



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

EDITAL 41/2022 – CONCURSO PÚBLICO EBTT

PADRÕES DE RESPOSTA ESPERADOS DA PROVA ESCRITA

(1ª FASE)

LAVRA (ENGENHARIA DE MINAS) – CAMPUS ARAXÁ

Publicado em 19/05/2022

QUESTÃO 01

SOLUÇÃO: baseado no livro do HARTMAN, H.L.; MUTMANSKY (2002) – item 10.5 páginas 110 a 112.

Existem muitos fatores, tanto quantitativos quanto qualitativos, que devem ser avaliados na escolha de um método de mineração. A seguir estão as principais variáveis que devem ser consideradas:

- 1) Características espaciais do depósito. Esses fatores desempenham um papel dominante na escolha de um método de lavra, pois em grande parte decidem a escolha entre lavra de superfície e lavra subterrânea, afetam a taxa de produção, e determinam o método de manuseio de materiais e layout da mina no corpo de minério. (Tamanho, forma, atitude, profundidade, regularidade dos limites do minério e existência de lavra prévia).
- 2) Condições geológicas e hidrológicas. As características geológicas do minério e da rocha circundante influenciam a seleção do método, especialmente as escolhas entre métodos seletivos e não seletivos, e os requisitos de suporte do solo para minas subterrâneas. A hidrologia afeta os requisitos de drenagem e bombeamento, tanto na superfície quanto no subsolo. A mineralogia rege os requisitos de mineração de soluções, processamento mineral e fundição. (Mineralogia e petrografia, composição química, estrutura do depósito, planos de fragilidade, uniformidade de teor, zonas de alteração e intemperismo, existência de estratos gasosos).



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS**

3) Propriedades geotécnicas (mecânica dos solos e rochas). As propriedades mecânicas do minério e do estéril são fatores-chave na seleção do equipamento em uma mina de superfície e na escolha da classe de métodos (sem suporte, suportado e espeleologia) se subterrânea. (Propriedades elásticas, comportamento plástico ou viscoelástico, estado de tensão, classificação do maciço rochoso e outras propriedades físicas que afetam a competência).

4) Considerações econômicas. Em última análise, a economia determina se um método de mineração deve ser escolhido, porque os fatores econômicos afetam o investimento na produção, o fluxo de caixa, o período de retorno e o lucro. (Reservas, taxas de produção, vida útil da mina, produtividade, custo comparativo de mineração de métodos adequados, custos comparativos de capital de métodos adequados)

5) Fatores tecnológicos. Procura-se a melhor correspondência entre as condições naturais e o método de mineração. Métodos específicos podem ser excluídos devido aos seus efeitos adversos em operações subsequentes. (Recuperação, diluição, flexibilidade do método às condições de mudança, seletividade do método, concentração ou dispersão de trabalhos, capacidade de mecanizar e automatizar, intensidades de capital e trabalho).

6) Preocupações ambientais. O clima físico, social, político e econômico deve ser considerado e, ocasionalmente, exigirá que um método de mineração seja rejeitado por causa dessas preocupações. (Controle do solo para manter a integridade das aberturas, subsidência ou efeitos de espeleologia na superfície, controle atmosférico, disponibilidade de áreas de disposição de resíduos adequadas, mão de obra, condições de segurança comparativas dos métodos de mineração adequados).

QUESTÃO 02

SOLUÇÃO: baseado no livro do HARTMAN, H.L.; MUTMANSKY (2002) – item 10.5 páginas 347 a 349.

- a) O método de lavra mais adequado para as características citadas é o Realce em subníveis ("sublevel stopping").
- b) Como em muitos dos métodos de subníveis, a quebra de rochas e o manuseio de materiais são realizados em seções separadas de subnível. Perfuração e detonação são



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS**

realizadas nas derivações do subnível do desmonte. O carregamento ocorre no *undercut* do stope em pontos de passagem ou cortes transversais localizados fora da travessa principal de transporte. O transporte propriamente dito é feito nas travessas principais, que normalmente são paralelas ao corpo mineralizado. As operações unitárias de perfuração e desmonte nos subníveis e as operações unitárias de carregamento transporte no *undercut* não precisam ser sincronizadas, mas são conduzidas em grande parte de forma independente. O ciclo de operações segue o ciclo básico de produção: perfuração, detonação, segunda detonação, carregamento e transporte.

