

Avaliação da Influência das Tensões *In Situ* e da Geometria da Escavação na Formação de Potencial de *Rockburst* em Túneis

Jader Alfonso Ruiz Perez

Universidade de Brasília (UnB), Brasília-DF, Brasil, jarp6588@gmail.com

André Pacheco de Assis

Universidade de Brasília (UnB), Brasília-DF, Brasil, aassis@unb.br

RESUMO: O fenômeno de *rockburst* são falhas explosivas de rocha que ocorrem quando altas concentrações de tensões são induzidas ao redor de escavações subterrâneas. Os principais critérios empíricos que predizem o potencial de *rockburst* nos túneis, por meio das tensões e as propriedades mecânicas da rocha, foram estudados nesta pesquisa, analisando a influência das tensões *in situ* e a geometria da escavação. Para isto foi feita uma modelagem numérica com o software *Examine 3D* da Rocscience Inc, o qual utiliza a ferramenta numéricados dos Métodos dos Elementos de Contorno (MEC). No estudo da influência das tensões *in situ* foram propostas quatro etapas de modelagem numérica, nelas são utilizadas diferentes magnitudes dos estados de tensão e diferentes atitudes. Já no estudo da influência da geometria da escavação, foram utilizadas duas seções, uma circular e uma em arco-retângulo.

PALAVRAS-CHAVE: Rockburst, Modelagem Numérica, Túneis em Rocha, Tensões *in Situ*,

1 INTRODUÇÃO

O aumento na profundidade dos projetos de mineração e das obras subterrâneas, em conjunto com a deterioração das condições geológicas, zonas de alta atividade tectônica e grande tamanho das escavações, fazem que o comportamento mecânico da escavação seja bem mais complexo, comparado com o comportamento próximo da superfície (Dou *et al.*, 2009). Isto aumenta a probabilidade de formação de instabilidades dinâmicas como deslocamentos, colapso do teto em grandes áreas e em casos mais críticos explosão de rocha (*rockburst*). Estas instabilidades são cada vez mais comuns, tornando-se problemas sérios de segurança que põe em perigo a vida do pessoal na obra e a integridade dos equipamentos. Por exemplo, só nas minas de ouro na África do Sul na década dos 90 se tiveram 729 mortes por eventos de *rockburst* (Roberts *et al.*, 2001).

O *rockburst* é um dos perigos de eventos dinâmicos mais típicos em mineração e em túneis profundos, o qual é causado por uma liberação de energia repentina, rápida e violenta

no maciço rochoso (Li *et al.*, 2004) o qual envolve a expulsão de blocos de rocha desde a superfície da escavação. Segundo Hoek (2000), o fenômeno de *rockburst* são falhas explosivas de rocha que ocorrem quando altas concentrações de tensões são induzidas ao redor de escavações subterrâneas.

Exemplos como os citados acima, reforça a importância para o estudo do fenômeno de *rockburst* neste tipo de projetos, principalmente nos túneis. Desta forma, esta pesquisa pretende obter um melhor entendimento, a partir da análise dos critérios empíricos que avaliam o potencial de *rockburst* por meio das tensões *in situ* e as tensões induzidas.

2 O FENÔMENO DE ROCKBURST

O *rockburst* é um fenômeno presente nas obras subterrâneas há muito tempo, mas os primeiros registros se têm desde o Sec. XX. Os primeiros casos foram registrados em projetos de mineração nas minas de ouro em Witwatersrand, na África do Sul e na mina de Kolar Gold Field,

na Índia (Blake & Hedley, 2009).

Chen *et al.* (2003) considera o *rockburst* como um fenômeno de instabilidade dinâmica que ocorre no maciço rochoso circundante nas escavações subterrâneas, as quais estão submetidas a altas tensões geostáticas (tensões *in situ*), causando uma liberação violenta de energia de deformação armazenada no maciço rochoso.

Em essência, o *rockburst* é definido como uma instabilidade nas fraturas ao redor de uma rocha em estado frágil, portanto é comum neste tipo de rochas. É um fenômeno que depende de numerosos fatores como, as tensões *in situ*, as estruturas geológicas (falhas, diques ou juntas), geometria e dimensão da escavação, entre outros. A posição e a intensidade da concentração das tensões estão em função da geometria e dimensão da escavação, além dos métodos de escavação. O evento de *rockburst* pode ser iniciado sobre a superfície da escavação ou perto dela, pode ocorrer através das fraturas na rocha, pelas estruturas geológicas ou por flambagem. Também pode ser iniciado a certa distância do túnel (dentro do maciço rochoso), normalmente sobre características estruturais, onde a energia liberada cria expulsão de material na superfície do túnel ou onde a vibração gera quedas de rochas.

