

Realização de projeto de lavra de mina subterrânea com utilização de aplicativos específicos

Underground mine design using specific softwares

Milton Brigolini Neme

Professor do DEMIN/EM/UFOP.
miltonbn@demin.ufop.br

Adilson Curi

Professor do DEMIN/EM/UFOP.
adilsoncuri@yahoo.com.br

José Margarida da Silva

Professor do DEMIN/EM/UFOP.
jms@demin.ufop.br

Aida Carolina Borges Carneiro

Discente do DEMIN/EM/UFOP.
aida.carneiro@hotmail.com

Resumo

O planejamento de mina subterrânea constitui elemento importante para se alcançar a realização de empreendimentos no cenário atual altamente competitivo. Esse planejamento se torna essencial em função das particularidades das minas subterrâneas, da dificuldade de se conhecer o corpo em profundidade e da locação das escavações subterrâneas.

Aplicativos de computador permitem visualização espacial do corpo mineralizado, das seções geológicas e formação dos contornos do minério em 3D. Assim, tais aplicativos facilitam alocação dos principais serviços de desenvolvimento de minas. Hoje as mineradoras já dispõem de tais recursos, mas as metodologias para o desenvolvimento das minas subterrâneas ainda são incipientes. Os aplicativos mais desenvolvidos são direcionados para as minas a céu aberto e não para as minas subterrâneas.

Com a utilização de aplicativos de desenvolvimento de mina e com o planejamento de lavra e com a observação das similaridades com minas existentes, foi possível: 1) Elaborar um projeto de infra-estrutura de uma mina subterrânea específica, com visualização em 3D das aberturas; 2) Fazer o dimensionamento das aberturas; 3) Desenvolver uma metodologia para um desenho das referidas aberturas.

Esse artigo trata da seleção do método de lavra a partir das características de uma jazida simulada e descreve as aberturas principais de desenvolvimento de mina subterrânea construídas com um aplicativo comercial de mineração.

Palavras-chave: Projeto de mineração, desenvolvimento mineiro, escavações subterrâneas, visualização tridimensional do corpo mineralizado.

Abstract

Underground mine planning is an important element for achieving project realization in the current highly competitive scenario. This is due to the peculiarities of the underground mines, where it is difficult to obtain profound knowledge about the body and location of the underground excavations.

Computer applications spatially visualize the ore body with its geological sections and mineral formation contours. This visual is in 3D that facilitates the allocation of major mine development services. Although such resources are available, their mining applications are generally developed for open pit mining methods, and is still incipient for underground mine-development methodologies.

With the use of applications for mine development and planning, and the similarity of existing mines, it was possible to prepare the infrastructure project for a specific underground mine, and a 3D view of its underground openings. It was also

possible to develop a methodology for drawing the galleries described.

This paper deals with the selection of mining methods for a major simulated mineral deposit and describes breakthroughs of underground mine development design using a commercial mining application.

Keywords: Mining project, mining development, underground excavations, spatial vision of ore body.

1. Introdução

O aprofundamento das minas a céu aberto existentes e a tendência crescente das restrições ambientais têm criado dificuldades para a exploração de minérios por métodos a céu aberto. Por outro lado, há inúmeras dificuldades na exploração de minas subterrâneas, como, por exemplo, o alto custo que suas atividades demandam e a pouca experiência que os profissionais da área possuem, pois as minas subterrâneas não são comuns aqui no Brasil. Esse quadro se constitui em um desafio a ser superado pelas indústrias de mineração e, também, pelos cursos de Engenharia de Minas.

A produção de bens minerais mostra, para o futuro, a perspectiva de se vir a processar, cada vez em maior escala, através de lavra subterrânea, em razão da progressiva exaustão das reservas facilmente acessíveis à extração a céu aberto e da necessidade da preservação do meio ambiente, impondo cada vez mais restrições à lavra a céu aberto, embora, sabida-

mente não seja a indústria extrativa mineral a atividade econômica mais agressora do meio ambiente (Silva, 2009).

