

GEOLOGIA DE ENGENHARIA E GEOTECNIA EM MINERAÇÃO*

Engineering Geology and Geotechnics in Mining

por

C. DINIS DA GAMA**

RESUMO — Tendo as suas origens ligadas às obras civis, a Geologia de Engenharia e a Geotecnia são ramos do conhecimento que só recentemente começaram a ser aplicados à Engenharia de Minas, carecendo ainda de metodologias próprias, mais adequadas à realidade da indústria extrativa.

Visando contribuir resumidamente para a implantação de tais metodologias, descreve-se neste trabalho as suas principais aplicações às actividades de mineração (a céu aberto e subterrânea), depois de caracterizar o ambiente desta indústria e seus principais problemas. Abordam-se aspectos essenciais ao desenvolvimento do sector, desde a formação de recursos humanos, à sugestão de metodologias e técnicas próprias, com a apresentação de tópicos para debates sobre estes assuntos.

SYNOPSIS — Due to fact that their beginnings are related to Civil Works, the fields of Engineering Geology and Geotechnics, that recently have been extensively applied to Mining Engineering, are requiring adjusted methodologies in accordance with the reality of the extractive industry.

In order to contribute for the establishment of those methodologies, geotechnical applications to mining in both surface underground operations are described, upon a review of this industry's environment and most relevant problems.

Essential aspects of Mining Engineering standing and evolution are pointed out, reaching from manpower development to the proposition of adequate methods and techniques, as far as geotechnics is concerned. Discussion topics on these problems are proposed.

INTRODUÇÃO

Em conformidade com a orientação estabelecida pela Comissão Organizadora do 4.º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, constitui objetivo do Relato Geral a elaboração de um «estado-de-arte» sobre o assunto em pauta.

Para alcançar tal objectivo, dificuldades de várias ordens estão presentes: além da complexidade do problema, a escassez de tempo e a pouca capacitação do autor, tornam a tarefa de difícil concretização.

* Relato Geral do Tema I. 4.º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. Belo Horizonte, Abril de 1984.

** Pesquisador Coordenador. Divisão de Minas e Geologia Aplicada. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo, SP.

Por outro lado, a existência de três subtemas relacionados a Mineração, abordando os setores mais importantes desta última, esvaziam de certa forma o volume de conceitos que poderiam ser abordados no Relato Geral. Contudo, tomando em devida consideração estes aspectos, procurar-se-á desenvolver uma apreciação crítica da evolução da Geologia de Engenharia e da Geotecnia e suas aplicações em Mineração, através de uma abordagem genérica, simultaneamente influenciada pelo conteúdo metodológico e pelo ambiente em que a mesma se enquadra.

Tratam-se de ciências novas, cuja origem está mais intimamente relacionada à Engenharia Civil do que à Engenharia de Minas, e só recentemente foi iniciado o processo de sua individualização por diferenciação metodológica.

Considera-se natural que a juventude deste ramo do conhecimento explique a ausência (ou a raridade) de conceitos estruturados universalmente aceitos e, por esta mesma razão, julgamos essencial recordar alguns poucos axiomas que apresentam validade incontestável.

No que diz respeito à mineração, desde o século passado que se aceitam como postulados verdadeiros, os seguintes aspectos:

- a) A segurança dos trabalhos deve ser um requisito essencial e permanente preocupação dos responsáveis pela mineração, a todos os níveis («safety first»).
- b) As atividades de lavra deverão ser conduzidas de forma a proporcionarem um benefício económico (lucro), sem afetar o princípio da segurança, e procurando sempre um equilíbrio entre estes dois aspectos.
- c) Bom aproveitamento da jazida mineral, a fim de respeitar a circunstância de ela ser um bem comunitário não renovável, que não deve ser espoliado, ou objeto de lavra ambiciosa.
- d) Minimização dos efeitos deletérios sobre o meio-ambiente, evitando todas as formas excessivas de poluição (gasosa, líquida e sólida).

A simples enumeração dos quatro princípios fundamentais da Mineração sugere a existência de numerosos pontos de discórdia entre eles, circunstância que conduz na prática à busca permanente de situações de compromisso aceitável. Alguns exemplos típicos são os seguintes:

- O aumento de segurança é habitualmente conseguido às custas de reduções no benefício económico e vice-versa.
- Geralmente a eficiência custa dinheiro, e se opõe à segurança, que por sua vez conduz a maior complexidade nas soluções adotadas.
- A solução óptima para um dado problema poderá ser equacionada de maneiras diferentes, conforme os objetivos da mineração a curto e a longo prazos; assim, ela poderá ser aquela mais económica para um certo nível de desempenho, como a mais simples que satisfaça determinados requisitos de segurança, como ainda a mais eficiente para um dado custo de produção, etc.

Além da complexa realidade que se depara ao engenheiro de minas, haverá ainda que exigir-se dele elevada dose de criatividade, destinada a conceber soluções originais para os problemas, sem nunca esquecer os objetivos práticos inerentes aos mesmos, além de grande capacidade na previsão dos desempenhos e dos custos que novos métodos ou novos equipamentos irão ocasionar, se forem implantados.

Por conseqüência, a formação de um profissional para a área de Mineração deverá ser simultaneamente profunda e diversificada, para que todos aqueles aspectos sejam familiares ao seu processo decisório. Nessa formação interviriam sólidos princípios de matemática, física e química, e suas extensões às diversas áreas de atuação, entre as quais se salienta a Geologia. Assim, a Geologia de Engenharia aplicada à Mineração, ou mais simplesmente, a Geologia de Engenharia de Minas, constituiria o elo de ligação entre a realidade geológica sempre presente na lavra mineral, e a metodologia científica inerente à Engenharia propriamente dita, formando uma interface de conhecimentos compartilhados pelo Geólogo e pelo Engenheiro, e pugnando pela utilização de uma linguagem comum, no sentido da verdadeira comunicação interdisciplinar.

É, portanto, sobre esta interface que incide o objetivo principal deste Relato procurando-se, sempre que possível, uma equidistância entre os pontos de vista do Geólogo e do Engenheiro, a fim de caracterizar, sob o signo do equilíbrio e da co-participação, a metodologia essencial da Geologia de Engenharia de Minas.

CARACTERÍSTICAS GERAIS DA INDÚSTRIA EXTRATIVA

Generalidades

A extração de matérias primas minerais da crosta terrestre constitui uma indústria do setor primário com grande importância em todos os países.

Os recursos minerais têm desempenhado ao longo da história papel relevante no poder político das nações, dada a sua influência na obtenção de elevados padrões de vida dos povos, assim como na manutenção de sua independência em relação a outros países.

Pode-se afirmar que o processo de desenvolvimento social acompanha, entre outros fatores, a maior ou menor capacitação dos povos em explorar adequadamente os recursos naturais que possuem. Tal capacitação manifesta-se não só pelo sucesso na descoberta de bens minerais existentes nos territórios ocupados, mas também pela adequação das técnicas utilizadas em produzi-los de forma econômica, segura e racional.

Sensíveis diferenças são observadas, entre países industrializados e subdesenvolvidos, nos processos utilizados para descobrir e para explorar jazidas minerais, levando a considerar este aspecto como mais um fator tendente a aumentar a distância tecnológica entre uns e outros.

TABELA 1 — Aspectos fundamentais da Mineração

- 1) *Contacto direto e permanente com ambiente geológico.*
- 2) *Mobilidade constante das frentes de trabalho.*
- 3) *Vida das obras: Relativamente curta.*
- 4) *Grande importância dos constrangimentos econômicos, muitos dos quais exôgenos.*
- 5) *Convivência com baixos fatores de segurança.*
- 6) *Condições árduas de utilização da mão-de-obra, frequentemente não especializada.*
- 7) *Interferências de aspectos sociais, legislativos e políticos na escolha de soluções operacionais.*
- 8) *Alta dependência de sistemas de transportes (no interior das Minas e para os mercados consumidores).*
- 9) *Muito influenciável pelo clima, geografia e topografia.*
- 10) *Susceptível de ocasionar problemas ecológicos.*

As citadas diferenças de atitude manifestam-se em relação a todos os aspectos relevantes da indústria extrativa, entre os quais salientam-se os constantes da TABELA 1.

Pela sua importância, no que diz respeito à escolha dos melhores processos tecnológicos para efetuar a lavra de jazidas minerais, destacam-se os fatores geológicos, os quais devem ser conhecidos com suficiente detalhe antes de serem estabelecidos os métodos de mineração. Além disso, durante a fase operacional das minas, devem prosseguir as tarefas de levantamento geológico, para que a realidade física seja suficientemente conhecida, e os trabalhos de engenharia se adaptem à mesma, objetivando a extração dos minérios de maneira otimizada, isto é, minimizando os custos de lavra dentro de condições satisfatórias de segurança.

A TABELA 2 resume os principais parâmetros geológicos de interesse à mineração e sem a posse dos quais os riscos com a adoção dos métodos de lavra são elevados.

Participação das Ciências Geotécnicas na Mineração

O recurso ao empirismo constitui ainda o principal método de trabalho na mineração. Durante anos projetaram-se instalações de lavra e tratamento de minérios com base em exemplos precedentes, circunstância que traduz, além de certa descrença nas soluções inovadoras de engenharia, uma relativa falta de imaginação na procura do melhor método de lavra para cada jazida mineral. Por outro lado, uma vez implantado

numa mina determinado processo de mineração, jamais se poderia avaliar as suas vantagens ou desvantagens em relação a processos alternativos que fossem implantados na mesma jazida. Desta maneira, muitas minas operaram mal ou fecharam em decorrência de perpetuação de erros conceituais e de projeto, atribuindo-se freqüentemente as culpas a outros fatores, geralmente os exógenos à mineração (mercados, política, etc.).

