

ANÁLISE DAS TENSÕES *IN SITU* NA MINA CUIABÁ – SABARÁ – MINAS GERAIS - BRASIL

In situ stress analysis of the Cuiaba Mine – Sabará – Minas Gerais - Brasil

Isabela Ribeiro Tropia*

Rodrigo Peluci de Figueiredo**

RESUMO – Nos projetos de mina subterrânea, o estudo do campo de tensão *in situ* é fundamental, já que esses requerem, diretamente ou como dado de entrada, a orientação e a magnitude das tensões para o dimensionamento das suas escavações subterrâneas, suporte e reforço dessas, desenvolvimento de modelos numéricos, determinação de métodos e sequenciamento de lavra, previsão de *rockburst*, entre outros. O conhecimento do estado de tensão *in situ* geralmente se baseia nas deformações medidas em ensaios diretos como, por exemplo, o de sobrefuração. Por possuir um alto custo, geralmente, restringe-se esse tipo de ensaio a poucas medições. No entanto, outras informações podem ser avaliadas para a compreensão das tensões sendo denominados de métodos indiretos e indicativos, como *discing* e *breakout*. A análise e a comparação dos dados obtidos nos ensaios diretos com as informações de *discing* e *breakout* mostraram-se na Mina Cuiabá de grande valor para a concepção de um modelo das tensões *in situ*.

SYNOPSIS – In underground mine projects, the *in situ* stress knowledge is essential, since those need, directly or as an input, the stress orientation and magnitude for the underground excavations design, their support and reinforcement, construction numerical modeling, mining method and mining sequence selection, rockburst prediction and others. The *in situ* stress knowledge is generally based on *in situ* strain measurements, as the overcoring technique. Since they have a high cost, generally this kind of measurements is limited to some. Nevertheless, different information can be used for stress estimation known as indirect and indicative techniques, like *discing* and *breakout*. The analysis and comparison of the direct measurements with *discing* and *breakout* information provided to the Cuiaba Mine considerable data for its *in situ* stress model construction.

PALAVRAS CHAVE – Tensão *in situ*, *discing*, *breakout*.

1 – INTRODUÇÃO

A Mina Cuiabá, localizada no município de Sabará a 35km da capital do estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, constitui, atualmente, uma das minas subterrâneas de ouro mais importantes do Brasil alcançando mais de uma centena de quilômetros de escavações, com profundidades superiores a 1100m. Os principais métodos de lavra utilizados são o Corte e Enchimento, o *Sublevel Stopping* e em menor proporção, Câmaras e Pilares.

A Mina Cuiabá possui diversas evidências e dados disponíveis que contribuíram para a elaboração de um modelo do campo de tensões *in situ*. O presente estudo avaliou e comparou métodos diretos e convencionais para se estimar as tensões *in situ*, determinadas pelo método de sobrefuração, com outros métodos indiretos, como *discing* e *breakout*.

* Geóloga (MSc), Núcleo de Geotecnia - Universidade Federal de Ouro Preto.
E-mail: isabelatropia@yahoo.com

** Professor Associado, Escola de Minas - Universidade Federal de Ouro Preto.
E-mail: rpfigueiredo@yahoo.com.br

Se por um lado os métodos diretos de determinação de tensões *in situ* são leituras quantitativas das tensões em um determinado ponto, nem sempre seus resultados podem ser estendidos a diferentes setores. Além disso, economicamente, os métodos diretos não são passíveis de serem aplicados em todos os domínios de tensões da mina. Por isso, os métodos indiretos podem ser utilizados em maior número, abrangendo distintas regiões e fornecendo uma distribuição espacial mais representativa das tensões.

Este trabalho refere-se à dissertação de mestrado apresentada à Universidade Federal de Ouro Preto em dezembro de 2013 (Tropia, 2013).