2.1 Principais Causas de Rockburst

A escavação do espaço subterrâneo muda o entorno do maciço rochoso circundante, perturbando assim o equilíbrio do mesmo e dando lugar à redistribuição das tensões na rocha. Essa redistribuição das tensões é um processo dinâmico e não homogêneo, que depende de diferentes fatores, principalmente do estado de tensões *in situ*, da rigidez da rocha e da geometria da escavação.

Naquele processo parte da energia de deformação se dissipa e parte da energia se acumula ao redor do maciço. Se a energia de deformação acumulada na rocha circundante, durante sua deformação e ruptura, não só satisfizesse as necessidades de deformação e fratura do maciço rochoso, mas também fosse suficiente para transformar essa energia de deformação residual em energia cinética, fará que os fragmentos de rocha sejam expulsos,

portanto o *rockburst* ocorrerá (Chen *et al.*, 2003).

O *rockburst* precisa de duas condições para ser gerado (Dong *et al.*, 2013): a primeira, é que as tensões induzidas na rocha são o suficientemente altas para ultrapassar a sua resistência, e a segunda é que a rocha deve ter características físicas que permitam que ela seja capaz de armazenar energia de deformação, até ultrapassar o limite para a ruptura repentina.

3 METODOS DE AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ROCKBURST

Uma vez feita uma pequena descrição do fenômeno e entendendo as suas principais causas, é necessário saber como avaliar o potencial que poderia ter uma escavação subterrânea a um evento de *rockburst*. Na literatura existem diferentes métodos que tentam fazer esta avaliação, levando em consideração diferentes hipóteses e princípios. Eles podem ser agrupados em duas grandes categorias (Tang, 2000): os métodos baseados na mecânica das rochas (análise de tensões e análise energética) e os métodos baseados em princípios sismológicos.

Na Tabela 1 são apresentados alguns dos critérios mais representativos, os quais estão contidos dentro dos princípios da mecânica das rochas, particularmente, os critérios baseados nas tensões e as propriedades mecânicas da rocha. Estes são descritos a seguir.

3.1 Critérios de Fragilidade das Rochas

Tem sido observado por muitos pesquisadores que a fragilidade da rocha tem um papel muito importante quanto ao seu comportamento frente a um fenômeno de *rockburst*. A fragilidade na rocha é estudada desde diferentes abordagens (Hucka & Das, 1974), como são a porcentagem de deformação reversível e porcentagem de energia reversível, e desde a relação entre a resistência à compressão e à tração e, a envoltória de Mohr-Coulomb, entre outras.

Hucka & Das (1974) avaliam a fragilidade da rocha a partir de dois conceitos empíricos, no primeiro (Equação 1, Tabela 1), eles observaram que a fragilidade incrementa da mesma forma que aumenta a diferença entre a resistência à

Tabela 1. Principais critérios de *rockburst* pelo método da mecânica das rochas.

Critério	Autor	Equação		Potencial de rockburst			
				Não	Baixo	Moderado	Violento
Fragilidade das rochas	Hucka & Das (1974)	$B_1 = \frac{\sigma_c - \sigma_t}{\sigma_c + \sigma_t}$ $B_2 = \sin \phi$	(1)	--	--	--	--
	Qiao & Tian (1998)	$B = \frac{\sigma_c}{\sigma_t}$	(2)	> 40	40 – 26,7	26,7 – 14,5	< 14,5
Índice de atividade	Tao (1988)	$R = \frac{\sigma_c}{\sigma_1}$	(3)	> 14,5	14,5 – 5,5	5,5 – 2,5	< 2,5
Coeficiente de tensão	Gu – Tao	$Ra = \frac{\sigma_1}{\sigma_c}$	(4)	< 0,15	0,15 – 0,20	0,20 – 0,40	> 0,40
	Barton			< 0,2	--	0,2 – 0,4	> 0,4
	Hou et al (1992)			< 0,30	0,3 – 0,37	0,37 – 0,62	> 0,62
Tensão tangencial	Wang et al (1988)	$Ts = \frac{\sigma_\theta}{\sigma_c}$	(5)	< 0,30	0,30 – 0,50	0,50 – 0,70	> 0,70
	Rusenses (1974)			< 0,20	0,20 – 0,30	0,30 – 0,55	> 0,55
	Hoek & Brown			< 0,34	0,34 - 0,42	0,42 – 0,56	> 0,56

compressão e à resistência a tração da rocha

No segundo (Equação 1, Tabela 1), eles descreveram que a fragilidade pode ser obtida desde a envoltória de ruptura de Mohr-Coulomb, devido ao que foi observado que materiais dúcteis apresentam um baixo ângulo de atrito, enquanto que materiais frágeis apresentam um alto ângulo. Foi observado que o potencial de *rockburst* parece incrementar assim que aumentam os valores da fragilidade da rocha. Estes critérios são da década dos 70, pelo que Tang, (2000) não aconselha seu uso, pois são um pouco empíricos e arbitrários.