Felizmente, constata-se que a moderna tendência da Engenharia de Minas está progressivamente abandonando os critérios de empirismo e partindo para uma visão racional dos problemas, ou seja, procurando soluções de engenharia ajustadas («tailor-made») para os mesmos, nas quais são devidamente equacionados os aspectos geológicos, geomecânicos, técnicos, operacionais, económicos e de segurança.

Para que tal enfoque seja funcional é indispensável que a mineração recorra às ciências afins, solicitando-lhes os «inputs» necessários à tomada de decisões acertadas. Neste particular, a Geologia de Engenharia e a Mecânica de Rochas constituem ramos essenciais à racionalização dos projetos de mineração, especialmente no que diz respeito à busca de soluções mais realísticas e mais seguras sobre a estabilidade das escavações de lavra, sejam a céu aberto ou subterrâneas. Estas ciências também contribuem decisivamente para a quantificação dos projetos, na medida em que podem efetuar o dimensionamento dessas escavações para diversas combinações entre a

TABELA 2 — *Factores geológicos afectando a Mineração*

- 1) *Tipo, forma geométrica e dimensões da jazida a minerar.*
- 2) *Natureza e espessura do capeamento.*
- 3) *Quantidade de água existente na jazida e nas suas proximidades.*
- 4) *Distribuição espacial dos teores do minério e suas relações com a seqüência de atividades extrativas.*
- 5) *Propriedades mecânicas das rochas encaixantes ao minério.*
- 6) *Presença de discontinuidades no maciço rochoso da mina, capazes de afetar os métodos de lavra e a estabilidade das escavações.*
- 7) *Dureza e abrasividade das rochas e minérios a serem desmontados, e suas influências na diluição do minério.*
- 8) *Propriedades específicas dos minérios extraídos (aptidão à combustão espontânea, degradação de características com o tempo e com a exposição aos agentes atmosféricos, etc.).*
- 9) *Características dos materiais constituintes dos estéreis e dos rejeitos.*
- 10) *Ocorrência de efeitos tectônicos locais ou regionais sobre os trabalhos de mineração.*

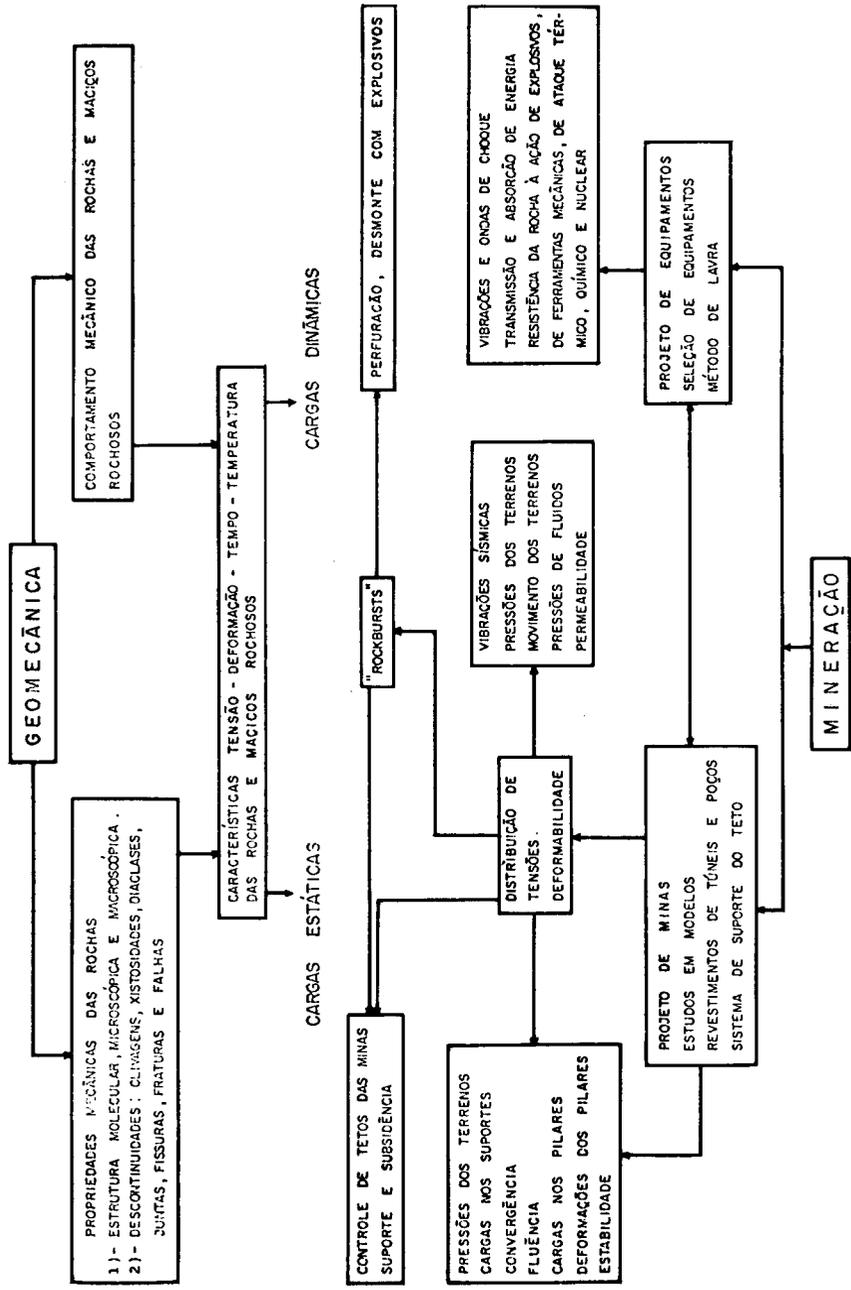
segurança e o respectivo custo, possibilitando assim a seleção da melhor alternativa de projeto. Além disso, a Geologia de Engenharia e a Mecânica de Rochas permitem o emprego de metodologias e técnicas essenciais à manutenção da estabilidade das escavações durante a vida útil dos empreendimentos, contribuindo portanto para a otimização dos projetos, na medida em que podem garantir o equilíbrio contínuo entre os aspectos de segurança e de economia, incorporando sempre que possível as inovações tecnológicas do setor. Em linhas gerais, por consequência, o papel da Geologia de Engenharia e da Geotecnia na Mineração está coerente com a necessidade de adoção de melhores soluções de projeto e com a manutenção da estabilidade das escavações minerais.

A TABELA seguinte ilustra exemplos de interdependência entre a mineração e a geotecnia, constituindo áreas de concentração de conhecimentos com grande interesse técnico.

Do ponto de vista metodológico, as relações entre a mineração e as ciências geotécnicas (mecânica dos solos e das rochas, e geologia de engenharia) têm sido analisadas por vários autores. No que diz respeito às suas aplicações à mineração, salienta-se a contribuição de Roberts (1981) que resumiu sob a forma de fluxograma o citado relacionamento, conforme esquematiza a Fig. 1.

TABELA 3 — Problemas típicos de Mineração relacionados com Geologia de Engenharia

- 1) *Métodos de caracterização dos maciços rochosos para fins de projeto de engenharia.*
- 2) *Identificação do tipo e regime de fluxo de águas subterrâneas.*
- 3) *Análise dos sistemas de descontinuidades dos maciços rochosos, quanto aos tipos, atitudes, espaçamentos, extensões, rugosidades, preenchimentos, etc.*
- 4) *Determinação das propriedades das rochas que afetam as operações de perfuração e de desmonte, visando contribuir para a otimização das técnicas de escavação em rocha.*
- 5) *Desenvolvimento de processos de mapeamento geotécnico com aplicabilidade nos projetos de mineração e em particular na seleção dos métodos de lavra.*
- 6) *Criação de bases de dados geotécnicos de jazidas minerais.*
- 7) *Solução dos problemas de instabilidade das escavações por utilização de suportes artificiais ou modificações na geometria das cavidades.*
- 8) *Conservação e otimização da extração de jazidas minerais de uma dada região ou país.*



Observa-se que os projetos de minas (a céu aberto ou subterrâneas) devem ser baseados em informações confiáveis a respeito das propriedades mecânicas das rochas e dos maciços rochosos, propriedades essas que refletem as respostas dos maciços às solicitações estáticas e dinâmicas provenientes das operações unitárias da lavra e das formas geométricas assumidas pelas escavações necessárias à extração dos minérios. Torna-se, portanto, essencial conhecer as relações constitutivas dos maciços rochosos, isto é, as suas características tensão-deformação-tempo-temperatura.

Como tais características são muito complexas, variando de ponto para ponto das minas, e muitas vezes só evidenciam seus comportamentos depois de abertas as cavidades, existe sempre uma margem de desconhecimento ou incerteza que tornam os projetos suscetíveis da ocorrência de imprevistos e por vezes de acidentes fatais.

Os riscos assim presentes em todas as minerações deverão ser combatidos por meio de programas de levantamento de dados, e estes devidamente incorporados nos modelos geomecânicos desenvolvidos para apoio dos estudos de análise e dimensionamento dos projetos de lavra.

Esta filosofia é muitas vezes designada por «programa de redução de riscos», constituindo uma tarefa permanente na mineração, desde a fase de planejamento, passando pelo desenvolvimento até à operação das minas. Dunham et al (1977) esquematizaram tal programa e suas correlações com os constrangimentos geológico-geotécnicos, no fluxograma da Fig. 2, onde é possível ressaltar o fluxo de informações em circuito fechado, característico de um processo contínuo.

É interessante constatar que o referido fluxo de informações é, em essência, equivalente ao que se utiliza habitualmente nos projetos de engenharia civil com elevada dependência dos parâmetros geotécnicos (casos de rodovias, ferrovias, barragens, túneis, etc.). Klaus John (1978) sintetizou de maneira clara e didática as múltiplas relações entre as fases de um projeto de engenharia, conforme ilustra a Fig. 3. A principal diferença a apontar relativamente ao que é comum na mineração reside nas fases de contratação e de construção, que seriam substituídas pela análise de viabilidade e pela decisão de iniciar os trabalhos de lavra. Note-se ainda que em sentido oposto ao fluxo de informações ocorre um «feed-back», correspondente à influência que cada fase do projeto tem sobre a antecedente, após os respectivos resultados serem processados.