2 – GEOLOGIA

A Mina Cuiabá está inserida no contexto geológico do Quadrilátero Ferrífero e suas unidades pertencem à sequência do Grupo Nova Lima. A divisão estratigráfica dos seus litotipos foi proposta por Vieira e Oliveira (1988, citado por Ribeiro-Rodrigues *et al.*, 2007) tendo basicamente três unidades:

- Inferior: metavulcânica máfica (metandesito) intercalada por metapelito e lentes de metapelito carbonoso. É sobreposta por uma camada de BIF (formação ferrífera bandada) onde se encontra a mineralização aurífera.
- Intermediária: sequência de metapelito carbonoso, metavulcânica máfica com intercalações locais de metapelito.
- Superior: metapelito alternado com metavulcanoclástica.

Os eventos tectônicos responsáveis pela estruturação geológica da Mina Cuiabá geraram nas suas unidades uma foliação proeminente, milonítica de mergulho médio para SE (Lobato *et al.*, 2001) e outra foliação mais nova de direção NNE-SSW. Diversos autores interpretam que a estrutura de Cuiabá pode ser o resultado de uma dobra que foi redobrada. Nos corpos mineralizados são reconhecidos esses dobramentos de escala métrica e cuja atitude para seus eixos está entre 130° e 160° com mergulho médio de 20 a 35°. Essas dobras são reconhecidas em diferentes níveis da mina e podem ser correlacionadas pelo seu mergulho.

3 – MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia de trabalho teve como referência a quinta norma publicada pela *International Society of Rock Mechanics*, ISRM (Stephansson e Zang, 2012), em que se apresenta uma diretriz para a construção de um modelo de tensões *in situ* de uma determinada área.

Os estudos seguiram a sequência de etapas propostas na publicação adaptando-se e limitando-se aos dados e ensaios disponíveis na Mina Cuiabá. Foram levantados dados de geologia (litológicos e estruturais), topografia, informações de sondagem e das tensões *in situ* regionais disponíveis no Mapa Mundial de Tensões (WSM - *World Stress Map*) (Heidbach *et al.*, 2008). Como essas variáveis são capazes de influenciar e modificar o estado de tensão, elas foram levadas em consideração nas análises realizadas.

Foram ainda considerados dados de ensaios de compressão uniaxial (UCS), mapeamento geomecânico e classificação dos maciços rochosos de realces de lavra e galerias, mapeamento geológico e estrutural, ensaios de determinação de tensão *in situ* (método de sobrefuração), modelos numéricos de análise tensão-deformação e levantamento topográfico das escavações. O levantamento dos dados geomecânicos de *breakouts* dos poços de ventilação e de *discing* nos furos de sondagens exploratórias da Mina Cuiabá também fizeram parte do estudo de tensões.

Os testemunhos de sondagem e os poços de ventilação tiveram uma descrição criteriosa para entendimento de suas ocorrências.

A análise dos ensaios de sobrefuração contribuiu para uma estimativa das tensões *in situ* e conhecimento de sua orientação e magnitude, além de base comparativa para os outros métodos (*discing* e *breakout*).

A última etapa dos estudos compreendeu a análise e combinação dos dados obtidos de diversas fontes (*discing*, *breakout*, ensaios *in situ*, modelos numéricos), originando então a concepção do modelo das tensões *in situ* para a Mina Cuiabá.

4 – RESULTADOS

4.1 – Ensaios *in situ* de sobrefuração

Foram conduzidos na Mina Cuiabá dois ensaios de tensão *in situ* cujo método utilizado foi o de sobrefuração com células triaxiais CSIR (*overcoring*) com o objetivo de fornecer informações sobre o campo de tensões para o planejamento e desenvolvimento da mina. A campanha de determinação de tensões ocorreu em dois níveis (primeiro ensaio a 680m de profundidade no nível 12 e o segundo a 820m no nível 14, aproximadamente), contando com três ensaios em cada um.

O ensaio do nível 12 foi realizado em uma galeria de acesso a um dos corpos mineralizados e por isso, foi realizado na rocha encaixante descrita como metavulcanoclástica (XS). No nível 14, o furo de sondagem foi executado em uma galeria desenvolvida no corpo de minério e todos os ensaios foram realizados em BIF.