Qiao & Tian (1998) utilizaram a definição de fragilidade da rocha dada por um índice de relação entre a resistência à compressão uniaxial e a resistência à tração da rocha. Estes autores a partir de um estudo paramétrico e investigações *in situ*, determinaram que quanto menor for este índice, maior é o potencial de *rockburst*. Tal índice é obtido pela Equação 2 (Tabela 1), ali, também são apresentados os intervalos de avaliação do potencial.

3.2 Critério de Índice de Atividade

Tao (1988) propôs um índice *R* que considera a resistência à compressão uniaxial da rocha σ_c e a tensão principal maior σ_1 na região da escavação. Sua experiência em projetos de mineração chinesa os levou à Equação 3 e classificação do potencial de *rockburst* apresentados na Tabela 1.

3.3 Critérios de Coeficiente de Tensão

O critério de Gu – Tao (Wu & Zhang, 1997) foi

baseado na pesquisa feita por Gu, quem apresentou as múltiplas condições para a ocorrência de um evento *rockburst*, e na pesquisa de Tao, quem propôs um critério de *rockburst* baseado na tensão principal maior (Zhang & Fu, 2008). Estes autores juntaram as duas teorias e criaram o critério para a classificação do potencial *rockburst*, o qual é apresentado na Tabela 1. O potencial de *rockburst*, segundo estes autores, é avaliado pela Equação 4.

O Critério de Bartón (Hou *et al.*, 1992) leva em consideração a condição das tensões *in situ* ao redor da escavação e a resistência da rocha intacta para avaliar a intensidade de um evento de *rockburst*, por meio da relação *Ra* da Equação 4 (Tabela 1). Os valores sugeridos para a classificação da intensidade são apresentados Tabela 1.

Similar aos critérios anteriores, Hou *et al.* (1992) propuseram um índice para avaliar a intensidade de um possível evento de *rockburst*. Neste critério, ele considera a tensão principal maior σ_1 (*in situ*), a tensão principal intermediária σ_2 (*in situ*) e a resistência à compressão uniaxial da rocha σ_c . É assumida a relação $\sigma_1/\sigma_2=0,5$ e assim, partindo da relação *Ra* da Equação 4, são propostos intervalos para a classificação da intensidade do potencial do *rockburst*, apresentados na Tabela 1.

3.4 Critérios de Tensão Tangencial

O Critério de Wang *et al.* (1988) para a avaliação do potencial de um evento de *rockburst*, utiliza a tensão tangencial máxima induzida na escavação e as propriedades do maciço rochoso, isto por

meio da resistência da rocha intacta (Wang & Park, 2001). Esta avaliação é feita por meio da Equação 5. A classificação da intensidade do potencial do *rockburst* é apresentados na Tabela 1.

Similar ao critério anterior, o Critério de Rusenses (1974) e o Critério de Hoek & Brown (Zhou *et al.*, 2012) avaliam o potencial de um evento de *rockburst*, a partir da tensão tangencial máxima induzida (σ_θ) e a resistência da rocha intacta, através da Equação 5, porém utilizam diferentes intervalos para a classificação da intensidade do potencial, como pode ser observado na Tabela 1.

4 MODELAGEM NUMÉRICA

A modelagem numérica consistiu na simulação de um túnel, a uma profundidade de 500 m, com o objetivo de avaliar a influência da geometria da escavação e a influência das tensões *in situ* na formação do potencial de *rockburst*. A influência da geometria da escavação é avaliada utilizando duas seções típicas, uma circular e uma em arco-retângulo (Figura 1).

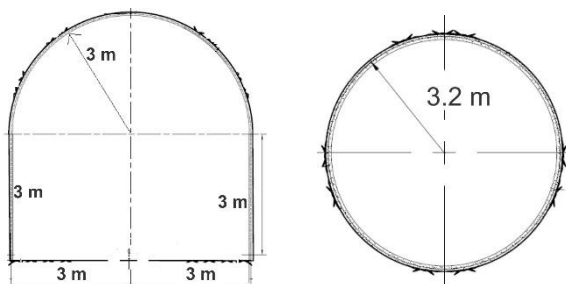


Figura 1. Geometria da escavação.

A influência das tensões *in situ* é avaliada por meio de quatro etapas de modelagem. Em cada uma delas, foram definidos diferentes estados de tensões, os quais são mostrados na Tabela 3. A modelagem foi feita no software *Examine 3D*.

Na modelagem numérica foi utilizado o critério de ruptura de Hoek & Brown generalizado. Os parâmetros elásticos e de resistência foram estimados tendo como referente a rocha Diorito, que é uma rocha ígnea plutônica. Isto porque, junto com o Andesito, é uma rocha muito comum na Cordilheira dos Andes. Na Tabela 2 são apresentados estes

parâmetros utilizados.

Tabela 2. Parâmetros resistência do maciço rochoso.