c) As vantagens do método de lavra por Realce em subníveis são:

- 1) Produtividade moderada a alta.
- 2) Custo de mineração moderado (custo relativo: 20%).
- 3) Taxa de produção moderada a alta.
- 4) Presta-se à mecanização.
- 5) Baixo custo de quebra; custo de manuseio bastante baixo.
- 6) Pouca exposição a condições perigosas; fácil de ventilar.
- 7) As operações unitárias podem ser realizadas simultaneamente.
- 8) Recuperação razoável (cerca de 75%).
- 9) Diluição modesta (cerca de 20%).

As desvantagens do método de lavra por Realce em subníveis são:

- 1) Desenvolvimento bastante complicado e caro.
- 2) Inflexível no plano de mineração.
- 3) A perfuração de furos longos requer precisão (<2% de desvio).
- 4) Grandes explosões podem causar vibração significativa, explosão de ar e danos estruturais.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

QUESTÃO 03

Solução:

A questão é baseada no capítulo 7 da referência “*Subsurface Ventilation Engineering*” do autor McPherson. O problema propõe a solução de uma rede de ventilação utilizando a aplicação direta das leis de Kirchhoff e resistências equivalentes da seção 7.3 da referência. No capítulo 10 da mesma referência está a teoria sobre os ventiladores e seu ponto de operação, ainda como a utilização de ventiladores em série e paralelo.

Para o cálculo da resistência total do trecho para resistências em série utiliza-se:

$$R_{total} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Para o cálculo da resistência total do trecho para resistências em Paralelo utiliza-se:

$$\frac{1}{\sqrt{R_{total}}} = \frac{1}{\sqrt{R_1}} + \frac{1}{\sqrt{R_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{R_n}}$$

Com as resistências em série a vazão permanece constante. Já em resistências em paralelo se utiliza a fórmula:

$$Q_n = \sqrt{\frac{R_{tot} Q_{Tot}^2}{R_n}}$$

A primeira lei de Kirschoff diz que a vazão que entra em uma junção (nó) é igual a que sai da junção.

A segunda lei de Kirschoff diz que a soma algébrica de todas as quedas de pressão deve ser zero. Ou seja, a queda de pressão independe do caminho.

- a) Utilizando estas informações completa-se o quadro abaixo. OBS: Contas feitas em Excel.

Trecho	Escavação	Vazão (m ³ /s)	Resistência (Ns ² /m ⁸)	Pressão (Pa)	Conferência Pressão
A-B	1	315	0.009	893.0	NA
B-C	2	94.2	0.006	53.2	195.2
C-D	3	94.2	0.007	62.1	NA
D-E	4	94.2	0.009	79.9	NA
B-E	5	220.8	0.004	195.0	NA
E-F	6	315	0.008	793.8	NA
F-G	7	178.3	0.006	190.7	317.8
G-I	8	178.3	0.004	127.1	NA
F-H	9	136.7	0.01	186.9	317.8



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS**

H-I	10	136.7	0.007	130.9	NA
I-J	11	315	0.003	297.7	NA
		Resistência Total	0.0252	2497.3	Queda de Pressão Total
		Resistência Total	0.0252	Calculada pelas resistências	

As resistências totais dos sistemas paralelos são apresentadas nas tabelas abaixo:

Trecho 2,3,4,5			Trecho 7,8,9,10		
R2,3,4	0.022	Série	R7,8	0.01	
R2,3,4,5	0.00196597	Paralelo	R9,10	0.017	
Q2,3,4	94.1645516		R7,8,9,10	0.003202905	
Q5	220.835448	315	Q7,8	178.2717835	
		CONFERÊNCIA	Q9,10	136.7282165	
				315	CONFERÊNCIA

- b) Para calcular a resistência total do sistema, também chamada de resistência equivalente da mina ou resistência total da mina, pode se utilizar duas formas.