Desta forma, por sucessivas passagens nas diversas etapas do processo, é alcançado um estágio satisfatório de conhecimentos (compatível com os investimentos efetuados) que conduz à elaboração do projeto com um nível de detalhamento considerado suficiente.

Esta filosofia, que é habitual nos grandes projetos de construção pesada, ainda não é utilizada rotineiramente na mineração, a não ser em projetos de grande destaque (caso do complexo mineiro de Selby, na Inglaterra, por exemplo).

Assinala-se, portanto, que na mineração existe um vasto campo de melhoria dos

ETAPAS DO PROJETO DE MINAS

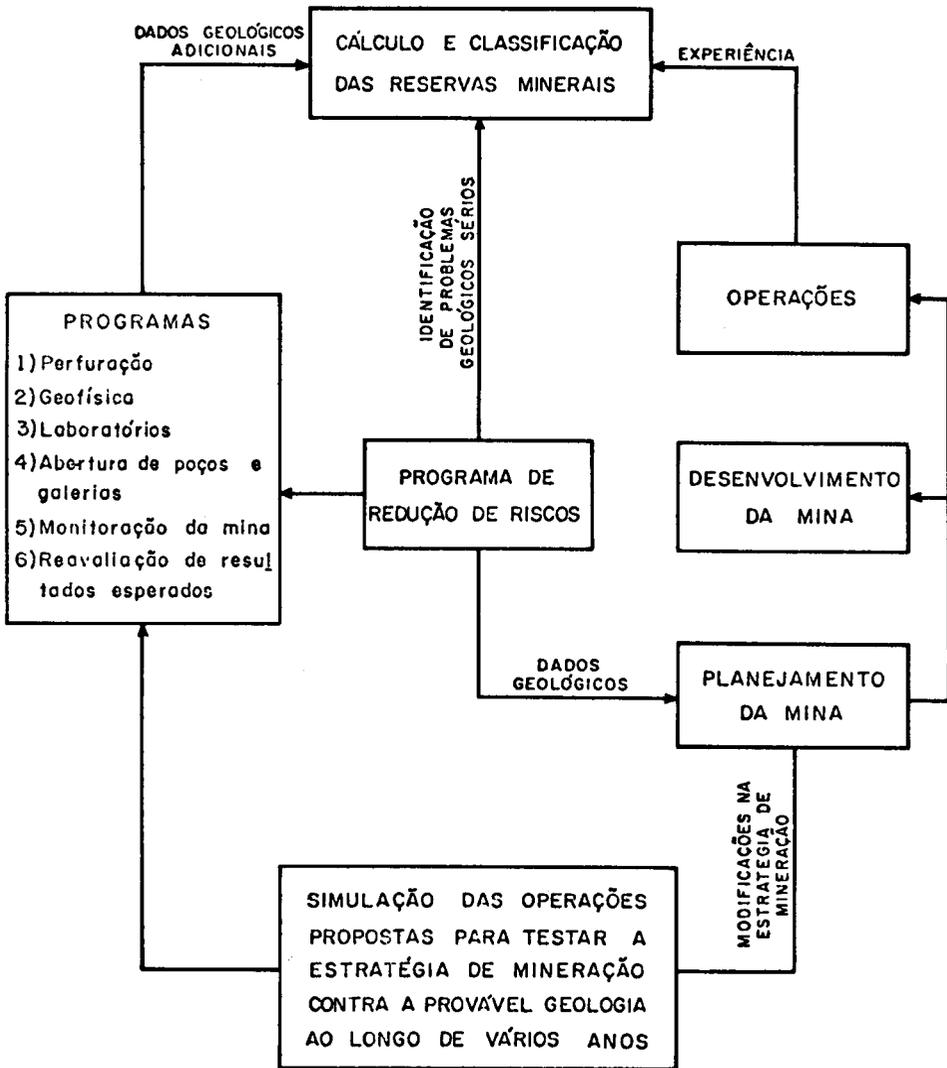


Fig. 2

O SISTEMA GEOTÉCNICO

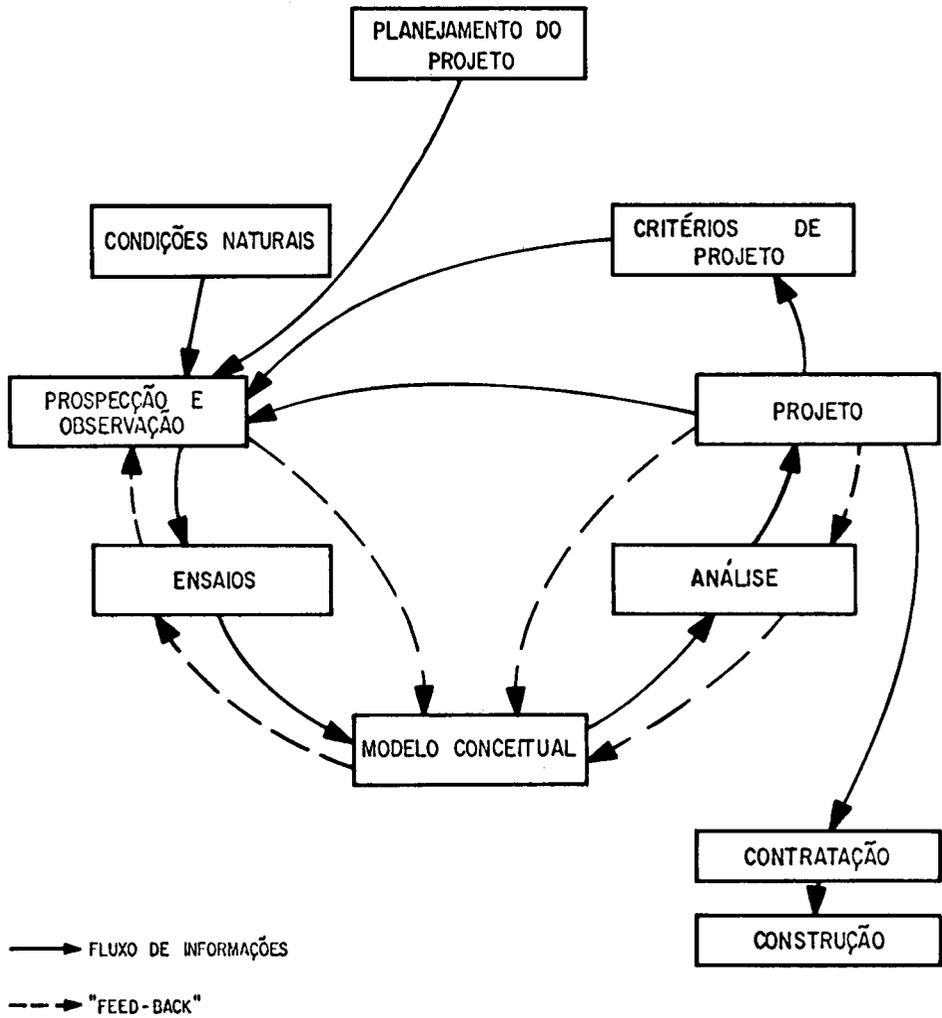


Fig. 3

projetos, no que diz respeito aos aspectos geotécnicos, o qual ainda não entrou na rotina dos procedimentos do setor.

Em geral, são atribuídos maiores pesos aos estudos relativos à parte econômica dos projetos (mineralização, teor do minério, reservas etc.) do que aos fatores geotécnicos. Se a curto prazo tal distinção é compreensível, porque sem minério não se justifica a abertura de minas, a longo prazo a ausência de critérios geotécnicos de dimensionamento e de suporte das escavações pode inviabilizar o empreendimento. Nalguns casos, a falta de critérios geotécnicos no planejamento das escavações iniciais das minas conduz à adoção de soluções erradas que podem comprometer não só a segurança das cavidades, mas a própria economicidade da lavra, por exigirem dispendios exagerados com trabalhos de estabilização das escavações.

Nestas condições, a aplicação oportuna de métodos geotécnicos é recomendável em todas as fases dos empreendimentos mineiros.

APLICAÇÕES DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA NA MINERAÇÃO

Em função das diferenças de métodos e técnicas praticados nos dois tipos de lavra utilizados na indústria extrativa, as correspondentes aplicações de Geologia de Engenharia e Geotecnia serão descritas em separado.

Lavra a céu aberto

Produzindo à escala mundial cerca de 2/3 da tonelagem total minerada, e aproximadamente 97% no caso do Brasil, a lavra a céu aberto constitui a forma preferencial de acesso aos minérios a serem extraídos. Razões de segurança (cerca de um terço dos acidentes de trabalho que se verificam na lavra subterrânea), de economia (com custos de produção sensivelmente menores) e de tempo (maior rapidez de entrada em produção) justificam a preferência geral pelos métodos superficiais de mineração.

No entanto, jazidas profundas, mineralizações disseminadas, problemas ecológicos sérios, etc., podem conduzir à adoção de lavra subterrânea em muitos empreendimentos de mineração. Também a exaustão de numerosas minas a céu aberto, ou o fato de atingirem a sua profundidade máxima de exploração econômica, explicam a abertura de novas minas subterrâneas em quantidade crescente.

Ambos os métodos exigem «inputs» de Geologia de Engenharia e Geotecnia para serem projetados e operados satisfatoriamente. Na lavra a céu aberto a aplicabilidade destas ciências estende-se desde os levantamentos de dados até às técnicas de observação e instrumentação dos maciços rochosos, com participação nos projetos parciais e globais de mineração.