As tensões estimadas com as leituras de deformação consideraram os parâmetros elásticos (E e ν) dos litotipos (XS e BIF) já conhecidos pela mina e ajustados para uma interpretação coerente do ensaio. Esses parâmetros foram obtidos com a realização de ensaios de compressão uniaxial em amostras coletadas e ensaiadas nos laboratórios de FURNAS Centrais Hidrelétricas e da UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais), Departamento de Engenharia de Minas, a partir do ano de 2004. Os Quadros 1 e 2 resumem os parâmetros e tensões estimadas.

Quadro 1 – Parâmetros elásticos utilizados para XS (furo 1) e BIF (furo 2).

| Posição do ensaio | Litotipo | E (GPa) | ν |
|-------------------|----------|---------|-------|
| Nível 12 | XS | 60 | 0,25 |
| Nível 14 | BIF | 99 | 0,25 |

Quadro 2 – Tensões principais calculadas para os ensaios dos furos 1 e 2, considerando as propriedades do Quadro 1.

| Furo | Tensões principais (MPa) | Azimute (°) | Mergulho (°) |
|---------|--------------------------|-------------|--------------|
| 1 (XS) | $\sigma_1 = 24,4$ | 188 | 60 |
| | $\sigma_2 = 22,46$ | 040 | 26 |
| | $\sigma_3 = 10,84$ | 304 | 14 |
| 2 (BIF) | $\sigma_1 = 80,7$ | 311 | 3 |
| | $\sigma_2 = 38,15$ | 041 | 8 |
| | $\sigma_3 = 25,75$ | 198 | 81 |

Ensaios de determinação de tensões são sensíveis a diversas variáveis (litológicas, estruturais e topográficas, por exemplo) e, devido a isso, os dois ensaios foram interpretados separadamente.

A rocha existente na região do Furo 1 (XS) evidencia forte anisotropia marcada pela sua foliação (xistosidade). Mapeamentos geológicos realizados nas proximidades do ensaio indicam medidas estruturais com atitudes para a foliação com azimutes SE-S e mergulho entre 20° e 50°. A orientação obtida para a tensão principal maior σ_1 no ensaio do nível 12, 188/60, foi fortemente controlada pela foliação neste local uma vez que possui orientação próxima às atitudes mapeadas. O campo de tensões estimado para este local pode estar representando assim um campo de tensão “estrutural” orientado, ou seja, perturbado pela foliação (anisotropia).

Próximo ao local de realização do ensaio 2 foram analisados dados estruturais de mapeamento geológico que indicaram ser uma região de dobramento da BIF com eixo de atitude 095/28 e foliação com atitude de 130/35. O modelo das dobras regionais, reconhecido na Mina Cuiabá, mostra que a camada de BIF, geralmente se espessa e possui mergulhos variados, sendo que às vezes, ocorre rompimento de sua estrutura, atribuindo assim uma condição geológica peculiar a esses locais. Essa particularidade estrutural pode explicar a razão da magnitude determinada nos ensaios de sobrefuração no nível 14 indicarem valores altos, σ_1 igual a 80MPa por exemplo, que são compatíveis a locais de concentração de tensão, como em dobras.

Em termos de propriedade reológica, a geologia da Mina Cuiabá resume-se basicamente em um pacote de formação ferrífera bandada (BIF) caracterizada como uma camada rígida (rúptil) encaixada em xistos (XS) menos rígidos (dúctil), cujos módulos elásticos podem ser comparados como $E_{BIF} > E_{XS}$.

Hudson e Cooling (1988) descrevem como contrastes de rigidez entre materiais, como o que ocorre na mina, influenciam e perturbam de maneira geral a orientação das tensões *in situ*. Na Fig. 1, apresentam-se três situações em que as tensões *in situ* se alteram pela presença, no caso 1, de uma descontinuidade aberta, em 2 quando essa possui a mesma propriedade (E, módulo elástico) do meio e, por fim, no caso 3, quando possui rigidez maior que o meio.