Parâmetro	Valor
σ'_{ci}	150 (MPa)
m_i	25
GSI	70

4.1 Influência do Estado de Tensões

Para a avaliação do efeito do estado de tensões *in situ* na formação do potencial de *rockburst*, foram definidas quatro etapas, tendo como base as seguintes hipóteses:

A seção do túnel é circular e está a uma profundidade de 500 m.

O peso específico da rocha é de 27 kN/m³, portanto a tensão vertical *in situ* σ_v é de 13,5 MPa (Tensão geostática).

A tensão vertical *in situ* sempre será o peso da coluna de rocha. Ou seja, independentemente de que a tensão principal maior esteja em uma direção diferente da vertical ou da horizontal, se deve cumprir que a tensão vertical seja a tensão geostática $\sigma_v = 13,5$ MPa.

As diferentes etapas estão descritas na Tabela 3 e nas Figuras 3 a 6.

4.1.2 Resultados da modelagem Numérica

Etapas 1: Na Figura 2 é apresentado o resultado da tensão principal maior σ_1 induzida na escavação, obtida da modelagem feita com o *Examine 3D*, para o caso de $k_0=2.0$.

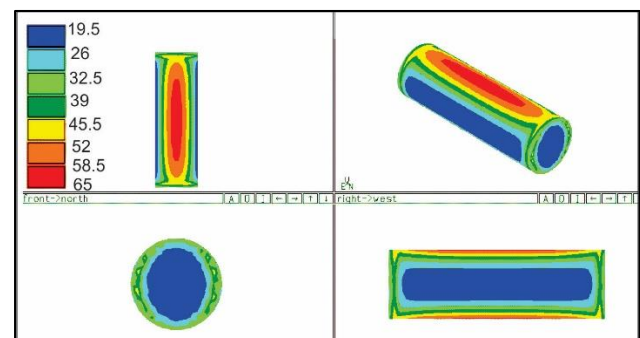


Figura 2. Tensão principal maior induzida – Etapa 1.

Na Figura 7 são apresentados os resultados da tensão principal maior induzida, os resultados da tensão tangencial máxima, calculada pela formulação de Kirsch e a tensão principal maior *in situ*.

Com estes valores foi avaliado o potencial de

Tabela 3. Etapas de Modelagem

Etapa	Descrição	Estados de tensão
Etapa 1: Estado de tensões gravitacionais – Variação do k_0	Tensões na direção vertical e horizontal. Figura 2	16 estados de tensão. k_0 [0.3 – 4.0]
Etapa 2: Rotação das tensões na seção transversal do túnel	Tensões σ_1 e σ_3 rotando ao redor do eixo longitudinal do túnel, que corresponde ao eixo da σ_2 (eixo X). Isto quer dizer que a rotação é feita no plano YZ . Ângulo de rotação θ é medido com respeito à tensão vertical. Figura 3	Ângulos de rotação θ [0°, 30° 45°, 60°, 90°].
Etapa 3: Rotação das tensões na seção longitudinal do túnel	Tensões σ_1 e σ_3 rotando ao redor do eixo transversal do túnel, que corresponde ao eixo da σ_2 (eixo Z). Isto quer dizer que a rotação é feita no plano YX . Ângulo de rotação θ é medido com respeito à tensão vertical. Figura 4	k [0.3 0.5 1.0 2.0 3.0 4.0].
Etapa 4: Rotação horizontal das tensões	Tensões σ_1 e σ_3 rotando ao redor do eixo vertical do túnel, (eixo Y), por tanto, a rotação é feita no plano XZ . Figura 5	30 estados de tensão para cada etapa.

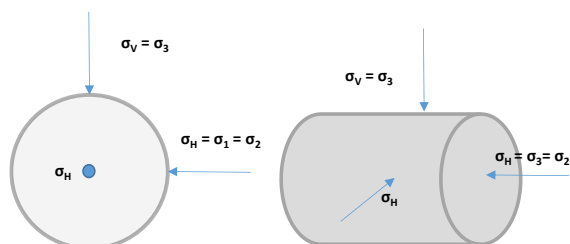


Figura 3. Etapa 1.

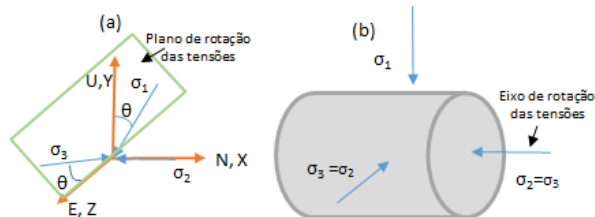


Figura 4. Etapa 2

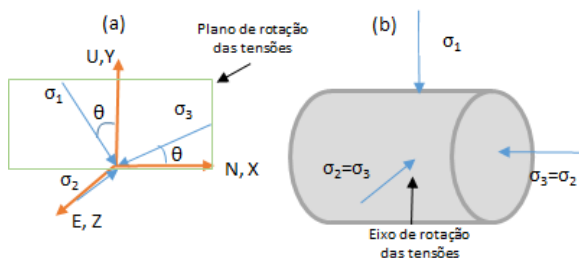


Figura 5. Etapa 3.