O desenvolvimento de uma metodologia, usando como ferramenta um aplicativo de mineração para os serviços em mina subterrânea, tem o objetivo de servir de instrumento didático para as disciplinas de Desenvolvimento Mineiro e Lavra Subterrânea e se constituirá em um passo decisivo para o prosseguimento de uma linha de pesquisa no Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. O programa será utilizado para executar exercícios acadêmicos práticos com o intuito de difundir, entre os alunos de graduação, a prática de utilização das tecnologias de última geração, em termos de planejamento de lavra.

A crescente dificuldade de se conseguirem minérios com altos teores, aliada à variação dos preços das *commodities*, nos últimos anos, tem feito com que

empresas especializadas desenvolvam aplicativos capazes de otimizar o planejamento da mina em um curto espaço de tempo, o que seria quase impossível de ser feito manualmente. *Softwares* de mineração atuais permitem, nesse sentido, uma visão em 3D da jazida e de toda a estrutura de mina necessária para a lavra do minério.

Na lavra subterrânea, a automação de uma metodologia de lavra e/ou a sua otimização por meio de aplicativos comerciais é menos interativa do que para a lavra a céu aberto. Existe uma necessidade reconhecida de melhoria das ferramentas computacionais para embasar o planejamento, o projeto e a operação de minas subterrâneas e, embora esses aplicativos disponham de algumas ferramentas, eles são mais desenvolvidos para atender aos métodos de lavra a céu aberto, sendo ainda incipientes as metodologias para os serviços de desenvolvimento de mina subterrânea.

2. Metodologia

Escolha do método de lavra subterrânea de acordo com as considerações importantes sobre a jazida

A seleção do método de lavra é um dos principais elementos, em qualquer análise econômica de uma mina, e sua escolha permite o desenvolvimento da operação. Comumente o método de lavra é designado como sendo a técnica de extração do material. Isso define a importância de sua seleção, já que todo o projeto é elaborado em torno da técnica utilizada para lavar o depósito. Os trabalhos de infra-estrutura estão diretamente relacionados com o método, conforme Macedo et al. (2001).

Ainda, segundo os mesmos autores, os principais objetivos da seleção do método estão relacionados com os aspectos ambientais, econômicos e sociais. O método deve ser seguro e produzir con-

dições ambientais adequadas para os operários; os impactos causados ao meio ambiente devem ser reduzidos; o método deve permitir condições de estabilidade durante a vida útil da mina, deve assegurar a máxima recuperação de minério com mínima diluição, deve ser flexível para adaptar às diversas condições geológicas e à infra-estrutura disponível e deve permitir atingir a máxima produtividade, reduzindo, conseqüentemente, o custo unitário do minério.

São vários os métodos de lavra descritos por Hartman (2002) e Hustrulid (1982) e estes são limitados pela disponibilidade e performance dos equipamentos e, como todos os fatores que influenciam em sua seleção, devem ser avaliados levan-

do-se em conta os aspectos tecnológico, econômico, social, político e ambiental.

Nesse trabalho, a partir de um conhecimento melhor do comportamento do minério e das encaixantes e a fim de se definirem parâmetros necessários ao dimensionamento de uma eficiente operação subterrânea, foram selecionados os métodos de lavra subterrâneos mais comuns. Pela aplicabilidade de cada método e características do corpo mineralizado, dois métodos foram escolhidos e serão aplicados, simultaneamente, ao desenvolvimento da mina subterrânea. Foram discutidos, também, os principais motivos da utilização dos métodos e o por quê de suas aplicações, ao se apresentarem os resultados do projeto de mina.

Elaboração do banco de dados geológico e modelagem do corpo mineralizado

Um banco de dados geológico con-

siste de um número de tabelas que contêm

diferentes dados, tais como identificação

do furo, coordenadas do ponto de sondagem, profundidade máxima, trajeto do furo, inclinação, azimute, litologias e teores para a modelagem do corpo mineralizado. Esses dados constituem a base

para estudos de viabilidade e estimação de reservas minerais.

Nessa etapa, foi possível a realização de uma primeira aproximação das partes a serem lavradas a céu aberto e

subterrânea e, também, a seleção de possíveis métodos de lavra de subsolo. Também foi possível obter o acesso ao corpo e foi possível elaborar alternativas para o transporte do material de profundidade.

