

A FÍSICA APLICADA AOS MÉTODOS DE CONTENÇÃO GEOMECÂNICA EM MINERAÇÃO SUBTERRÂNEA

Jonei Marques da Costa¹
Sabrina Silva dos anjos²
Raquel Almeida Miranda³
Raimison Bezerra de Assis⁴
Beliato Santana Campos⁵

INTRODUÇÃO

A mineração é uma importante fonte de renda com um contexto de suporte financeiro e econômico para o país. No Brasil, a atividade se torna grande protagonista nesse contexto, em função da grande quantidade de reservas (ANM, 2020). Esta extração de minério pode ser realizada por métodos de lavra a céu aberto, subterrâneo ou mesmo subaquático (CURI, 2017).

Os métodos de lavra subterrânea apresentam uma dificuldade adicional no que se refere a uma abordagem de segurança. A geomecânica das rochas encaixantes e do minério influencia na escolha dos métodos de lavra, pois quanto mais resistentes forem as rochas encaixantes, menos suportes artificiais serão utilizados, obtendo assim uma maior e mais rápida recuperação do minério e com maior segurança (CURI, 2017; ZHANG, 2017).

Algumas vezes, não é possível reduzir a quantidade de suportes geomecânicos, visto a instabilidade do maciço rochoso. Desta forma, é necessário a instalação de elementos de sustentação diversos. Os métodos de cálculos para prever o local e quantidade de suportes

¹ Doutor pelo Curso de Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia- UFBA, Docente IFBA, jonei.costa@ifba.edu.br;

² Graduanda do Curso Técnico de Mineração do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, sabrinasilvadosanjos825@gmail.com;

³ Graduando do Curso Técnico de Mineração do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, raquelalmeidamiranda908@gmail.com;

⁴ Doutor pelo Curso de Engenharia de Produção – UFRN, raimison_assis@ifba.edu.br;

⁵ Doutor em Física, Universidade Federal da Bahia – UFBA, Docente IFBA, beliatocampos@ifba.edu.br.



podem ser complexos, parâmetros geomecânicos, método de lavra e resistência dos materiais e fatores econômicos (HUDSON; HARRISON, 1997).

O trabalho em lavra subterrânea, expõe os técnicos à riscos contínuos, devido a eventuais instabilidades da escavação. Deste profissional, depende uma precisa avaliação das condições de estabilidade geomecânica, para garantir a segurança operacional. Contudo, as ferramentas didáticas disponíveis, para uma sólida formação de técnicos em mineração ainda é escassa e com algumas deficiências metodológicas na área de mecânica das rochas.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo principal relacionar a disciplina de física do ensino médio às questões de estabilidade de maciço rochoso em mineração subterrânea, em especial aos métodos de contenção geomecânica.

METODOLOGIA

Esse trabalho terá uma abordagem qualitativa com descrição de parâmetros de geologia com relação a Física. Foi realizada uma investigação teórica nas competências em lavra subterrânea necessárias à formação de um técnico em mineração e sua relação com a disciplina de física do ensino médio. Para tal análise, foi consultado o Catalogo Nacional de Cursos Técnicos do Ministério da Educação (MEC), os requisitos previstos pelo Conselho Federal de Técnicos Industriais (CFT) para o curso de mineração.

Para tanto o uso de competências e habilidades previstas para o curso de Física do ensino médio teve influência direta no curso de mineração em trabalhar nas minas subterrâneas. Os modelos matemáticos clássicos de contenção geomecânica foram relacionados às competências previstas em física para os estudantes de ensino médio, de tal forma que permita sua emancipação intelectual (BRADY; BROWN, 1985).

A investigação sobre os modelos matemáticos para avaliação das contenções geomecânica, leva em consideração simplificações matemáticas para ajustar as demandas das equações diferenciais aos modelos possíveis com as informações do ensino médio, de tal forma que competências e conteúdo de física possam ser relacionados.

REFERENCIAL TEÓRICO

Está previsto pela resolução Nº 104, DE 15 DE JULHO DE 2020, no seu Art. 4º, do Conselho Federal dos Técnicos Industriais, que o Técnico em mineração pode e deve atuar em atividades de lavra subterrânea (CFT, 2020). Esta prerrogativa é pautada nas competências

atribuídas a este pelo Catalogo Nacional de Cursos Técnicos do Ministério da Educação, que define que os Técnicos em mineração estão no eixo formativo de recursos naturais. Neste, afirma que estes podem monitorar a estabilidade de rochas em minas subterrâneas e a céu aberto (MEC, 2022).