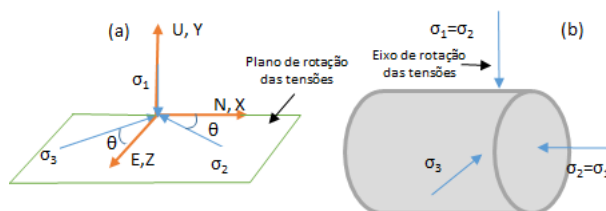


Figura 6. Etapa 5.

rockburst, o qual é apresentado na mesma Figura 7, em função do k_0 .

Foi calculado novamente o potencial com os critérios Tangenciais, mas em vez de utilizar a tensão tangencial, foi utilizada a tensão principal maior induzida na escavação, os resultados desta avaliação são apresentados na Figura 8.

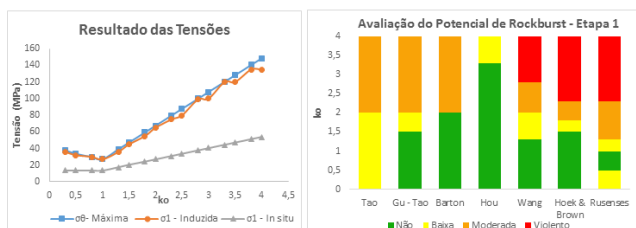


Figura 7. Resultados tensões induzidas e potencial de rockburst.

porque para estes valores de k_0 , a diferença entre a tensão principal maior e menor ($\sigma_1 - \sigma_3$) é muito alta.

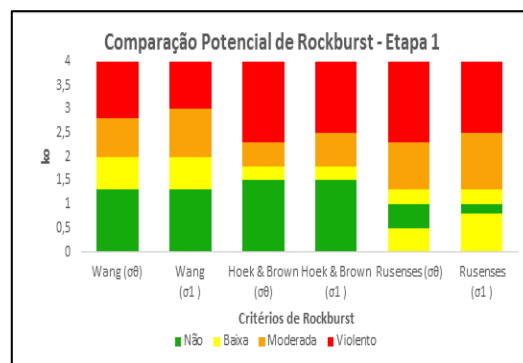


Figura 8. Comparação do potencial de rockburst – Etapa 1.

Na Figura 7 pode se observar que o potencial de rockburst aumenta quando aumenta o valor de k_0 , isto quer dizer e como é de se esperar, que o potencial de *rockburst* aumenta assim que aumentam as magnitudes das tensões. O critério de Rusensens apresenta um potencial de *rockburst* Baixo para valores de k_0 menores a 0.5, isto

Na Figura 8 se observa que onde foi calculado o potencial com a tensão principal maior induzida diminuíram a quantidade de resultados com potencial de *rockburst* Violento, porém aumentaram os casos com potencial Moderado.

Nas etapas 2, 3 e 4 são só mostrados os resultados para um ângulo de rotação, devido à

quantidade de dados, além em alguns casos, estes foram similares (Ver Perez, 2015).

Etapa 2: Na Figura 9 até a Figura 11 são apresentados o resultados da etapa 2 para o caso de $\theta=30^\circ$ e para os valores do k mostrados na Tabela 3.

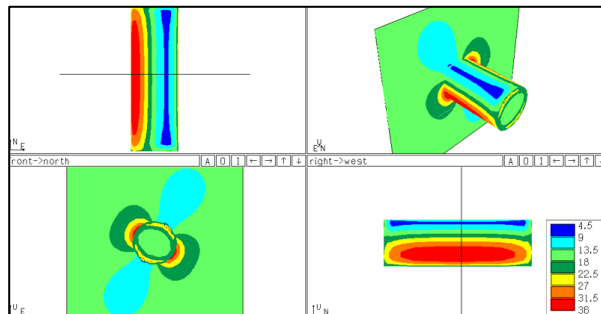


Figura 9. Resultados da tensão principal maior ($k=2$ e $\theta=30^\circ$)

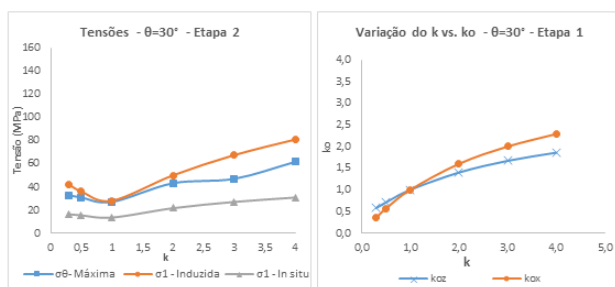


Figura 10. Resultados das tensões e a variação do k_0 vs k $\theta=30^\circ$.