Projeto de infraestrutura da mina a céu aberto

Na parte aflorante do corpo mineralizado, iniciou-se uma mina a céu aberto em cava, feita a partir de dados, como altura dos bancos, largura das bermas, ângulo de talude e o gradiente da rampa.

Foram construídos segmentos de acordo com a altura dos bancos e com a largura das bermas, procedimento

repetido até a obtenção do modelo da cava final.

A tendência natural das minas a céu aberto, à medida que se desenvolve a lavra, é que a cava se torne mais profunda, podendo-se atingir um limite econômico e técnico que não permita o seu prosseguimento. Tornou-se necessária, dessa

maneira, uma transição para mina subterrânea, pois fatores técnicos e econômicos indicaram esse tipo de mudança.

Foi definido o nível máximo de lavra a céu aberto, segundo estudos geomecânicos, e foi deixado um pilar de coroamento para a abertura da mina subterrânea.

Projeto de infraestrutura da mina subterrânea

Após a modelagem do corpo mineralizado, de acordo com o banco de dados geológico, e definidos os limites da cava a céu aberto, em relação a aspectos econômicos, de segurança e ambientais, alocaram-se as vias de acesso principais para uma mina no subsolo.

Foi utilizada uma rampa em ziguezague, como acesso principal, em detrimento da helicoidal, de modo que a rampa fique sempre próxima ao corpo mineralizado, facilitando o acesso aos níveis e até mesmo aos subníveis. O desenho da rampa foi feito por um processo trabalhoso, pois o aplicativo não possuía ferramentas apropriadas para confecção de rampas subterrâneas que acompanham o corpo mineralizado.

Com o uso de ferramentas de criar pontos por direção, distância e gradiente, foi feito um ziguezague até a extensão final do corpo, para a construção da rampa de acesso principal. Com o auxílio de circunferências, com raio igual ao raio mínimo da linha de centro da rampa (20 m), foi feito o seu raio de curvatura.

A partir das coordenadas do ponto de locação do poço na superfície, traçou-se uma reta central do poço vertical através

de ferramentas do aplicativo de criação de pontos por coordenadas. Esses pontos são: um na superfície e outro no fundo do poço. Com essa linha, foi criado o sólido que representa o poço, de acordo com o modelo estabelecido, que é um cilindro circular de diâmetro de 7 m, a partir da superfície até a profundidade de 1140 m.

Para melhor operacionalização do método de lavra, a mina foi dividida em níveis, de acordo com as propriedades *in situ* das rochas e, também, com base em métodos empíricos de classificação dos maciços, como, por exemplo, o Método Escandinavo “Q System” (Barton et al., 1974), o método de classificação geomecânica “RMR System” (Bieniawski, 1989) e esta última classificação básica (*in situ*) foi, ainda, ajustada, dependendo da orientação de juntas, grau de intemperização, tensões induzidas, mudança de tensões em razão da lavra e efeitos da detonação.

Cada galeria foi criada a partir de uma linha central e de um modelo da seção transversal escolhida para a sua forma. Com ferramentas de construção de segmentos, como, por exemplo, por ângulo, por direção, por distância, gra-

diente, foram criadas galerias para a ligação da rampa de acesso principal ao corpo mineralizado.

Semelhante à abertura do poço vertical, foram abertos os poços de ventilação e, também, saídas de emergência do lado oposto ao da rampa, condição indispensável de segurança operacional. As câmaras de refúgio, as estações de bombas e as subestações elétricas foram desenhadas com base nas linhas paralelas e segundo a largura desejada de dimensões do espaço requerido. Tudo isto foi elaborado a partir de uma linha central. Através do desenho de outras linhas paralelas a estas e a uma cota com distância igual à altura pretendida, têm-se as dimensões que formaram, por triangulação, o sólido que representa essas aberturas.

Os alargamentos das vias de acesso principais (*pass bay*) destinados à manobra de equipamentos foram feitos, estrategicamente, nos pontos com maior confluência de trânsito.