Uma relação de atividades do setor foi descrita por GAMA (1978), apresentando-se resumida na Fig. 4.

Nesta relação, as atividades foram divididas em três grupos correspondentes às principais fases de desenvolvimento dos empreendimentos mineiros: o estudo preliminar de viabilidade, a análise detalhada de viabilidade e a etapa de produção. É enfatizada a vantagem de proceder a estudos geotécnicos desde o início dos projetos, acompanhando as tarefas de prospecção geológica tradicionais, não só por razões de economia (visto ser mais dispendioso efetuar aqueles estudos isoladamente, como a execução de sondagens especiais, do que levantar os dados geotécnicos ao mesmo tempo que os geológicos), mas também por começar-se bem cedo a formular o modelo geomecânico da jazida para desenvolver o projeto de maneira racional e eficaz.

Na mineração a céu aberto, a principal estrutura a merecer as atenções dos técnicos é constituída pelos taludes, que geralmente são escavados em rocha. O objetivo primordial consiste em estabelecer uma inclinação geral dos taludes que seja um compromisso ótimo entre a necessidade de os manter estáveis durante a vida útil da mina (fato que leva a diminuir o seu ângulo de inclinação) e ao mesmo tempo de minimizar o volume de escavação de material estéril (implicando o maior ângulo possível de talude). Tal antagonismo deve ser quantificado com todos os dados disponíveis, conforme resume a Fig. 5, devida ao CANMET, e as respectivas implicações econômicas deverão constituir informações essenciais à tomada de decisão sobre o ângulo ótimo do talude.

Os constrangimentos econômicos são predominantes na seleção dessa solução básica para a lavra a céu aberto. Entre eles, destacam-se os custos de remoção de estéril, o de lavra e transporte do minério e o de beneficiamento; por outro lado, existe o preço de venda do produto e a taxa de recuperação característica da substância mineral extraída.

Outros tipos de constrangimentos são: a topografia da superfície da mina, a forma geométrica da jazida, a distribuição espacial da mineralização e os ângulos de taludes que poderão ser praticados na escavação.

Para reunir todos estes fatores e possibilitar os estudos de otimização é usual definir a *função lucro* da lavra, que se traduz pela diferença entre as vendas e os custos de produção. Em valores unitários (por m³ de minério extraído) esse lucro é fornecido pela expressão: (*)

* A função lucro pode ser também estabelecida em valores anuais, calculando-se o lucro atualizado, com determinada taxa de juro de capital. Porém, as definições são idênticas às obtidas a partir dos valores médios acima indicados.

MINERAÇÃO A CÉU ABERTO

FASES DO PROJETO	ATIVIDADES DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA
<p style="text-align: center;">PLANEJAMENTO BÁSICO</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Velocidades de perfuração e durezas das litologias atravessadas pelas sondagens. 2) Detecção de perdas de fluido de circulação. 3) Determinação de graus de alteração dos testemunhos de sondagens. 4) Coleta de testemunhos para realização de ensaios de Mecânica de Rochas. 5) Caracterização de descontinuidades geológicas. 6) Execução de diagrfias geofísicas nos furos. 7) Instalação de piezômetros.
<p style="text-align: center;">PLANEJAMENTO DETALHADO</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Caracterização mecânica dos terrenos. 2) Formulação de modelo geomecânico do maciço da mina. 3) Determinação da influência da água. 4) Escolha de equipamentos de perfuração e da técnica de desmonte. 5) Dados para a seleção do sistema de transporte. 6) Análise da estabilidade de taludes. 7) Projeto de bota-foras e/ou barragens de rejeitos.
<p style="text-align: center;">FASE OPERACIONAL</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Mapeamento estrutural acompanhando o avanço da escavação. 2) Caracterização mecânica das frentes de trabalho. 3) Estabilização de taludes. 4) Instrumentação e observação dos taludes. 5) Projeto de estradas de rodagem na mina.

Fig. 4

$$L = v \cdot T \cdot r - C_m - R \cdot C_e - C_b$$

onde:

- v é o preço de venda de uma unidade de metal ou substância extraída;
- T é o teor médio expresso em unidades de substância extraída por m³ de minério;
- r é a taxa de recuperação em substância vendável;
- C_m é o custo de mineração de 1 m³ de minério;
- C_e é o custo de remoção de 1 m³ de estéril;
- C_b é o custo de beneficiamento por m³ de minério tratado;
- R é a relação estéril/minério média do «pit».

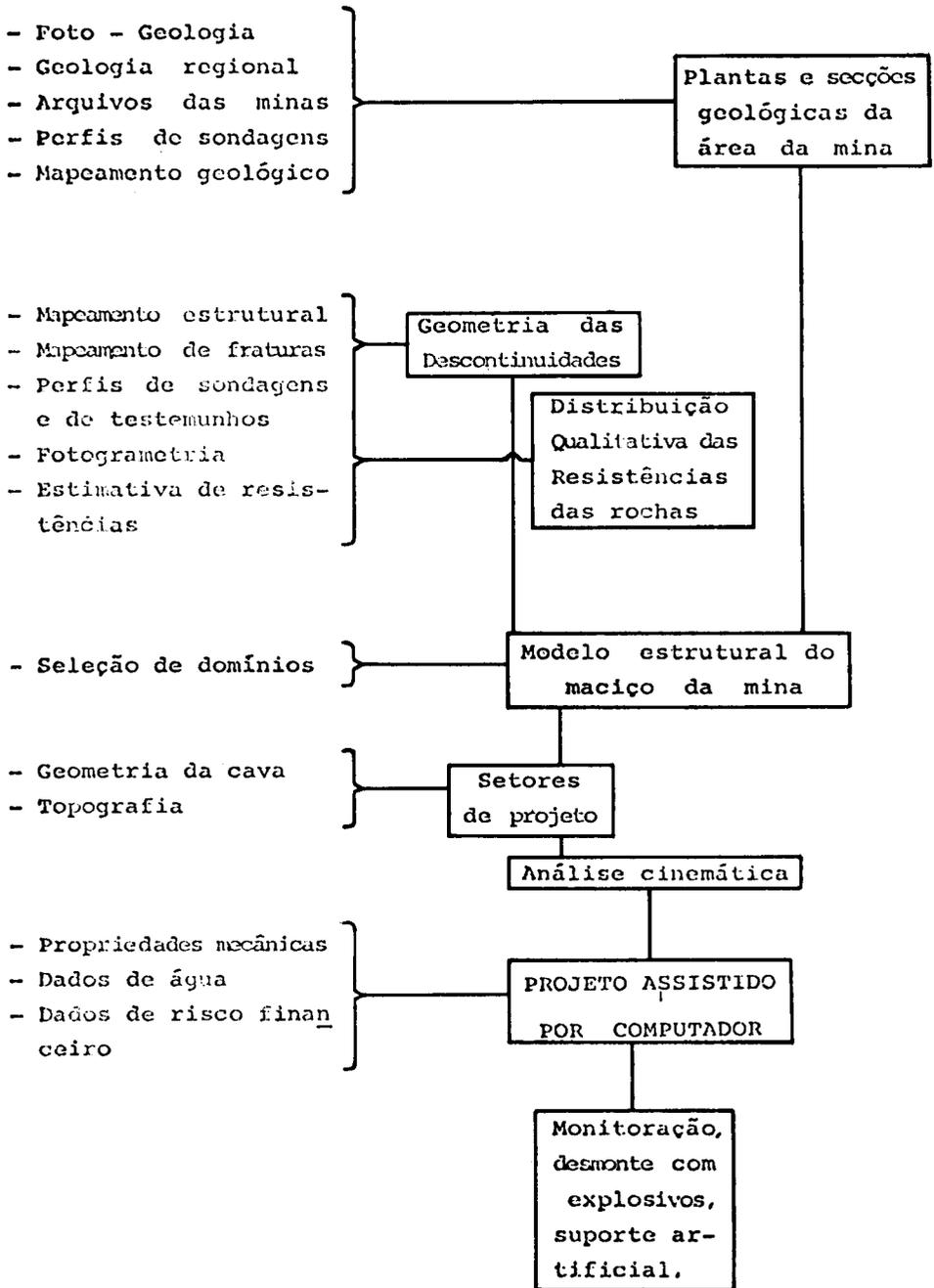


Fig. 5

É evidente que quanto maior for o teor médio, ou o preço de venda e a taxa de recuperação, maior será o lucro previsível, com a lavra, e maior poderá ser a relação estéril/minério. Também se assinala que a interferência da Mecânica de Rochas se processa até R, visto que as quantidades removidas de estéril e de minério dependem essencialmente dos ângulos de taludes da mina.

Partindo da definição da função lucro, pode-se estabelecer limites de funcionamento das minas a céu aberto, através dos valores mínimo e máximo desse mesmo lucro.

Para que o empreendimento seja rentável é necessário que na venda de cada unidade de substância útil ou de metal exista um lucro mínimo L_{\min} , o qual deve ser sempre maior do que o lucro esperado em lavra subterrânea que fosse efetuada na mesma jazida. Partindo desse valor mínimo, define-se a relação estéril/minério admissível:

$$R_{\text{ad}} = \frac{V \text{ Tr} - C_m - C_b - L_{\min}}{C_e}$$

que indica a maior quantidade de estéril, que em média pode ser extraída por m^3 de minério, para que o empreendimento seja lucrativo.

O valor máximo do lucro é influenciado pela relação entre os custos de produção e o preço de venda e, principalmente, pela minimização da relação estéril/minério. Esta última é controlada pela estabilidade dos taludes da mina e nunca deve ser menor do que a correspondente a uma situação de equilíbrio limite (caso em que o fator de segurança se iguale à unidade). Assim, teremos uma relação estéril/minério mínima fornecida por:

$$R_{\min} = \frac{V \text{ Tr} - C_m - C_b - L_{\max}}{C_e}$$

ou inversamente o lucro máximo de:

$$L_{\max} = v \text{ Tr} - C_m - C_b - R_{\min} C_e$$

ambas controladas pela estabilidade dos taludes na lavra a céu aberto.