No caso 3, as tensões são desviadas sendo que a tensão principal maior, σ_1 , se ortogonaliza à camada de maior módulo, $E_D > E$ e a tensão principal intermediária, σ_2 , se paraleliza à essa camada

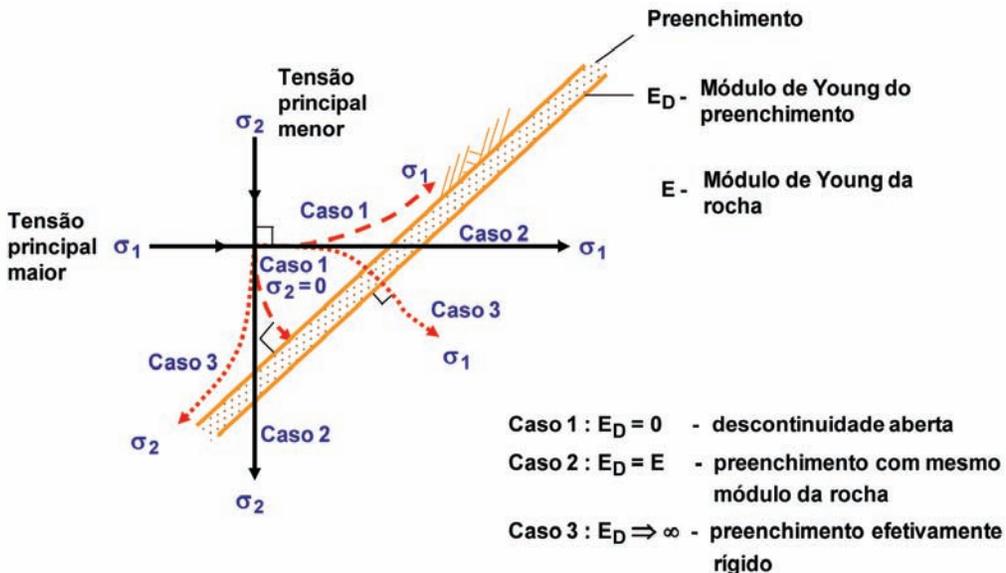


Fig. 1 – Alteração na orientação das tensões *in situ* devido ao diferente valor do módulo de Young entre a encaixante e o preenchimento (Hudson e Cooling, 1988).

E_D de maior módulo. Os dados do mapeamento geológico do nível 14 na região do ensaio apresentaram para a BIF uma direção média NE/SW e mergulho para SE, como já descrito. Quando comparada com a orientação da tensão σ_1 medida no ensaio e a direção da camada de BIF observa-se que essas são aproximadamente ortogonais. A tensão σ_2 (direção e caimento igual a 041/08) por sua vez é aproximadamente paralela à direção da BIF.

A análise da orientação das tensões determinadas no ensaio e a atitude da BIF indicam que a partir da teoria de Hudson e Cooling (1988) a camada de BIF funciona então como um anteparo rígido para as tensões *in situ* na região da mina.

4.2 – Breakout

A ventilação e a refrigeração da Mina Cuiabá são realizadas pela circulação de ar em poços inclinados que se encontram distribuídos em todos os níveis da mina atendendo aos corpos mineralizados. Esses poços que são realizados por uma máquina de *raise bore*, possuem uma inclinação entre 45° e 70°, diâmetro aproximado de 1,5 a 3 m e comprimento variável de 50 a 300m. A partir de 2005, várias ocorrências de rupturas diametralmente opostas e contínuas ao longo da parede desses poços passaram a ser observadas.

A concentração de tensão ao redor de um furo circular em rocha, sob a atuação de um campo de tensões faz com que, por um processo de deformação inelástica, este se quebre e rompa as suas paredes originais nas regiões de maior concentração de tensão e para esse fenômeno utiliza-se o termo *breakout* (Zoback *et al.*, 1985). Bell e Gough (1979, citado em Zoback *et al.*, 1985), afirmam que a orientação das tensões principais ao redor de um furo pode ser inferida pela orientação/posição do *breakout* (ruptura). Interpreta-se que o *breakout* ocorre em duas zonas diametralmente opostas ao longo da direção da tensão horizontal mínima, Fig. 2.