Para um melhor entendimento de projeto de mina subterrânea, foi discutida, na apresentação dos resultados, a necessidade de implementação de cada uma dessas aberturas.

Modelagem de Blocos

O modelo de blocos é um banco de dados espacialmente referenciado para a estimação de volume, tonelagem e para a definição da característica média das dimensões de um corpo mineralizado. Todo esse processo foi feito a partir de dados de perfuração. As propriedades modeladas foram os teores de ouro e de prata e, pelo Método do Inverso do Quadrado da Distância, foram

estimados tais teores. Isto foi obtido estimando e fixando valores de atributos de dados de amostras que contêm coordenadas X, Y, Z e os valores dos atributos de interesse.

A estimativa dos teores por profundidade e a consequente obtenção da tonelagem possibilitaram um maior conhecimento das reservas e da distribuição espacial do minério, com seus

respectivos teores. Também permitiram refinar os estudos preliminares de métodos de lavra e sua divisão em níveis e, principalmente, possibilitaram elaborar uma análise econômica das diversas alternativas, conduzindo a estudos de viabilidade.

Assim, foram efetuados cálculos (expressos por relatórios em planilhas eletrônicas) de tonelagem e teores do

corpo mineralizado total. A tonelagem e teores foram divididos nas partes a serem

3. Resultados e discussões

Com a elaboração do banco de dados geológico, foi possível importar dados de tabelas para o aplicativo de planejamento de mina e visualizar, em três dimensões, o corpo mineralizado. Esse corpo tem, aproximadamente, 48° de mergulho, direção de 89° E, 15.563.625 toneladas (incluindo cava e subsolo), com teores médios de 8,59 g/t de ouro e 9,08 g/t de prata.

Com cálculos de estimação de reservas, a partir do modelo de blocos, foram geradas tabelas da distribuição espacial do minério e seus teores, tanto para o minério que será lavrado a céu aberto quanto para o minério a ser lavrado em subsolo e, também, o que será lavrado nível por nível.

A mina a céu aberto foi construída a partir da superfície, até se atingir um limite econômico e técnico. A partir desse limite, não foi possível o seu prosseguimento. De acordo com estudos de otimização da lavra, a cava atingiu o nível 115, com profundidade de 125 m. Possui bancos de 10 m de altura, bermas de 5 m de largura e ângulo de talude de 50°, com rampa de 10% de gradiente.

Com a definição do modelo da cava e do corpo mineralizado, foi possível estimar 4,22 Mt de estéril e 1,46 Mt de minério, com teor médio de 8,68 g/t de ouro e 7,68 g/t de prata, com recuperação de 12,67 t de ouro e 11,21 t de prata e uma relação estéril/minério de 2,89.

A execução do projeto, em termos de desenvolvimento das aberturas principais, para os serviços subterrâneos, foi norteada, tendo com base, dados reais de minas de subsolo, como o de Machado (2004). Com objetivo didático, foi definido o limite de lavra a céu aberto e deixado um pilar (*crown pillar*) de 15 m para a abertura da mina subterrânea. Foi sugerido, ainda, com base na observação das minas subterrâneas existentes, que o corpo mineralizado a ser lavrado em subsolo será dividido em 12 níveis de 75 m cada, separados entre si por um pilar (*sill pillar*) de 5 m. Cada nível foi dividido em subníveis de 25 m de altura vertical, piso a piso.

Pela legislação, a mina deve ter, no mínimo, duas vias de acesso principais à superfície, separadas por terreno maciço e comunicando-se entre si com as vias se-

lavradas a céu aberto, no subsolo e até em níveis e subníveis. Os referidos cálcu-

cundários, de forma que a interrupção de uma delas não afete o trânsito de pessoal pela outra.

O desenho da mina subterrânea, com o uso do aplicativo de planejamento de mina, começou com a locação de uma rampa em ziguezague, relacionada à facilidade de transporte de minério até a superfície em pequenas profundidades e à rápida geração de reservas disponíveis para a lavra, gerando receita antes das outras opções, apresentando um fluxo de caixa com maior atratividade. Essa rampa passa em cada nível o mais próximo possível do centro de massa do corpo mineralizado e está localizada na lapa, devido às condições geomecânicas favoráveis.