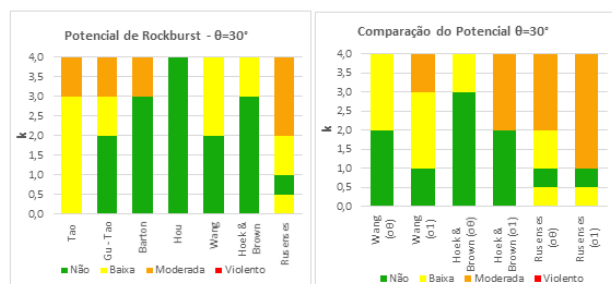


Figura 11. Resultados do potencial e comparação do potencial.

Etapa 3: Na Figura 12 e Figura 13 são apresentados o resultados da etapa 3 para o caso de $\theta=60^\circ$.

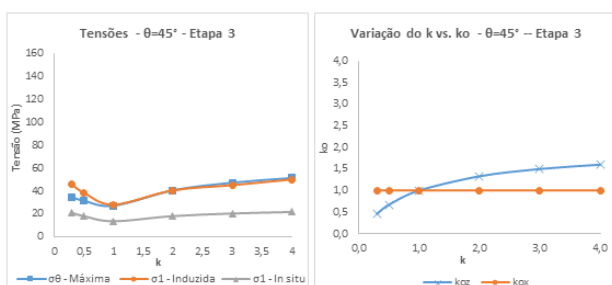


Figura 12. Resultados das tensões e a variação do k_0 vs k $\theta=45^\circ$.

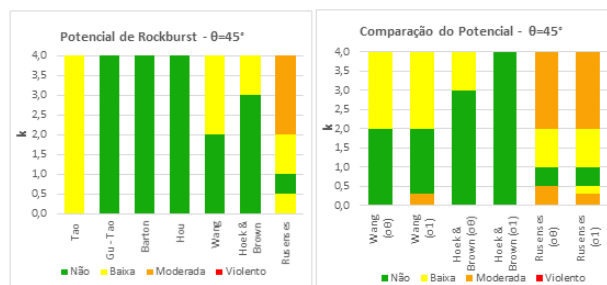


Figura 13. Resultados do potencial e comparação do potencial.

Etapa 4: Na Figura 14 e Figura 15 são apresentados o resultados da etapa 4 para o caso de $\theta=60^\circ$.

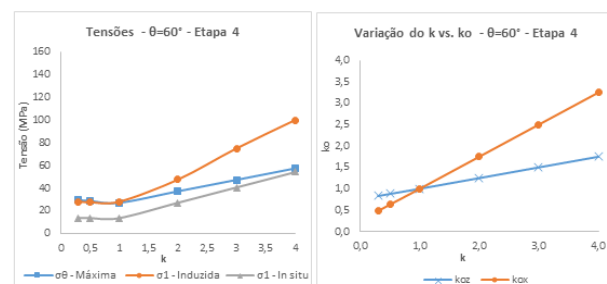


Figura 14. Resultados das tensões e a variação do k_0 vs k $\theta=60^\circ$.

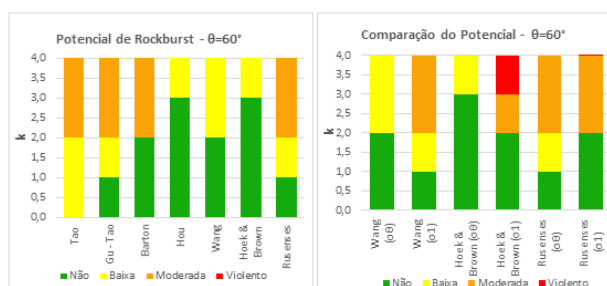


Figura 15. Resultados do potencial e comparação do potencial.

Os critérios do Tao, Gu – Tao, Barton e o critério de Hou mostraram nas quatro etapas que as orientações destas tensões não influenciam na sua avaliação do potencial de *rockburst*. Além do anterior, estas avaliações na maioria dos casos foram bem diferentes do que as avaliações dos critérios tangenciais, as intensidades foram sempre menores. No caso dos critérios tangenciais, o problema observado nas diferentes etapas, é que quando as tensões principais *in situ*, estão em uma direção diferente da vertical e a horizontal, as tensões tangenciais são menores do que quando as principais estão na vertical e horizontal, portanto nesses casos, a intensidade do potencial de *rockburst* é subestimado.

4.2 Influência da Geometria da Escavação.

Como foi descrito acima, foram definidas duas

geometrias, uma circular e uma em arco-retângulo. Para avaliar o efeito da geometria da escavação é necessário que sejam comparadas as tensões induzidas obtidas da modelagem, em cada uma das seções, para analisar seu efeito na formação do potencial de *rockburst*. A avaliação do efeito do estado das tensões *in situ* foi simulada na seção circular, portanto, os resultados dessa avaliação são utilizados também nesta análise.