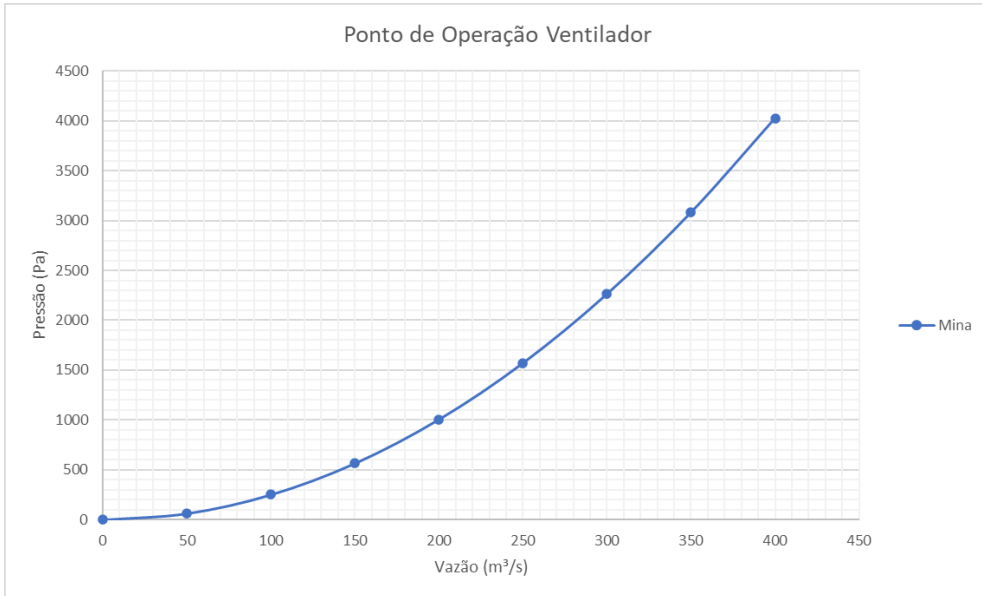
Calcular a queda de pressão total do sistema utilizando as leis de Kirschhoff ou somando as resistências equivalentes de cada trecho. A figura abaixo resume:



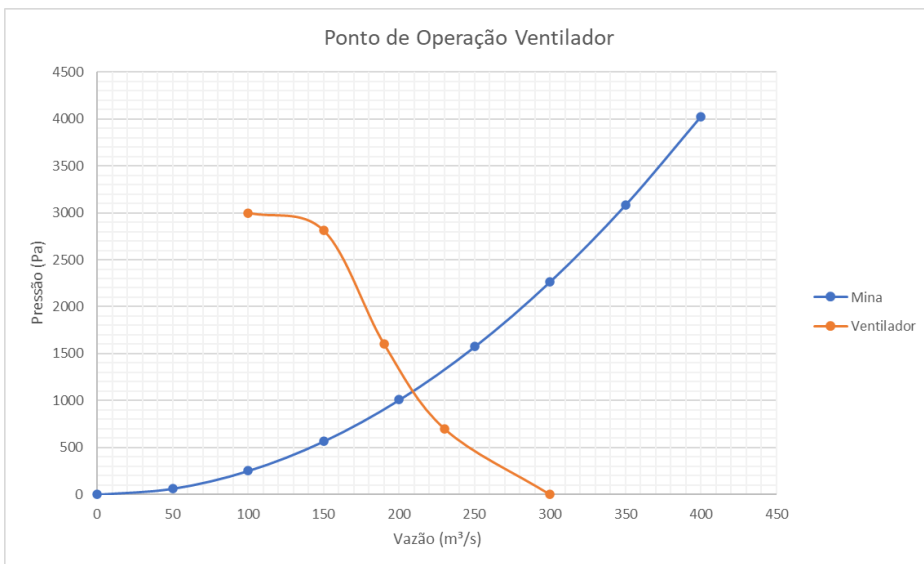
Somando as resistências em série tem-se 0,0252 Ns²/m⁸. Utilizando a relação $P=RQ^2$ constrói-se a curva característica da mina. A figura abaixo mostra a curva em um gráfico:



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS**



c) Plota-se no mesmo gráfico a curva característica do ventilador: A figura abaixo mostra:



Segundo o capítulo 10 do livro o ponto de operação do ventilador é a interseção entre as duas curvas características da mina e do ventilador, portanto:



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Pressão	Vazão
1100	210
Ponto de Operação	