A rampa foi construída desde a superfície, a uma distância segura da cava, com inclinação de -12%, raio de curvatura mínimo de 20 m e seção de 5,5 m x 5,5 m em forma de abóboda (*horse shoe*), mantendo uma distância mínima de 20 m do corpo mineralizado. A rampa parte da cota 200 e atinge o nível 10 com cota -700, perfazendo um total de 7.380 m de extensão.

A partir da profundidade de 500 m, foi necessária a utilização de um poço vertical (7 m de diâmetro) para o transporte de minério até a superfície. A dificuldade de se localizar um poço vertical está ligada ao alto custo do poço, o que só é justificado, atualmente, em grandes profundidades. Tal problema foi contornado fazendo uma nova pesquisa mineral na parte mais profunda, a fim de se encontrarem reservas que justificassem, economicamente, a sua construção. Assim, a partir de 500 m abaixo da superfície, foram realizados furos de sonda inclinados. Verificou-se a continuidade do corpo em profundidade e foram calculadas as novas reservas, que justificaram a utilização do poço. O uso do poço vertical e não da rampa de acesso principal a partir de 500 m, considerando-se os caminhos que serão utilizados, está relacionado aos custos operacionais, que aumentarão com o aprofundamento das atividades mineiras.

Em prosseguimento ao desenho da mina subterrânea, foram traçadas as galerias longitudinais, a partir da rampa de acesso principal, de seção 3 m x 3,5 m e outras transversais de seção 2,5 m x 2,5 m,

los servirão para definição de vida útil e fluxo de caixa do empreendimento.

conforme a Figura 1.

Todas as galerias têm, no mínimo, 2% de inclinação, para permitir a drenagem, sendo a água escoada para *sumps*, com caixas de decantação, e posterior alimentação das instalações elevatórias (bombas hidráulicas), que recalcarão a água até a superfície, para utilização na usina de beneficiamento.

Na lateral esquerda da rampa, serão instalados os cabos especiais de energia elétrica em alta voltagem. No lado direito, teremos as tubulações de ar comprimido, água de serviços e água bombeada para a superfície. Dutos de ventilação serão instalados, tanto à direita, como à esquerda no alto. A iluminação permanente será instalada no alto no centro da rampa.

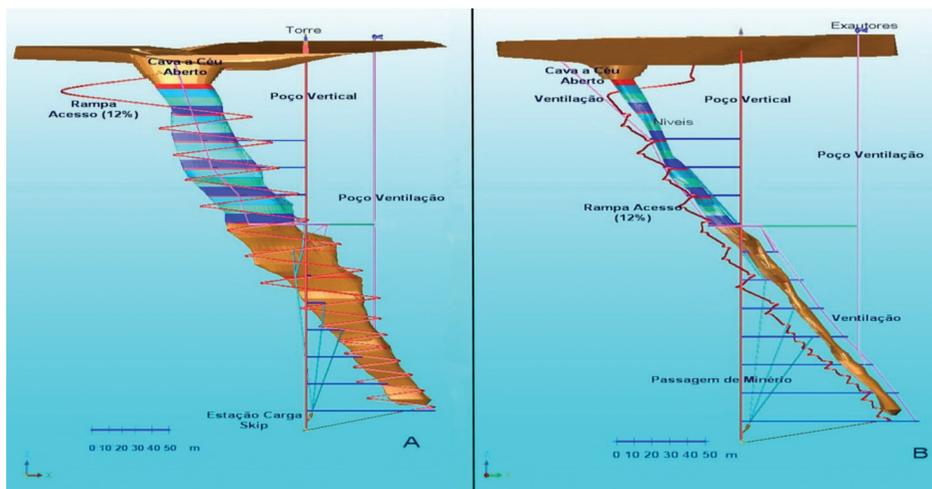
Foram abertas câmaras de refúgio de seção 4 m x 6 m, que servirão, também, de local para os lanches dos funcionários e como escritório da mina.