A mineração geralmente deve ser empreendida com um lucro unitário L, tal que:

$$L_{\min} < L < L_{\max}$$

correspondendo-lhe relação estéril/minério R no intervalo:

$$R_{\min} < R < R_{\max}$$

e ambas relacionadas com um fator de segurança nos taludes:

$$F_s > 1$$

Em circunstâncias particulares pode-se operar as minas com lucros inferiores ao mínimo; contudo, é importante conhecer a variação real destas grandezas, para evitar que se obtenha prejuízo na mineração. Assim, é conveniente definir dois parâmetros fundamentais da lavra, ambos correspondentes a uma situação de lucro nulo. São eles, o teor de corte e a relação estéril/minério máxima.

O primeiro define-se com o mínimo teor do minério que separa operações rentáveis de operações com prejuízo, e é dado por:

$$T_o = \frac{C_m + C_b + R C_e}{v r}$$

onde R representa a relação estéril/minério média operacional. O teor de corte é um parâmetro muito utilizado nos estudos de viabilidade em mineração.

A segunda, obviamente, é fornecida por:

$$R_{\max} = \frac{v T r - C_m - C_b}{C_e}$$

em que T é o teor médio do minério extraído em determinado período de vida da mina.

De todos estes conceitos, que nem sempre são claramente definidos em mineração, pode-se raciocinar em termos de otimização da lavra, entrando em linha de conta com o antagonismo existente entre economia e segurança.

Através dessas colocações, fica claramente caracterizada a grande importância da estabilidade dos taludes na lucratividade das lavras, visto que ela contribui para fixar o valor máximo do lucro unitário passível de ser obtido na mineração a céu aberto.

A Fig. 6 ilustra esquematicamente as relações existentes entre a segurança, a geometria da mina e a economia do sistema de mineração, nela se identificando a faixa de trabalho normal, entre o lucro mínimo e o máximo.

Na prática, estes conceitos têm significado dinâmico, visto que qualquer modificação nos parâmetros do projeto (por exemplo, na recuperação do minério, ou mesmo

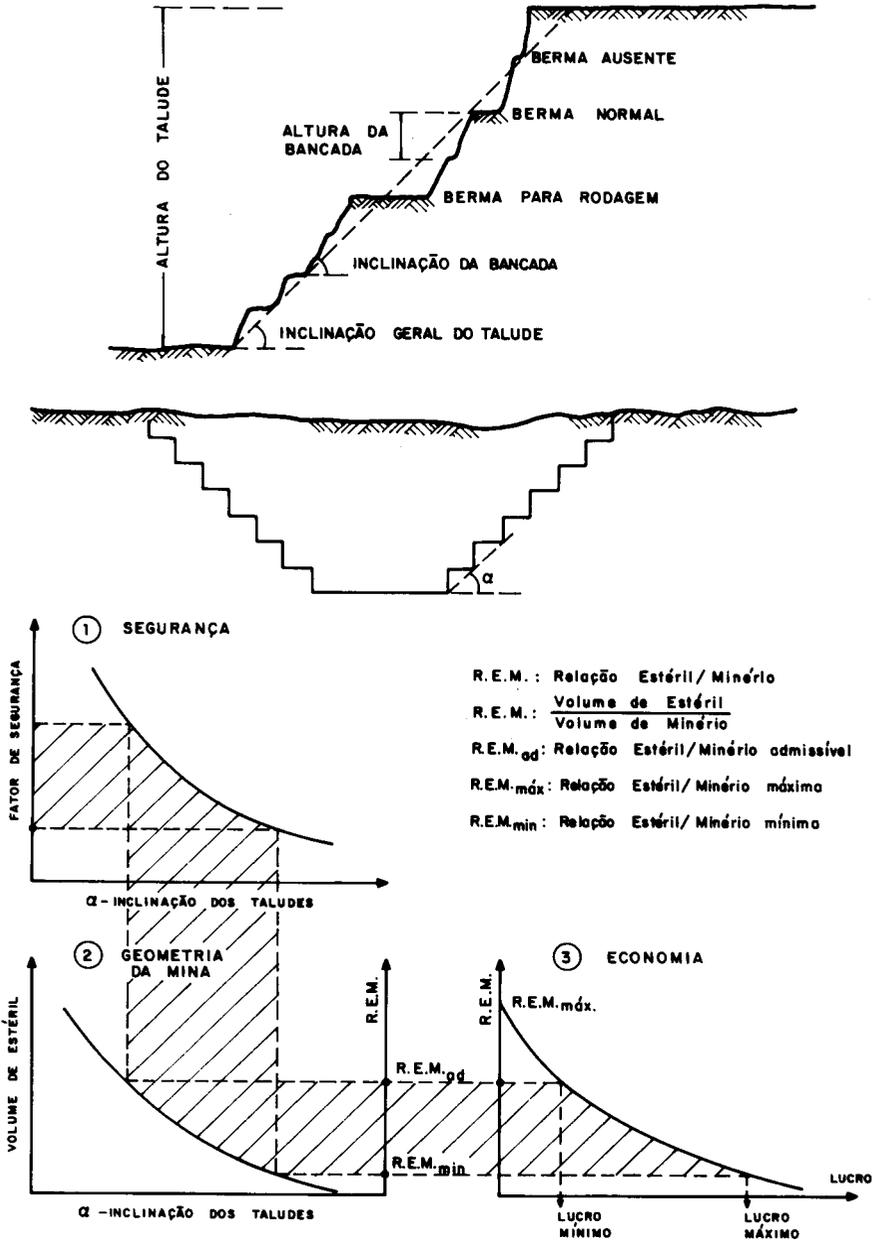


Fig. 6

a ocorrência da instabilidade nos taludes) vai afetar a lucratividade do empreendimento. Para que esta última não seja diminuída, diversas soluções são possíveis, bastando equacionar devidamente a função lucro. Verifica-se assim que certos parâmetros podem ser modificados durante intervalos de tempo específicos, com o objetivo de manter as operações lucrativas; portanto, em fases distintas da vida de uma mina, soluções diferentes podem ser adotadas para se atingir aquele mesmo objetivo.

Daí a necessidade de estabelecer um modelo dinâmico adequado às peculiaridades de cada mineração, e proceder constantemente a estudos de otimização, que por sua vez conduzem a novas formas de operar as minas, dessa maneira tornando a mineração moderna um sistema altamente sofisticado e pleno de desafios tecnológicos.

Neste contexto, o papel dos métodos computacionais é de grande relevância, dada a sua resposta rápida e precisa às questões colocadas pela contínua busca de otimização na atividade das minas.

Um setor de enorme importância econômica e de segurança é, portanto, o de estabilidade dos taludes, como ficou demonstrado, exigindo conseqüentemente a formulação de métodos computacionais adequados às necessidades da engenharia de minas contemporânea. Também a aplicação de metodologias geotécnicas adequadas é essencial ao bom desempenho das minas a longo prazo constituindo, por conseqüência, um fator primordial para o sucesso das operações.

Em termos de projeto, existem necessidades de integração de dados de vários tipos e a tendência atual consiste em proceder ao seu tratamento por métodos probabilísticos, em substituição aos clássicos processos determinísticos. Tal tendência permite tratar apropriadamente as questões de variabilidade e de incerteza contidas nos dados, ao mesmo tempo que viabilizam a seleção de taludes ótimos, às custas de incorporação do risco (ou probabilidade de ruptura) no dimensionamento dos taludes de minas.

Uma forma de proceder a este dimensionamento consiste, de acordo com a fluxograma da Fig. 7, em dividir o estudo em três fases:

- 1) Elaboração de modelo geomecânico do talude (constituído por sete etapas).
- 2) Tratamento computacional probabilístico (duas etapas)
- 3) Determinação do talude ótimo.

As sucessivas etapas deste processo deverão ser desempenhadas por equipes multidisciplinares, compostas por engenheiros de minas, geólogos, geomatemáticos, e especialistas de Mecânica de Rochas e Geologia de Engenharia. O entendimento entre os profissionais é conseguido a partir do uso de linguagem comum, para a qual pode contribuir certamente a criação de metodologias próprias da Geologia de Engenharia.

Como até à data tais metodologias são incipientes ou até inexistentes, existe um vasto caminho a ser percorrido pelos técnicos da especialidade no sentido de dotarem este ramo do conhecimento de conceituações relevantes e duradouras.