Fig. 2 – Quebras diametralmente oposta em poços de ventilação.

Foram realizados levantamentos em 35 poços entre os níveis 7 e 15 da mina, descrevendo azimute e ângulo de mergulho dos poços, existência ou não de quebras, descrição qualitativa da quebra (rasa, profunda, aberta, etc.), ângulo entre o final da quebra e a posição do meio da quebra, extensão lateral da quebra na parede dos poços, raio inicial dos poços, profundidade da quebra para

dentro do maciço rochoso, azimute da quebra e caracterização do maciço rochoso. Todos esses dados foram verificados a fim de se estudar o que condicionava ou não as rupturas.

Dado que os poços de ventilação na mina seguem pela rocha encaixante, o azimute do corpo mineralizado para SE e de que aqueles que fazem parte da infraestrutura também acompanham esse mergulho, a análise ficou limitada às direções existentes. Verificou-se também que poços com a mesma orientação e profundidades muito próximas não necessariamente possuíam quebras descartando que as quebras eram condicionadas pelo seu azimute e mergulho.

Realizou-se uma comparação da orientação das quebras com as tensões determinadas pelos ensaios de sobrefuração. A análise dos dados mostrou que a tensão principal maior determinada no nível 14 (BIF), igual a 311/03, está alinhada com a direção NW/SE da maioria das quebras. Assim, a localização das quebras na escavação é exatamente o contrário da posição indicada pela teoria do *breakout*. Ao confrontar a orientação da tensão σ_1 estimada no nível 12 (rocha encaixante) igual a 188/60 observa-se que os poços com quebras possuem mergulho semelhante, porém com diferença entre seus azimutes de 10° a 60° para E, não existindo portanto qualquer ortogonalidade entre a direção da tensão e a posição da quebra no furo.

Verificou-se que as quebras não são controladas diretamente pela profundidade, sua localização na estrutura geológica, corpo mineralizado, qualidade do maciço rochoso e nem pela influência da tensão induzida por outras escavações.

As quebras foram então avaliadas sob o ponto de vista da anisotropia presente nos maciços e também com relação ao ângulo resultante entre os planos de foliação e a parede ou eixo do poço, θ , Fig. 3.

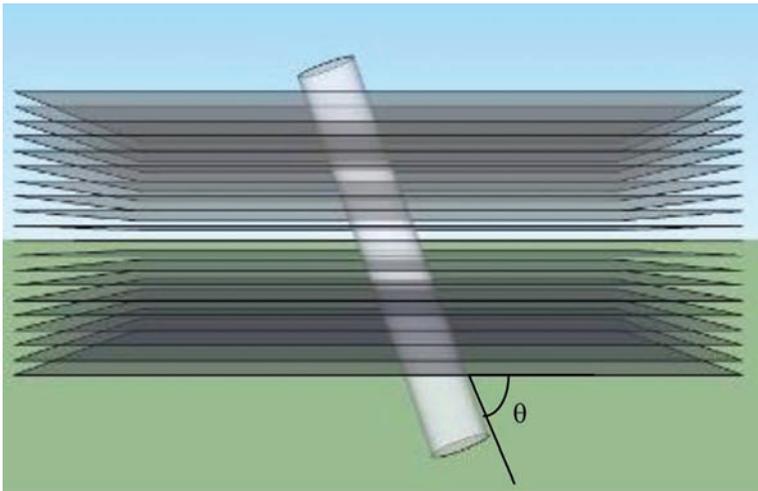


Fig. 3 – Representação esquemática do poço de ventilação cruzando os planos da foliação.

Constatou-se que os poços com quebras possuem um ângulo θ menor que 20° , ou seja, quando os planos de anisotropia estão paralelos ou subparalelos à sua parede, tendo sido observado um total de 13 ocorrências.



Fig. 4 – Exemplo de quebra dos planos de foliação na parede de um furo de detonação.

Diante desta análise, a possibilidade de se inferir a direção da tensão principal maior como perpendicular às quebras foi descartada, uma vez que independente da direção das tensões principais poderá haver cisalhamento nos planos de foliação ao redor dos poços de ventilação quando o ângulo θ for $<20^\circ$.