Foi aberta uma chaminé que será equipada para servir de acesso alternativo e saída de emergência da mina. Essa chaminé terá seção transversal de 2,6 m de diâmetro. À medida que a mina for se aprofundando, chaminés complementares, a partir da rampa ou acessos, irão sendo desenvolvidas interligando-se à rampa ou aos acessos. O sistema de ventilação principal consiste na entrada de ar puro pela rampa e saída por chaminés de ventilação abertas por *raise borer* (equipamento utilizado em minas subterrâneas para a abertura de escavações inclinadas de seção circular que ligam um nível a outro), com os exaustores em paralelo na superfície. A ventilação auxiliar é feita por ventiladores, que direcionam o ar fresco até as frentes de lavra. A chaminé de ventilação, de seção de 2,6 m de diâmetro, irá acompanhar o corpo pela encaixante.

Depois de um cuidadoso estudo dos métodos e de uma seleção por exclusão, metodologia comum em projetos de lavra subterrânea, descrita por Macedo et al. (2001), os métodos de lavra mais adequados foram Alargamento por Subníveis (*Sublevel Stopping*) e suas variações e Corte e Enchimento (*Cut and Fill*) e suas variações.

A seleção do Método de Lavra de Corte e Enchimento foi feita com base

Figura 1
Desenho da infra-estrutura da mina subterrânea com uso de ferramentas do aplicativo.
A) Vista longitudinal e
B) vista transversal do corpo mineralizado, das aberturas subterrâneas e divisão da jazida em níveis e subníveis.



nas características geométricas do corpo mineralizado, taxa de produção segundo o planejamento de lavra e características geomecânicas do maciço rochoso e analogia com operações existentes, como em Machado (2004).

Do ponto de vista da Mecânica das Rochas, o material de enchimento deve prover suporte para o alargamento ou servir como confinamento lateral para os pilares e, dessa forma, melhorar as características de deformação. Então, devido as encaixantes necessitarem de suporte adicional e, também, para se prover a plataforma de trabalho sobre a qual as tiras de minério serão perfuradas e detonadas, o preenchimento será realizado com o estéril gerado no desenvolvimento subterrâneo e parte do estéril gerado, quando se lavrava a mina a céu aberto.

O acesso ao corpo que será lavrado por esse método é realizado através de uma galeria horizontal com seção 3,5 m x 3 m. O nível 1 será lavrado (profundidade de 200 m) com base no fato de estar próximo da cava e nas propriedades *in situ* do maciço rochoso. Será desenvolvida com a lavra uma rampa ascendente com seção 3,5 m x 3 m, com inclinação de 15%, realizada no corpo mineralizado a uma distância deste, compatível com o alcance dos

4. Conclusão

O desenvolvimento de uma metodologia, usando como ferramenta um aplicativo comercial de mineração, para os serviços de desenvolvimento e lavra de mina, é muito importante, uma vez que recursos computacionais permitem uma visualização espacial do corpo mineralizado, fato que facilita o desenho das estruturas necessárias à lavra de minério e a simulação/otimização do

equipamentos, para acesso, extração e enchimento do realce. Anterior à galeria de acesso ao nível 1 (profundidade de 200 m), foi aberto um ponto de manobra para os equipamentos.

A seleção do Método de Alargamento por Subníveis com Preenchimento Posterior está relacionada ao uso de estéril e rejeito da planta metalúrgica para aumentar a recuperação de minério e a segurança. O referido método será utilizado, no nível 2, uma vez que a rocha e o minério são mais competentes (RMR maior que 60 para capa e lapa; e RMR entre 40 e 80 para o minério) e o corpo apresenta mergulho forte (maior que 45°) e uniforme.

A simulação de lavras experimentais comprovou a utilização do Método de Alargamento por Subníveis com Enchimento Posterior, nos próximos níveis, embora não tenha sido feita a exclusão do uso do Corte e Enchimento pelas condições da rocha em profundidade.

Serão desenvolvidas as chaminés de lavra (*slot raises*) interligando um subnível ao subnível superior estabelecendo a frente livre para o início do desmonte do painel por meio de perfuração ascendente de furos em forma de leques (*fans*). Nos subníveis que terão os pilares horizontais (*sill pillars*), as chaminés

projeto mineiro.