Da seção circular foram obtidas as tensões no teto, chão e na parede (Figura 16) e da seção em arco-retângulo foram tiradas as tensões no teto, na transição arco-retângulo (ombro), no centro da parede do retângulo e no canto do retângulo, como se observa na Figura 16, representados com os círculos.

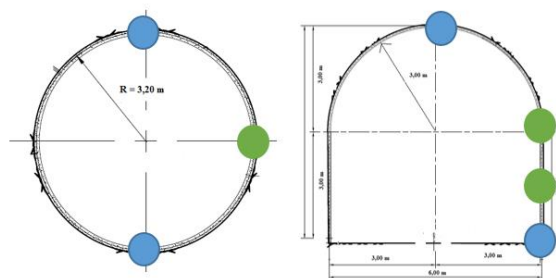


Figura 16. Locais para comparação das tensões.

Na Figura 17 é apresentado o resultado da tensão principal maior induzida na seção em arco-retângulo para um estado de tensão da Etapa 2, com $k=2,0$ e $\theta=30^\circ$.

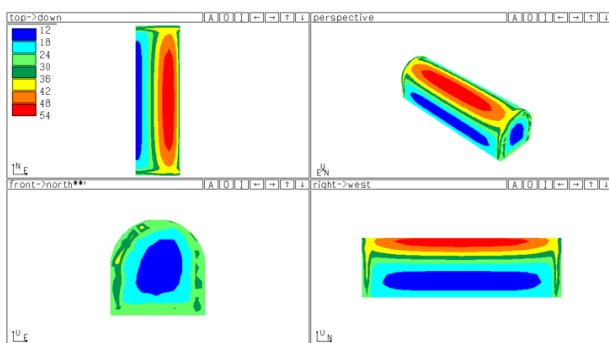


Figura 17. Tensão principal maior induzida na seção arco-retângulo. Etapa 2, $k=2,0$ e $\theta=30^\circ$.

Na Figura 18 é apresentado o resultado das tensões e da avaliação do *rockburst* desta etapa, para o caso do teto na seção circular (σ_{1t-C}), no teto (σ_{1t-AR}) e o canto (σ_{1c-AR}) da seção arco-retângulo.

Na Figura 19 são apresentados os resultados para o caso da parede na seção circular (σ_{1p-C}) e

na parede (σ_{1p-AR}) e no ombro (σ_{1o-AR}) da seção arco-retângulo

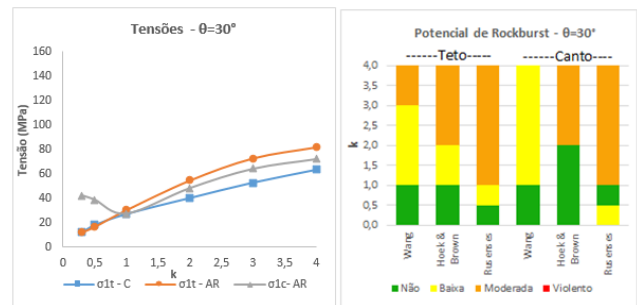


Figura 18. Tensões induzidas e potencial de rockburst – Teto e Canto.

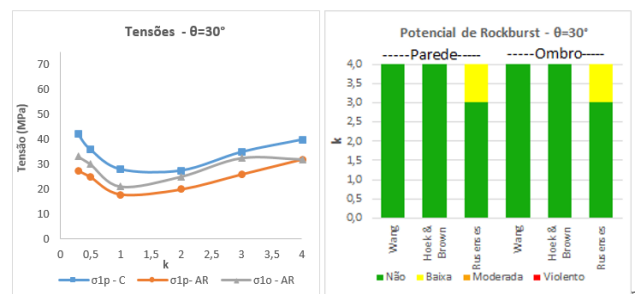


Figura 19. Tensões induzidas e potencial de rockburst – Parede e Ombro.

Dos resultados anteriores se observou, para caso do teto, que nos três ângulos de rotação avaliados, a tensão induzida na seção arco-retângulo foi maior do que a tensão na seção circular (Figura 18). Para o caso das tensões no ombro e na parede da seção arco-retângulo, de forma geral, estas apresentaram menores magnitudes do que a tensão na parede da seção circular (Figura 19), a exceção do ângulo de rotação de 0° onde se apresentou uma maior magnitude para valores de k maiores do que 2, portanto nesse caso se observou um aumento no potencial de *rockburst*. Nos ângulos de rotação restantes não se apresentaram mudanças com respeito ao potencial obtido nas etapas anteriores com a seção circular

CONCLUSÕES

Da análise inicial das equações que avaliam o potencial, se observa que nenhuma delas levam em consideração a direção das tensões, tanto *in situ* como induzidas. Isto é comprovado ao comparar os resultados da Etapa 1 e 2, principalmente nos critérios que utilizam a tensão tangencial, pois ela é sempre máxima no

teto ou na parede, portanto, supõe que a direção das tensões principais é sempre vertical e horizontal, o qual nem sempre acontece.