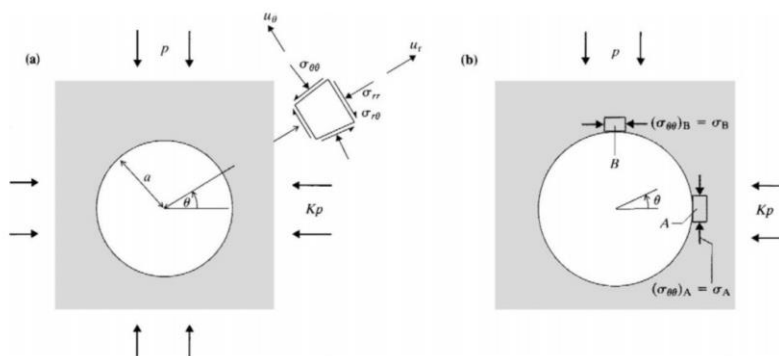
- d) O ventilador não cumpre o objetivo proposto porque o ponto de operação fornece somente 210 m³/s e o sistema precisa de 315 m³/s para atender as velocidades mínimas e máximas da NR-22. Uma solução possível é associar ventiladores em paralelo pois aumenta a vazão.

QUESTÃO 04

Solução:

A questão esta baseada no capítulo 6 da Referência “Rock Mechanics for Underground Mine” dos autores Brady e Brown. O subcapítulo 6.3 página 173 apresenta o conteúdo teórico para a avaliação da estabilidade de escavações circulares por método matemáticos, utilizando as equações de Kirsch de 1898.

As equações de Kirsch se baseiam na geometria do problema da figura abaixo:



Por P define-se a tensão vertical em MPa que também podemos chamar de σ_v . A variável k é a relação entre as tensões horizontais e verticais. No caso bidimensional das equações de Kirsch $k = \sigma_h / \sigma_v$. Na figura ainda podemos ver que a é o raio da escavação, r é a distância do centro da escavação até o ponto de análise e θ o ângulo anti-horário referente a parede da escavação.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

a) O exercício proposto pede a análise da estabilidade da escavação na sua borda/fronteira. Se avaliarmos as equações de Kirsh para $r=a$ e θ igual a 0° (parede) e 90° (teto) temos a seguinte simplificação:

$$\sigma_{rr} = 0$$

$$\sigma_{r\theta} = 0$$

$$\sigma_{\theta\theta} = \sigma_v(3 - k) \text{ para } 0^\circ \text{ e } \sigma_{\theta\theta} = \sigma_v(3k - 1) \text{ para } 90^\circ$$

Como as equações de $\sigma_{\theta\theta}$ utilizam cosseno o máximo e mínimo estão 0° e 90° .
Calculando $\sigma_v = 0,025 \left(\frac{\text{MPa}}{\text{m}}\right) \cdot 750\text{m} = 18,75 \text{ Mpa}$

Substituindo os valores de σ_v e k nas equações de $\sigma_{\theta\theta}$ para parede e teto temos:

$$\sigma_{\theta\theta} = \sigma_{\text{parede}} = 9,38 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\theta\theta} = \sigma_{\text{teto}} = 121,88 \text{ MPa}$$

Sendo dado do problema as resistências a compressão uniaxial e a tração de 80 MPa e -8 MPa respectivamente, observa-se que ambas as tensões na parede e no teto são de compressão (sem sinal negativo). Portanto somente a tensão no teto excede a resistência da rocha o que causa instabilidade. A escavação não é estável.

b) Para avaliar a extensão radial da ruptura temos que verificar em qual ângulo θ a escavação atinge a resistência da rocha para isso utilizaremos a equação de Kirsch para $r=a$ em $\sigma_{\theta\theta}$:

$$\sigma_{\theta\theta} = \sigma_v[(1 + k) + 2(1 - k)\cos 2\theta]$$

Substituindo em $\sigma_{\theta\theta}$ a resistência do maciço a compressão uniaxial de 80 MPa, $\sigma_v = 18,75 \text{ MPa}$ e $k=2,5$ achamos que θ é aproximadamente 52° . Como θ começa em zero este ângulo de 52° é medido a partir da parede portanto a ruptura acontece a partir do ângulo 52° . Então a ruptura acontece de 52° até 90° . O problema sendo simétrico temos uma extensão de ruptura radial de $(90-52) \times 2 = 76^\circ$ no teto. O problema também é simétrico para o piso, portanto pode-se considerar uma extensão de ruptura total de 152° .