Essa metodologia de desenho de mina com uso de aplicativos de mineração é de grande valia também como instrumento didático para as disciplinas de Desenvolvimento Mineiro e Lavra Subterrânea. A execução de exercícios acadêmicos práticos, propostos por essa pesquisa, é o passo inicial para a difusão da prática de utilização das tecnologias

de lavras também serão interligadas ao subnível superior (visando a estabelecer o circuito de ventilação), porém a perfuração dos leques será planejada para que os pilares com 5 m verticais permaneçam intactos. Cada painel de lavra terá 75 m de dimensão vertical com 3 subníveis e um pilar de 5 m de espessura. Após a lavra do painel, será feito o enchimento do realce com *paste fill*.

A partir desse estudo, foi possível, ainda, definir a forma de suporte de escavação, como também os equipamentos de manuseio do minério. Os próximos passos lógicos de projeto serão a definição da vida útil e a definição do fluxo de caixa do empreendimento.

Dependendo do mapeamento geotécnico, os pilares horizontais serão tratados, antes das detonações dos leques, através de injeção de tirantes grauteados e cordoalhas de aço (*cable bolts*) instalados em furos realizados no piso do subnível acima dos mesmos, visando a aumentar a segurança dos trabalhos de limpeza do minério desmontado dentro do painel de lavra e para controle da diluição.

O carregamento do material desmontado será efetuado por carregadeiras e o transporte será feito por caminhões articulados de 30 t, que levarão o minério até a superfície.

de última geração em termos de planejamento de lavra subterrânea, de visão espacial de jazidas e modelo dos diversos serviços de desenvolvimento de uma mina subterrânea.

Embora a definição de uma metodologia de lavra e/ou a sua otimização, por meio de aplicativos para mina subterrânea, seja menos simples do que para minas a céu aberto, os recursos compu-

tacionais usados, na pesquisa, mostraram que é possível adaptar o aplicativo à configuração de mina subterrânea, mas se registra a necessidade de criação de ferramentas específicas que facilitem a aplicação a corpos em profundidade.

Os dados utilizados nas decisões a cada passo do projeto levaram em con-

ta situações reais de minas subterrâneas conhecidas e simulações importantes foram realizadas como a transição para uma mina subterrânea e decisão de aprofundamento de acesso existente ou construção de outro com geometria diferente.

A conclusão do estudo e a aplicação futura do passo-a-passo criado pelo

projeto preencherão uma lacuna e resultarão em uma melhor formação dos Engenheiros de Minas e se constituirão em um passo decisivo para o prosseguimento de uma linha de pesquisa na área de Planejamento Mineiro dentro do Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto.

5. Referências bibliográficas

- BARTON, N., LIEN, R., LUNDE, J. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. Wien, Austria, v.6, n.4, p. 189-236, 1974.
- BIENIAWSKI, Z. T. *Engineering rock mass classifications*. New York: John Wiley e Sons, 1989. p. 51-90.
- HARTMAN, H. L. *Introductory mining engineering*. (2. Ed.). New York: John Wiley e Sons, 2002. p. 324-349, p. 365-371, p. 413-432.
- HUSTRULID, W. A. *Underground mining methods handbook*. New York: SME, 1982. p. 227-482, p. 483-666, p. 872-997.
- MACEDO, A. J. B., BAZANTE, A. J., BONATES, E. J. L. Seleção do método de lavra: arte e ciência. *REM - Revista Escola de Minas*, Ouro Preto, v. 54, n. 3, p. 221-225, jul./set. 2001.
- SILVA, J. M. *Lavra de mina subterrânea*. Universidade Federal de Ouro Preto, 2009. (Notas de aula).
- MACHADO, I. C. *Turmalina Gold Project: statement of resources*. 2004. (Technical Report). Disponível em <<http://www.jaguarmining.com/i/pdf/turmalina-tech-report.pdf>> Acesso em: 14/abril/2010.

Artigo recebido em 21 de setembro de 2010. Aprovado em 28 de julho de 2011.