Quando as tensões *in situ* estão em uma direção diferente da horizontal e vertical, o valor da tensão principal maior induzida difere da tensão tangencial máxima, sendo maior a tensão principal maior induzida, o que implica que a avaliação do potencial de *rockburst* é subestimada e a posição da zona com o potencial é também determinada de forma errada.

A orientação das tensões principais *in situ* com respeito à orientação da escavação tem uma grande influência, principalmente no caso dos critérios tangenciais. Se as tensões principais não estão no mesmo plano que a seção transversal, se apresenta um menor potencial de *rockburst* do que quando estas tensões não estão na direção vertical e horizontal. Isto se observa ao comparar os resultados da Etapa 3 com os da Etapa 2, pois nas duas etapas se têm as mesmas magnitudes dos estados de tensões, porém diferentes atitudes.

O problema observado durante as diferentes etapas da modelagem é que quando as tensões principais *in situ*, estão em uma direção diferente da vertical e a horizontal, os valores obtidos para a tensão tangencial são menores do que quando as tensões principais estão na vertical e horizontal, por tanto nesses casos, a intensidade do potencial de *rockburst* é subestimado.

Na avaliação da influência da geometria, se observou um aumento nas tensões induzidas no teto da escavação na seção arco-retângulo, portanto um aumento no potencial de *rockburst* nesta zona, além da concentração das tensões geradas no canto da escavação, que também são maiores do que as tensões no chão da seção circular, gerando um potencial de *rockburst* neste local.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CNPq pelo apoio econômico para a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Blake, W. & Hedley, D.G.F. (2009). Rockburst: Case Studies from North American Hard-Rock Mines. Electronic. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. (SEM), Littleton, CO, USA.
- Chen, H., Li, N., Nie, D. & Shang, Y. (2003). Prediction of rockburst by artificial neural network. Chinese J. Rock Mech. Eng., 22(5): 762–768.
- Dong, L., Li, X. & Peng, K. (2013). Prediction of rockburst classification using random forest. Trans. Nonferrous Met. Soc. China, 23(November 2011): 472–477.
- Dou, L.M., Lu, C.P., Mu, Z.L. & Gao, M.S. (2009). Prevention and forecasting of rock burst hazards in coal mines. Min. Sci. Technol., 19(May): 585–591.
- Hoek, E. (2000). Rock Engineering.
- Hou, F., Liu, X. & Wang, M.C. (1992). Re-analysis of rockburst mechanism and discussion on the gradation of the rockburst intensity. CSRME ed. Proc. Third Natl. Conf. Rock Dyn. Wuhan Univ. Mapp. Technol. Press, : 448–457.
- Hucka, V. & Das, B. (1974). Brittleness determination of rocks by different methods. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr., 11(10): 389–392.
- Li, S.Y., He, X.S., Zhang, S.Q., Lu, G.H., Jiang, X.Q., Tong, X.H., Li, T., Guan, E.F., Zou, Y., Sun, X.H. & Li, G.J. (2004). Development and recent achievement of mining shk observation. Prog. Geophys., 19: 853–859.
- Perez, J.R. (2015). Estudo do Potencial de Rockburst em Túneis por Análise de Tensões. Universidade de Brasília.
- Qiao, C.S. & Tian, Z.Y. (1998). Study of the possibility of rockburst in dong-gua-shan copper mine. Chinese J. Rock Mech. Eng., 17: 917–921.
- Roberts, M.K.C., Dachnke, a. & Jaku, E.P. (2001). Rock-related fatality trends in the south african gold mining industry. J. South African Inst. Min. Metall., 101(7): 353–358.
- Rusenses, B.F. (1974). Analysis of Rock Spalling for Tunnels in Steep Valley Sides (In Norwegian). M.Sc. Theses. Departament of Geology, Norwegian Institute of Technology.
- Tang, B. (2000). Rockburst Control Using Destress Blasting. Ph.D. Theses. Departament of Mining and Metallurgical Engineering, McGill University, Montreal, Canada.
- Tao, Z.Y. (1988). Support design of tunnels subjected to rockbursting. ISRM Int. Symp. Rock Mech. Power Plants, (Romania): 407–411.
- Wang, J. a. & Park, H.D. (2001). Comprehensive prediction of rockburst based on analysis of strain energy in rocks. Tunn. Undergr. Sp. Technol., 16: 49–57.
- Wu, Y.K. & Zhang, W.B. (1997). Prevention of rockburst in coal mines in china. Proc. 4th Int. Symp. Rockburst Seism. Mines, : 316–366.
- Zhang, J. & Fu, B. (2008). Rockburst and its criteria and control. Chinese J. Rock Mech. Eng., 27(10): 2034–2042.
- Zhou, J., Li, X. & Shi, X. (2012). Long-term prediction model of rockburst in underground openings using heuristic algorithms and support vector machines. Saf. Sci., 50(4): 629–644.