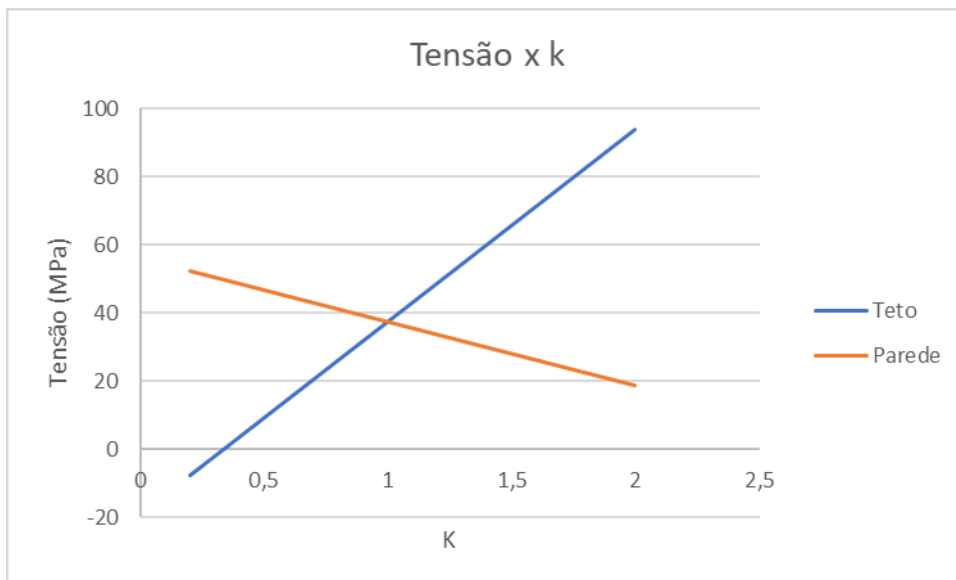
c) Para a construção do gráfico basta calcular $\sigma_{\theta\theta}$ variando o k . Substituindo encontra-se a seguinte tabela:



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

k	σ_{teto}	σ_{parede}
0.2	-7.5	52.5
0.5	9.375	46.875
1	37.5	37.5
1.5	65.625	28.125
2	93.75	18.75

O gráfico obtido é:



d) O parecer técnico deve discutir a instabilidade da escavação no k estimado e em k maior do que 1,5. Em k menores que 0,2 há problemas de instabilidade por tração. Em ks entre 0,5 e 1,5 a escavação é estável. O parecer deve sugerir uma medição precisa das tensões in -situ para avaliação da estabilidade da escavação.

QUESTÃO 05

Solução:



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS**

No Capítulo 9 página 268 subcapítulo 9.1.3 da referência “*Introductory Mining Engineering*” dos autores Hartman e Mutmanky discorre sobre as categorias de escavações subterrâneas de desenvolvimento.

Nesta mesma referência define-se que o desenvolvimento primário são as escavações principais. Que conectam a superfície ao desenvolvimento secundário. No subcapítulo 9.2.3.1 página 275 da mesma referência enumera as escavações de desenvolvimento primário: poço vertical (*Shaft*), poço inclinado (*slope*), rampa e Ádito.

O desenvolvimento secundário pode ser definido como escavações que conectam os acessos principais (desenvolvimento primário) ao corpo de minério. Subcapítulo 9.1.3. Já o subcapítulo 9.2.5 exemplifica escavações de desenvolvimento secundário níveis (*level*), galeria (*drifts*), travessa (*crosscuts*), entre outros. (Os nomes em inglês geralmente são utilizados no Brasil)

O desenvolvimento terciário pode ser definido como as escavações auxiliares da produção. O subcapítulo 9.2.5 dá exemplos de desenvolvimento terciário como *raízes* de ventilação, *orepasses* (passagem vertical de minério) entre outros.

Pode-se avaliar os desenvolvimentos sejam eles primário, secundário ou terciário pela sua posição espacial (Vertical e horizontal). Por exemplo, o ádito é um acesso principal horizontal. Ao mesmo tempo que o slot é um desenvolvimento secundário vertical.