4.3 – Discing

O termo *discing* é utilizado para o fenômeno espontâneo em que porções de testemunhos de rochas de caráter rúptil se quebram em forma de “discos” ou “pastilhas” durante e após o processo de sondagem diamantada em áreas de alta tensão (Stacey, 1982). O grande interesse no estudo dos *discings* se deve ao fato de que estes podem fornecer informações sobre as tensões em grandes profundidades onde, muitas vezes, não se tem acesso ou seria onerosa a execução de ensaios de determinação de tensão com métodos diretos tradicionais.

Os *discings* em furos de sondagem na Mina Cuiabá foram analisados em 78 furos de sondagens exploratórias e descritos quando disponíveis dados como litotipo, forma (perfil do “disco”), espessura do *discing*, profundidade, relação angular entre o eixo do furo e os planos de anisotropia, diâmetro da coroa de perfuração, equipamento de sondagem, azimute e mergulho do furo. Os intervalos de *discing* mostraram-se mais presentes na BIF (não sulfetada) e em veios de quartzo que constituem as unidades com propriedades rúpteis na região da mina susceptíveis às rupturas em *discing*. Apenas 13 intervalos (13%) dos 78 furos estudados possuíam *discing* em BIF com sulfeto.

Os *discings* em forma de pastilha são predominantes na mina, totalizando 81% das ocorrências. Esse tipo de *discing* ocorre quando não existe grande diferença nas magnitudes das tensões horizontais a que estão sujeitos. As ocorrências de *discing* em forma de “sela” ou “prato” são pouco frequentes pelo observado no total dos 195 dados. Estes foram encontrados em apenas dez furos de sondagem e são ocorrências pontuais.

A ocorrência dos *discings* na região da mina não se mostrou controlada por fatores como equipamento de sondagem, orientação dos planos de anisotropia (bandamento composicional) da BIF, orientação do furo ou profundidade.

Entretanto, estes foram estudados sobre o ponto de vista de sua distribuição espacial e foi identificado que seus intervalos seguem um padrão de alinhamento concordante com o mergulho médio da estrutura da mina. Esse mergulho tem caimento para SE e é orientado de acordo com as dobras de escala métrica associadas aos eventos deformacionais identificados na região.

Os locais de ocorrência de *discing* foram então comparados com os mapas geológicos da mina e verificou-se que esses ocorrem exatamente em regiões de dobramentos.

As regiões dos furos que apresentaram intervalos com *discing* foram então verificadas em campo e identificou-se que essas regiões se associavam a vários locais que intuitivamente eram reconhecidos na mina como áreas de “concentração de tensão”. Durante o desenvolvimento de galerias nesses locais com ocorrência de *discing* muitas vezes foram reconhecidos fenômenos de instabilidade como abertura de trincas, “fatiamento” do maciço rochoso por concentração de tensão nas paredes da escavação, pequenos estalos de rocha por fraturamento, entre outros.

A Fig. 5 exemplifica uma galeria no nível 15, em que a BIF se encontra dobrada e que durante o seu desenvolvimento, trincas se iniciaram na região da charneira da dobra e contínuas camadas de BIF se abriam nas paredes da escavação gerando diversos ciclos de reinstalação de suporte. A estabilização da escavação só ocorreu quando toda a estrutura de dobra foi exposta atingindo uma altura duas vezes maior que a que havia sido dimensionada inicialmente para a galeria. Ressalta-se que, alinhado ao mergulho dessa dobra, foram identificados furos com intervalos de *discing*.