A mecânica das rochas pode ser aplicada a diferentes áreas do conhecimento, como a engenharia civil, barragens, estradas; em atividade de mineração (subterrânea e a céu aberto), bem como aplicações especiais como a engenharia do petróleo, engenharia geotécnica, armazenamento em cavernas dentre outras (HOEK; KAISER; BAWDEN, 1997).

Os métodos de lavra subterrânea são determinados pelas características da rocha, concentração de minério contido e parâmetros econômicos. Os principais métodos são aqueles que I) usam suportes naturais; II) suportes artificiais; III) não usa suportes IV) combinação de métodos (GERTSCH; BULLOCK, 1998).

O uso de suportes e contenções nas minas subterrâneas depende da integridade física da rocha e parâmetros geotécnicos diversos que são usados para classificação dos maciços rochosos. Os principais usados em mineração subterrânea são os métodos de Designação de Qualidade de Rocha (RQD), Classificação da Massa Rochosa (RMR), Sistema-Q e Índice de Resistência Geológica (GSI) (HUDSON; HARRISON, 1997).

A seleção adequada de suporte de sustentação é vital para garantir a segurança e estabilidade de minas e túneis. As operações de mineração modificam o estado de equilíbrio de tensões das rochas, para uso em construção civil, estas aberturas devem ser permanentemente estáveis, em minas subterrâneas devem ser estáveis até o fim de uso da mina. Um exemplo dos campos de tensões que se desenvolve em torno das aberturas subterrâneas.

Em geral, o reforço de rocha é aplicado principalmente internamente ao maciço rochoso, enquanto o suporte da superfície da rocha se refere àquele que é aplicado externamente ao maciço rochoso. Os principais métodos de contenção são os suportes com pilares naturais, tirantes (diversos modelos) e escoras em diversos modelos (HUDSON; HARRISON, 1997).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As rochas estão submetidas a esforços de tensão elevada, a aplicação desta sobre as rochas promove um estado de tensão em 3 dimensões, quando este é superior a resistência da rocha esta entra em colapso. A estabilidade das escavações em qualquer maciço rochoso é reduzida com o aumento do tamanho da escavação.

Os principais reforços de sustentação em mineração subterrânea são i) cavilhas mecanicamente ancoradas e tensionadas; ii) cavilhas preenchidas e não-tensionadas (ancoradas por fricção); e iii) suportes (estáticos ou dinâmico).

Uma abordagem possível para incorporar o estudo de campo de tensões ao curso técnico em mineração é usar competências atribuídas a disciplina de física como o conceito de vetores, força e atrito

Para descrever o fenômeno de contenção de maciço rochoso por cavilha mecanicamente ancorada e tensionada, pode ser aplicado o conceito físico atribuída as competências do primeiro ano do ensino médio. Desta forma é possível prever que um bloco de rocha devidamente ancorado, deverá obedecer a 1ª lei de Newton da inércia para todas as tensões que estará submetido, ou seja:

$$F_x \cdot m + F_y \cdot m + F_z \cdot m = 0$$

Desta forma, a força produzida pelo objeto que deve ancorar a rocha de deve ser ligeiramente superior a força produzida pela rocha, ou seja, deve obedecer a 3ª lei de Newton da ação e reação, desta forma as condições de estabilidade geotécnica apresentada abaixo, deve ser atendida:

$$\textit{Força produzida pela rocha} \leq \textit{Força produzida pelo suporte}$$

As condições de estabilidade, está associada ao conceito de energia potência e energia elástica atribuída ao suporte metálico usado para conter a rocha, ou seja, o suporte sofre deformação elástica similar ao que ocorrer com as molas, também apresentado como lei de Hooke. A condição de estabilidade energética ocorrer quando a energia potencial da rocha a ser contida é menor que a energia elástica do suporte, ou seja, o suporte não rompe com a força produzida pela rocha que está em desequilíbrio mecânico:

$$m \cdot g \cdot h \leq k \cdot x$$

Onde: h é altura da rocha até a superfície externa da mina; m é a massa do bloco de rocha, g é a gravidade; k é similar ao modo de elasticidade do material que constitui o suporte da rocha; x é o limite de escoamento (deslocamento máximo permitido) do suporte da rocha.

Desta forma, é possível incorporar conceitos abstratos de campo de tensão das rochas e seus mecanismos de contenção, usando noções de física de competência do ensino médio. Tal abordagem exhibe algumas imprecisões teóricas e são de fácil aplicação prática, contudo, permite ao estudante do curso técnico relacionar suas experiências da disciplina de física com a mecânica das rochas.

