidisciplinares, envolvendo toda a equipe técnica, visando garantir a execução correta das operações.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos às equipes de Geologia, Geomecânica, Planejamento e Operação pelo apoio e disponibilidade de suporte em todas etapas do trabalho. Agradecemos também a Equinox Gold Corp. por incentivar e apoiar nossos projetos de melhoria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Durrant-Whyte, H., & Bailey, T. (2006) Simultaneous Localization and Mapping: Part 1. IEEE *Robotics & Automation Magazine*, 99-108.

Topp, g.c.; Davis, J.L. (1985) *Time-domain reflectometry. Advances in Irrigation*, V. 3, p.107-127