1 - ELABORAÇÃO DE MODELO GEOMECÂNICO DO TALUDE

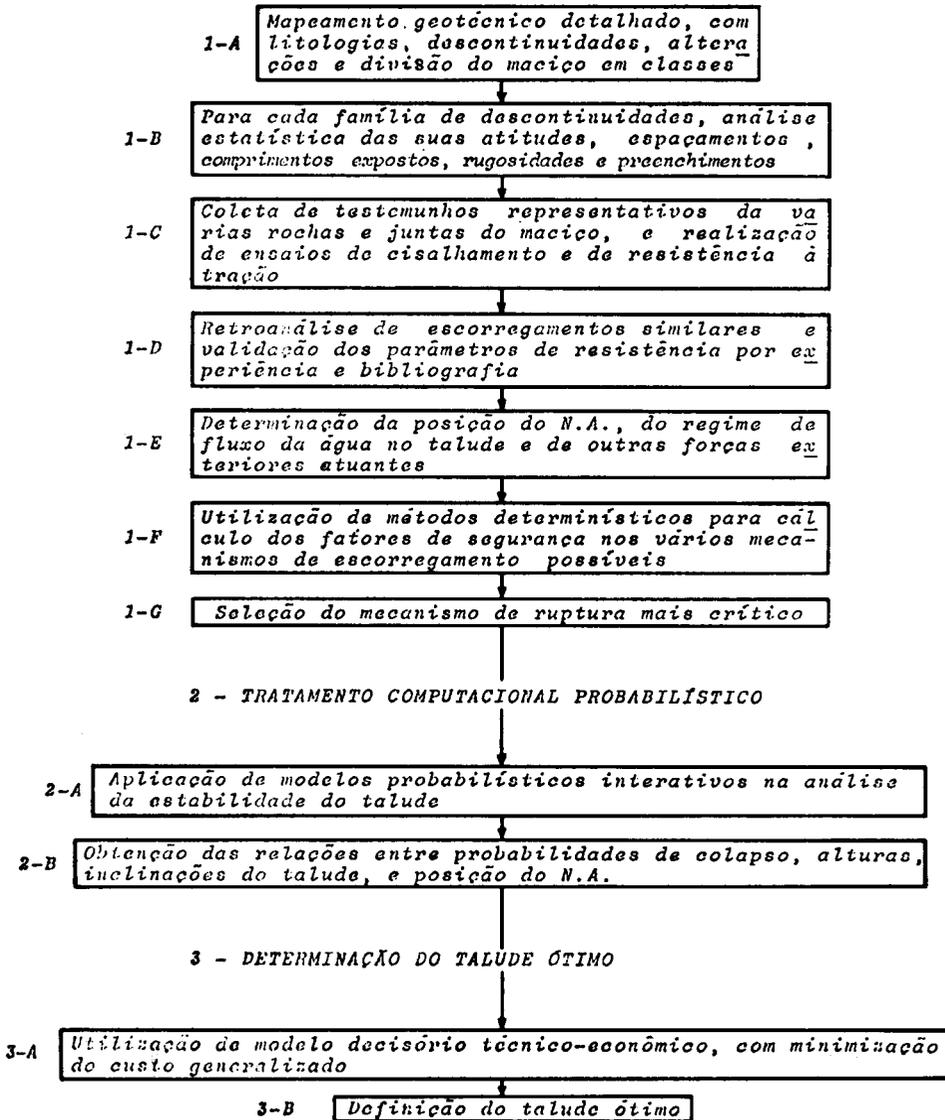


Fig. 7

Lavra subterrânea

Se a mineração a céu aberto possui menos conceitos metodológicos estabelecidos que a Geologia Aplicada à Engenharia Civil, a lavra subterrânea se apresenta ainda mais despojada dos mesmos.

O importante livro de texto de Attewell e Farmer «Principles of Engineering Geology» editado em 1976, apesar de possuir mais de mil páginas, não dedica qualquer capítulo à mineração e não faz referências à lavra subterrânea. Atribui-se tal circunstância ao fato de as aplicações a obras civis (túneis, por exemplo) serem mais relevantes, envolvendo investimentos de vulto, e assim demandando maior participação dos especialistas de Geologia de Engenharia.

Por outro lado, a mineração continua escavando cavidades subterrâneas a um ritmo bem superior ao das obras civis, seja em trabalhos com desenvolvimento linear (tipo galerias), ou com desenvolvimento em área (tipo câmaras). O porte destas escavações, os limitados recursos postos à disposição para elas, a sua vida limitada e, principalmente, o recurso sistemático ao empirismo, tornam difíceis as participações da Geotecnia e da Geologia de Engenharia neste setor.

Excetuando-se alguns exemplos pontuais de aplicação circunscrita, mais de caráter «curativo» do que «preventivo», aquelas participações no Brasil nem costumam fazer parte das metodologias utilizadas pelas empresas e pelos projetistas de minas subterrâneas.

Consequentemente, a tentativa de elaboração de uma avaliação sobre o estado atual dos conhecimentos, depara com dificuldades consideráveis, que serão contornadas com recurso às contribuições da bibliografia internacional, com especial relevo para aquelas relacionadas ao conteúdo metodológico.

Assim, Deere (1974) tendo em vista essencialmente a construção de túneis rodoviários, ferroviários e metroviários, resumiu as atividades de Geologia de Engenharia nos diversos estágios de evolução dos projetos. A Fig.8 resume tais conceitos em três aspectos notáveis: estudos exploratórios para o projeto, apresentação adequada dos dados e controle da estabilidade das frentes de escavação.

Todos estes aspectos, bem como os respectivos detalhamentos que constam da Fig. 8, podem ser considerados indispensáveis a um bom projeto de mineração subterrânea e por tal razão são aqui apresentados.

Com um teor mais particular, relativo aos projetos que se desenvolvem nas proximidades de zonas urbanas, é apresentado na Fig. 9 um fluxograma devido a Bergman e Morfeldt (1974) que ilustra a seqüência lógica de atividades gerais destinadas à escolha de alternativas de ação sobre o desenvolvimento de obras de escavação subterrânea, para a construção de metrô.

Não é descabido considerar necessárias as mesmas fases do processo decisório

- USO DA GEOLOGIA DE ENGENHARIA NA ESCAVAÇÃO SUBTERRÂNEA**
- 1) Planejamento e seleção do traçado
 - 2) Projeto preliminar e projeto final
 - 3) Concorrência
 - 4) Construção
- ATIVIDADES**
- 1) Estudos exploratórios para o projeto
 - Mapeamento de campo
 - Prospecção geofísica
 - Sondagens estratigráficas
 - Sondagens ao longo do eixo da escavação
 - a) Número de sondagens
 - b) Tipo de sondagens
 - c) Dados sobre água subterrânea
 - d) Orientação das estruturas geológicas
 - e) Descrição das sondagens e perfis
 - 2) Apresentação dos dados
 - Perfis de sondagens para os documentos do contrato
 - Perfis geológicos
 - Relatório geotécnico
 - 3) Controle de estabilidade das frentes de escavação
 - Sequência das operações de escavação
 - Processos de suporte
 - a) Cambotas de aço e madeiramento
 - b) Tirantes
 - c) Concreto projetado
 - Máquinas de grande diâmetro
 - Instrumentação e observação permanente

Fig. 8

quando se equaciona o projeto de uma nova mina situada naquelas circunstâncias de vizinhança, havendo o cuidado de promover as adaptações cabíveis.

A contribuição de Duvall (1976) é preferencialmente orientada para a mineração subterrânea e pela sua importância apresenta-se resumida na tabela que constitui a Fig. 10 em anexo.

Dividindo em nove fases as atividades exigidas por um bom projeto de escavação subterrânea, o referido autor discrimina as principais tarefas contidas em cada atividade, oferecendo assim uma excelente contribuição para a implantação de roteiros metodológicos, não só envolvendo conceitos de Geologia de Engenharia, mas também de Mecânica de Rochas e de Instrumentação.

Realça-se o item de classificação das rochas para fins de projeto, em que são enumerados os grupos mais característicos, em função das técnicas de projeto, sob o ponto de vista do seu embasamento teórico, dando origem ao projeto teórico (item 8) visando o seu dimensionamento em termos quantitativos.

Aspectos notáveis a considerar são também os critérios de ruptura das rochas e a seleção de fatores de segurança para os projetos.

Finalmente, Duvall (1976) ressalta a fase de avaliação no campo da estabilidade das aberturas subterrâneas, enumerando diversos sistemas de instrumentação destinados à monitoração dos trabalhos.

A intervenção da Geotecnia e da Geologia de Engenharia é, por consequência, sugerida sob múltiplas formas e em várias etapas da vida dos projetos de lavra subterrânea, dependendo da sua maior ou menor complexidade e do recurso a critérios de projeto verdadeiramente racionais.

Tal participação deve ser compatível com a dinâmica que caracteriza presentemente a mineração subterrânea, a qual, segundo Heuzé (1978) pode ser dividida em quatro fases:

- Projeto preliminar
- Escavação inicial
- Formulação de modelos
- Otimização

Na Fig. 11 é apresentado o correspondente fluxograma conceitual, onde se propõe uma aplicação da Geotecnia em proporções variáveis (no que diz respeito ao seu conteúdo experimental e teórico) porém acompanhando em simultâneo os trabalhos de engenharia necessários à concretização do projeto.

Assinala-se que os mesmos métodos geotécnicos podem aparecer em mais de uma fase do processo e a sua aplicação segue um critério lógico, que pode ser denominado «design-as-you-go», ou seja, o conhecido método observacional.

Obviamente que apenas as fases 3 e 4 são recomendadas para os trabalhos geotécnicos a desenvolver em minas já operacionais.

Assim, com o recurso a exemplos de contribuição metodológica da Geotecnia e da Geologia de Engenharia, para apoio à mineração subterrânea, considera-se ser viável a transição segura dos métodos empíricos tradicionais, para uma verdadeira fase de engenharia de minas, que constitui anseio dos especialistas do setor.