Uma avaliação mais sofisticada é necessária para investigar as forças associadas ao sistema de contenção por cavilhas preenchidas e não-tensionadas. Para esta análise é necessário aplicar os conceitos de atrito ao sistema de força apresentado anteriormente (FENG, 2017).

A relação de equilíbrio das forças fica valendo com outrora, contudo, para garantir a estabilidade do suporte nas rochas, deve ser considerado o atrito entre a rocha e o suporte introduzido neste. Para tanto a geometria do suporte deve ser considerado, bem como os mecanismo de promoção do atrito. Normalmente estes mecânicos consiste em deformar o suporte mecânico dentro da rocha, de tal maneira que este produza atrito de grande intensidade entre a rocha e o suporte. Desta forma, a relação de equilíbrio deve garantir que a força de atrito juntamente com os limites de deformação do suporte seja maior a força de deformação da rocha:

$$m. g. h \leq k. x + (m. g. h'). \mu$$

Onde: h' é a altura da galeria da mina e μ é o coeficiente de atrito entre a rocha e o suporte.

Vale destacar que critério inerente ao maciço rochoso deve ser levado em consideração para estimar o atrito, como a presença de água na rocha, tipo de minerais presentes e possibilidade de eventos sísmicos.

O suporte em rochas por compressão, são usados na forma de cambotas metálicas e escoras metálicas (ativas ou passivas) ou mesmo escoras de madeira (não usadas me mineração e grande e médio porte). Estes mecanismos se opõe as tensões do maciço criando uma força de reação com o piso abaixo do teto da mina. O sistema de equilíbrio das forças deve ser mantido para garantir a estabilidade, contudo, um fator adicional deve ser considerado, que é a torção dos blocos de rocha.

Uma possibilidade para considerar o efeito da torção das rochas no equilíbrio geomecânicos, é necessário usar a noção de equilíbrio de corpos rígidos. O momento da aplicação da força, deve ser compensada pela escolha do local onde será instalado o suporte, sendo assim:

$$m. g. h = F. d. \text{sen} (\alpha)$$

Uma dificuldade adicional surge nesta abordagem, visto que deve ser estimado a geometria do bloco de rocha a ser contido. Normalmente, vários suportes são incorporados ao sistema de contenção (seja estático ou dinâmico) para evitar eventuais acidentes

CONSIDERAÇÕES FINAIS



É válido salientar sobre a importância da física na mineração, seja por métodos diretos ou indiretos, principalmente nos princípios das forças físicas necessárias para garantir a estabilidade e segurança de uma mina subterrânea, tendo em vista que sem os conceitos básicos as minas não teriam um suporte seguro para a realização das atividades minerárias.

Ressaltando a importância desses conceitos físicos na formação dos técnicos em mineração e demais profissionais da área que trabalham em minas subterrâneas, disseminando assim um maior entendimento sobre as questões físicas do âmbito geoestrutural.

Palavras-chave: Educação - Geomecânica – Técnico em Mineração – Mecânica das rochas.

REFERÊNCIAS

ANM. **Anuário Mineral Brasileiro: Principais substâncias metálicas.** Brasília: Agência Nacional de Mineração (ANM), 2020.

BRADY, B. H. G.; BROWN, E. T. **Rock Mechanics for underground mining.** Dordrecht: Springer Netherlands, 1985.

CFT - Conselho Federal de Técnicos Industriais. **RESOLUÇÃO N°104.** Competências e atribuições dos Técnicos Industriais com habilitação em Mineração. 2020.

MEC – Ministério da Educação e Cultura. **Catálogo nacional de cursos técnicos.** Brasília, 2022.

CURI, A. **Lavra de minas.** São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

FENG, X. (ED.). **Rock mechanics and engineering.** Boca Raton: CRC Press, 2017.

GERTSCH, R. E.; BULLOCK, R. L. (EDS.). **Techniques in underground mining.** Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 1998.

HOEK, E.; KAISER, P. K.; BAWDEN, W. F. **Support of underground excavations in hard rock.** Netherlands; Brookfield, 1997.

HUDSON, J. A.; HARRISON, J. P. **Engineering Rock Mechanics: An Introduction to the Principles.** Amsterdam: Pergamon, 1997. v. 55.

ZHANG, L. **Engineering properties of rocks.** 2ª ed. Amsterdam, Elsevier, 2017.