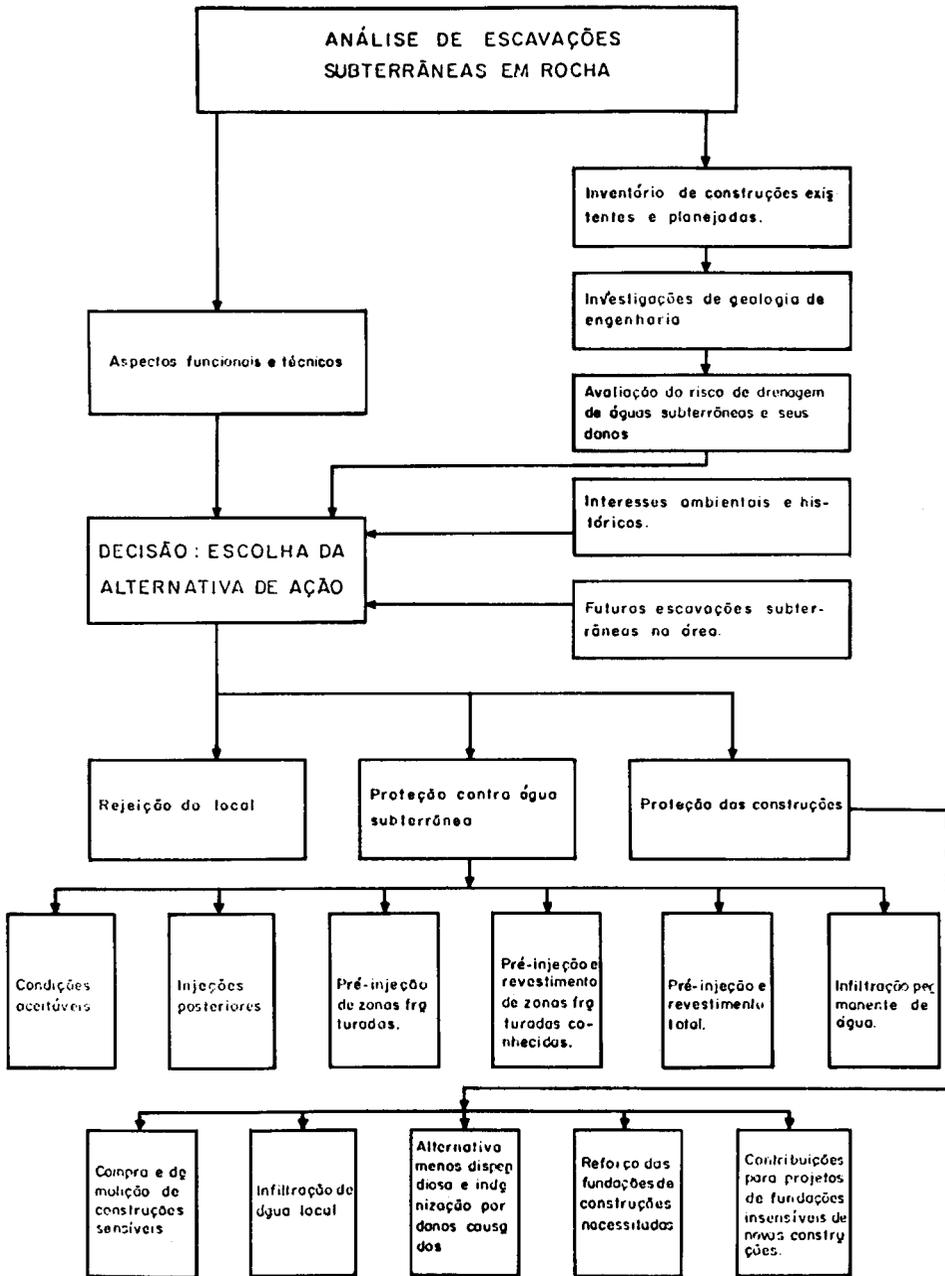


Fig. 9

REQUISITOS PARA O PROJETO DE CAVIDADES SUBTERRÂNEAS

1- Geologia e Geometria dos vários tipos rochosos	Estudo de sondagens exploratórias Mapeamento de poços e galerias Prospeção geofísica Água subterrânea			
2- Principais descontinuidades mecânicas existentes nos maciços rochosos	Determinação do R.Q.D. nas várias zonas do maciço Caracterização das principais descontinuidades, quanto a sua natureza, altitude e espaçamento. Coleta de testemunhos para ensaios.			
3- Geometria das escavações subterrâneas	Informação fornecida pelo dono da obra. Na mineração, é imposta pela geometria do minério. Ajustamentos da geometria para estabilização e suporte.			
4- Propriedades físicas das rochas	Densidade Módulo de Young Coeficiente de Poisson Resistência à compressão uniaxial Resistência à compressão triaxial (rocha intacta) Resistência à compressão triaxial (planos de fraqueza) Módulo de ruptura Resistência à tração indireta Constantes de fluência			
5- Classificação das rochas para fins de projeto	Classificação		Técnicas de projeto	
	Competente	Maciça	Elástica	Teoria da Elasticidade
			Anelástico	Viscoelasticidade
		Laminada	Elástica	Elasticidade e teoria das vigas
			Anelástico	Viscoelasticidade e teoria das vigas
	Compartimentado	Experiência e Mecânica de Rochas		
Não competente	Experiência e Mecânica de Rochas			
6- Determinação do estado de tensão in situ	a) Métodos de libertação de tensões b) Métodos de restauração de tensões c) Métodos aproximados (peso dos terrenos, equilíbrio estático, fraturação hidráulica e métodos sísmicos.)			
7- Critérios de ruptura das rochas e fatores de segurança	a) Resistência máxima à compressão b) Resistência máxima à tração c) Resistência ao cisalhamento			
8- Projeto teórico de cavidades subterrâneas	CAVIDADES: simples ou múltiplas ROCHAS: competentes (maciça, laminada ou compartimentada) e não competentes.			
9- Avaliação no campo das cavidades projetadas	INSTRUMENTAÇÃO: Extensômetros simples e múltiplos, de corda vibrante, medidores de convergência (de fio ou de haste), filmadora de sondagem, células de carga, equipamento da medida de ruído, etc.			

Fig. 10

FASES DE DESENVOLVIMENTO DA MINERAÇÃO SUBTERRÂNEA MODERNA

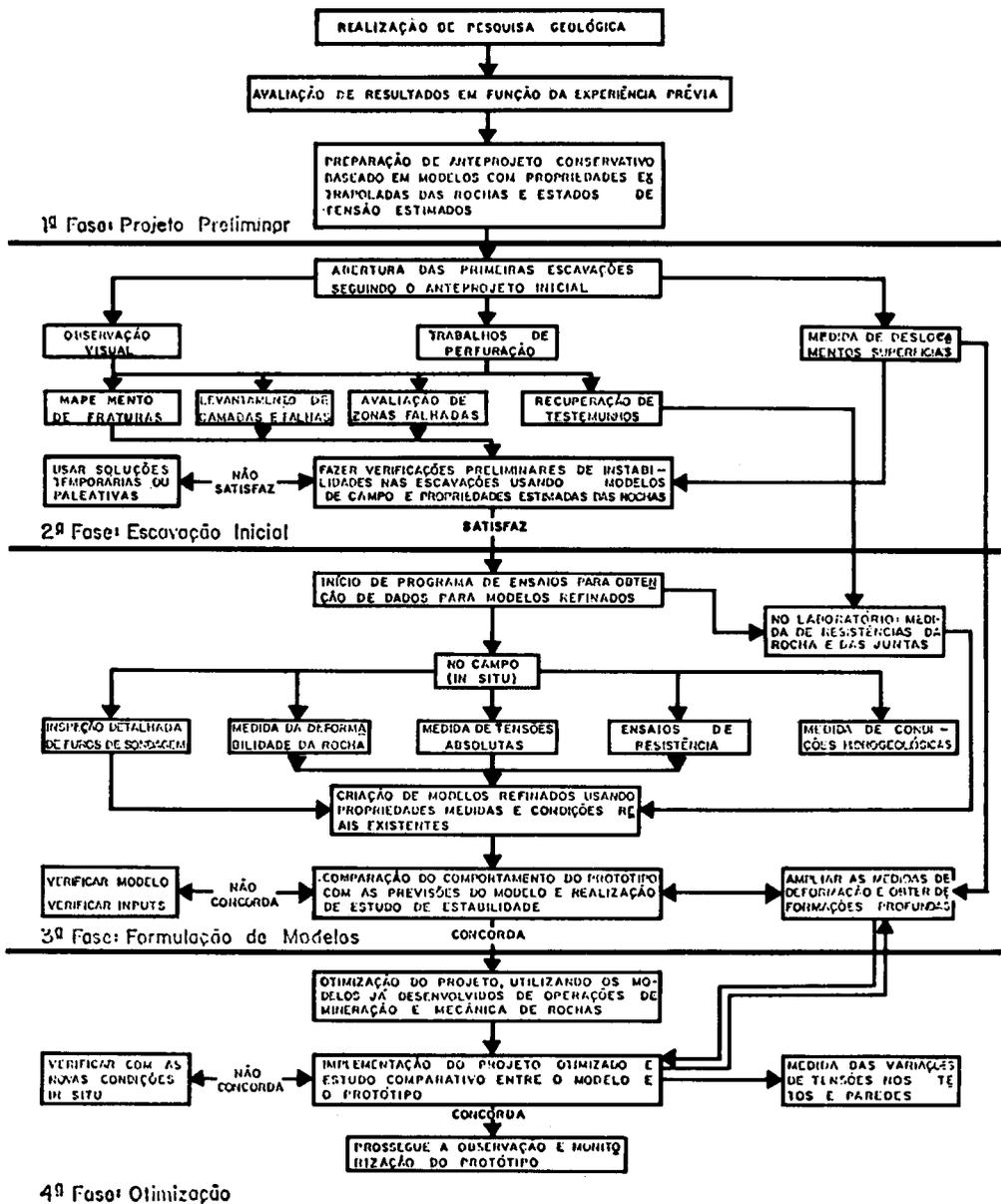


Fig. 11

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentro da abordagem deste Relato Geral consideramos importante colocar diversos tópicos para reflexão e para debates entre os especialistas do setor. Agruparemos tais tópicos nos itens seguintes:

- 1 Formação de recursos humanos
- 2 Metodologias e técnicas
- 3 Mineração a céu aberto
- 4 Mineração subterrânea
- 5 Problemas brasileiros atuais

Formação de recursos humanos

A capacitação e o treinamento de recursos humanos para a Indústria Mineral é um fator primordial para a consolidação da tecnologia brasileira no setor, constituindo a sua verdadeira base da vitalidade. Para tal haverá que adequar os cursos universitários aos requisitos da mineração moderna, que apresenta certas tendências importantes, como sejam: a especialização das atividades, a ênfase na formação científica em vez da informação técnica, o recurso à pesquisa e desenvolvimento para atendimento às necessidades do setor e a racionalização progressiva dos projetos de mineração.

No que se refere a Geologia de Engenharia e Geotecnia aplicadas à Mineração nota-se a ausência de currículos escolares adequados à importância do setor e às suas especificidades.

Concretamente, julgamos interessante considerar alguns aspectos para debates, tais como:

- a) Elencos de matérias necessárias a formação de técnicos especializados em Geologia de Engenharia e em Geotecnia com aplicações ligadas à Mineração.
- b) Criação de departamentos de Geotecnia nas empresas do ramo, incorporando especialistas com entendimento dos reais problemas da Mineração.
- c) Identificação das principais especializações de tais técnicos para atendimento às múltiplas atividades do setor (por exemplo, lavra a céu aberto, lavra subterrânea, meio ambiente, etc.)
- d) Papel da pesquisa e desenvolvimento na formação de recursos humanos dirigidos para as reais necessidades da Mineração, com reconhecimento das potencialidades regionais e das prioridades do setor.
- e) Solução dos problemas de obsolescência de engenheiros e geólogos perante o clima de mudanças tecnológicas em que vivemos, através da implantação de programas de educação contínua e de reciclagem de conhecimento.

Metodologias e técnicas

Embora existam metodologias e técnicas de Geologia de Engenharia e Geotecnia já consagradas em suas aplicações na Engenharia Civil (especialmente no domínio da construção pesada) o mesmo ainda não acontece na Mineração.

Há grande interesse em debater quais as modificações que devem sofrer tais métodos e técnicas para atender aos problemas de lavra mineral, estando até abertas algumas áreas de atuação, por falta de critérios aceitos pelos especialistas do setor.

Visando discutir alguns desses aspectos, sugerimos os seguintes tópicos:

- a) A adoção de fatores de segurança para os projetos de mineração, a céu aberto e subterrânea, objetivando o atendimento das condições de serviços das escavações e simultaneamente os propósitos econômicos da lavra.
- b) A definição de critérios de mapeamento geotécnico aplicáveis aos trabalhos de mineração, seja na fase de planejamento, seja na de acompanhamento da produção.
- c) Contribuição da Geologia de Engenharia e Geotecnia para a conservação e a otimização da extração de recursos minerais de uma dada região ou país.

Mineração a céu aberto

Existem sensíveis diferenças entre as operações de lavra mineral a céu aberto e as atividades afins de engenharia civil (escavações para cortes de estradas e ferrovias, construções de barragens, etc.).

Em mineração é essencial criar-se um fluxo contínuo de minérios e de estéréis desmontados, através de uma seqüência de operações unitárias (perfuração, desmonte em explosivo, carregamento, transporte e britagem) que devem ser interdependentes, pois delas depende a minimização dos custos de produção do minério.

Paralelamente à escavação de rochas existe uma outra função essencial na mineração: a manutenção da estabilidade das formações vizinhas aos trabalhos de lavra. Em ambas as funções, a contribuição da Geologia de Engenharia e da Geotecnia (em particular da Mecânica de Rochas) é importantíssima para garantir o embasamento científico que deve sempre existir em todos os trabalhos de engenharia.

O ambiente mineiro justifica assim uma abordagem especializada dos problemas, entre os quais salientamos, para fins de debate, os seguintes:

- a) Determinação adequada das propriedades das rochas que intervêm nas operações de perfuração e de desmonte, visando otimizar as técnicas da escavação.
- b) Desenvolvimento de métodos para a análise de estabilidade de maciços rochosos compartimentados; e em particular de taludes a céu aberto.

- c) Interferência de vibrações provenientes dos desmontes com explosivos na estabilidade de taludes das minas, de bota-foras, de barragens de rejeitos e de instalações industriais vizinhas.

Mineração subterrânea

Os problemas inerentes à lavra subterrânea são distintos em tipo e qualidade daqueles que se deparam ao engenheiro civil especializado na construção de túneis, por exemplo, e carecem de soluções apropriadas aos propósitos da mineração.

Em decorrência, também as metodologias e técnicas geomecânicas deverão ser ajustadas à natureza desses problemas, enfocando principalmente o carácter temporário das escavações e a permanente consideração dos constrangimentos econômicos.

Neste contexto, propõem-se alguns tópicos para estimular o debate, dentro das seguintes linhas:

- a) Influências da compartimentação dos maciços rochosos no dimensionamento e na seleção dos métodos de lavra subterrânea.
- b) Análise dos efeitos superficiais da mineração (problemas de subsidência) e proposição de métodos geomecânicos adequados à previsão, ao acompanhamento e à contenção deste fenômeno.
- c) Estudos dos eventos sísmicos súbitos causados pela lavra subterrânea (conhecidos por «rock bursts», ou estouros de rocha) no que se relacionam com as propriedades mecânicas dos maciços rochosos e com sistemas de instrumentação apropriados.
- d) Participação da Geotecnia na resolução dos problemas de saúde, segurança e conforto dos ambientes subterrâneos de trabalho.

Problemas brasileiros atuais

A indústria mineral brasileira possui perspectivas animadoras de crescimento e grande diversidade nas empresas do ramo, quer em termos de capacitação tecnológica, quer na sua dimensão.

Em função da heterogeneidade do setor, não é fácil caracterizar o que seria a empresa típica de mineração no Brasil, e quais as aplicações de Geologia de Engenharia e de Geotecnia a que ela recorre para solucionar os problemas geomecânicos que a operação das minas ocasiona.

A tendência geral observada é a de as empresas de maior porte atribuírem maior importância relativa aos aspectos geotécnicos, em decorrência do maior volume de escavações que efetuam.

De modo geral, nota-se que a importância da Geologia de Engenharia e da Geotecnia aumentam depois que ocorrem problemas de estabilidade nas minas, levando as empresas a recorrerem a empresas de engenharia e a consultores da especialidade, ou mesmo à criação de departamentos especializados do ramo. Consta-se também que a maioria dos projetos apresenta poucos fundamentos geomecânicos, particularmente nos estudos de viabilidade, onde inexitem na maior parte dos casos conhecidos.

Neste pormenor, observa-se uma diferença de comportamentos entre as empresas estatais e as empresas privadas em virtude de estas últimas serem mais exigentes em matérias de economicidade dos empreendimentos e no detalhamento exigido aos estudos de viabilidade.

Nestes termos, considera-se interessante colocar alguns tópicos para debate, a saber:

- a) Na presente situação, em que os investimentos necessários à abertura de novas minas são de difícil obtenção, justificando a elaboração de estudos de viabilidade mais rigorosos, qual o papel das ciências geotécnicas para a consecução de tais objetivos?
- b) No campo da operação de minas, como poderiam ser implantadas atividades geotécnicas nas empresas de mineração, a título preventivo e não apenas depois da ocorrência de problemas de estabilidade das escavações?
- c) Quais os tipos de instrumentos geotécnicos que deveriam fazer parte do conjunto de aparelhos de instalação rotineira que todas as minas deveriam possuir?
- d) Em face da freqüente ocorrência de grandes espessuras de materiais geológicos de alteração, além de formações lateríticas, expansíveis e saturadas, quais as técnicas de estabilização mais adequadas para minas abertas em tais maciços?
- e) Dada a intensa atividade mineira que decorre da garimpagem, de que formas a Geologia de Engenharia e a Geotecnia poderiam contribuir eficientemente para a estabilização dos respectivos ambientes de trabalho (taludes, valas, galerias, etc.)?
- f) Quais as atividades de pesquisa e desenvolvimento mais prioritárias em matéria Geologia de Engenharia de Minas que deveriam ser incrementadas no Brasil, para atendimento aos problemas mais carantes da mineração?

Finalmente, espera-se que o equacionamento de estes e de outros tópicos para debate no âmbito do 4.º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia produza um efeito mobilizador de esforços e de talentos, com conseqüências vantajosas para toda a mineração brasileira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATTEWELL, P. B.; FARMER I. W. (1976) — *Principles of Engineering Geology*. Chapman and Hall. London.
- BERGMAN, M.; MORFELDT, C. O. (1974) — *Subsidence of the Ground Water Level as a Consequence of Underground Excavations*. 2nd International Congress on Engineering Geology. Vol. III, p. 326-238. São Paulo.
- CANMET (1977) — *Pit Slope Manual*. Chapters 1 to 10. Report 77-5. Energy, Mines and Resources of Canada. Ottawa.
- CUMMINS, A. B.; GIVEN, I. A. (1973) — *Mining Engineering Handbook* (2 Volumes). Society of Mining Engineers of AIME. New York.
- DEERE, D. U. (1974) — *General Report of Theme VII — Engineering Geology and Underground Excavation*. 2nd. International Congress on Engineering Geology. Vol. II, São Paulo.
- DUNHAM, R. K.; THURMAN, A. G.; ELLISON, R. D. (1977) — *The use of Geological/Geotechnical Investigation as an Aid to Mine Planning*. 18th U. S. Symposium on Rock Mechanics; p. 1C4-1 to 1C4-6. Keystone, Colorado.
- DUVALL, W. I. (1976) — *General Principles of Underground Opening Design in Competent Rock*. 17th U. S. Symposium on Rock Mechanics p. 101-111. Snowbird, Utah.
- GAMA, C. D. (1978) — *Papel da Geologia de Engenharia no Projeto de Minas a Céu Aberto*. II Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Vol. 2, p. 273-280, São Paulo.
- HEUZÉ, F. E. (1978) — *Geotechnical Studies for Room-and-Pillar Mine Design*. Mini-Symposium on Application of Geotechnical Data to Underground Mine Design. AIME, New York.
- JOHN, K. (1978) — *General Report of Theme II*. International Symposium on Rock Mechanics Related to Dam Foundations, Vol. 2, Rio de Janeiro.
- ROBERTS, A. (1981) — *Geotechnology* — Pergamon Press.