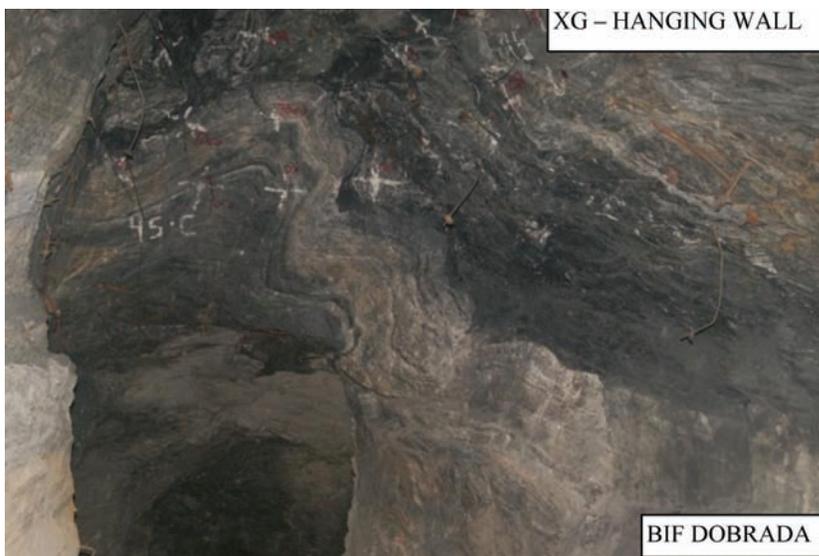


Fig. 5 – Exemplo de galeria desenvolvida em região com dobramento do corpo de minério (BIF) alinhada a ocorrências de *discing* em furos de sondagem.

5 – DISCUSSÃO

Os dois ensaios de sobrefuração executados apresentaram resultados para as tensões *in situ* (orientações e magnitudes) distintos devido ao controle litológico e estrutural dos locais realizados. O ensaio no nível 12 indicou um controle da orientação da tensão principal ($\sigma_1 = 188/60$) pelos planos de anisotropia da foliação presente no XS. A interpretação do ensaio realizado na BIF mostrou que a orientação da tensão principal maior intercepta ortogonalmente essa camada, sendo concordante com o conhecimento teórico sobre situações em que materiais com diferentes módulos

elásticos em contato alteram a orientação das tensões *in situ*. Os corpos mineralizados da Mina Cuiabá constituídos pela BIF funcionam como um anteparo para as tensões *in situ* devido ao seu módulo de *Young* ser maior que o da rocha encaixante. O fato dos litotipos possuírem diferentes propriedades interfere na orientação e magnitude das tensões *in situ*, fazendo com que na região de contato o campo de tensões proximal (*near Field*) seja provavelmente diferente do distal (*far Field*).

Foi verificado que as quebras identificadas nos poços de ventilação são resultantes do mecanismo de ruptura denominado flexão (*buckling*) (Hutchinson e Diederichs, 1996). Esses autores explicam que, para maciços anisotrópicos em regiões, por exemplo, de alta tensão, os planos da foliação podem ajudar na formação de finas camadas de rocha (chamadas de *slabs*) paralelas à parede da escavação. No caso dos poços da Mina Cuiabá, essas finas camadas já existem naturalmente pela foliação do maciço (<1cm), o que torna suas camadas extremamente frágeis, rúpteis e propícias ao cisalhamento. Bewick e Kaiser (2009) apresentam também em seu trabalho uma análise com modelos numéricos em 2D de furos circulares em maciços anisotrópicos em que a localização da zona de dano nas paredes da escavação é altamente dependente da orientação da anisotropia e menos condicionada pela razão entre a orientação das tensões principais. Estes explicam que os planos de foliação (“planos de fraqueza”) quando alinhados na direção crítica da tensão tangencial podem cisalhar e resultar em rupturas na parede da escavação. As quebras existentes nos poços de ventilação constituem assim a flexão das camadas da foliação que se rompe por tensão induzida ao redor da escavação sendo facilitadas quando a parede do furo se paraleliza com a atitude da foliação ($\theta < 20^\circ$).

O outro método indireto de estimativa de tensões, *discing*, mostrou-se associado aos locais de acúmulo de tensão que no caso da Mina Cuiabá se justifica pela estrutura geológica regional onde a camada de BIF é dobrada. Esses são controlados espacialmente pelas dobras regionais da camada de BIF e estão alinhados ao mergulho dos dobramentos com mergulho para SE. Em vários locais, durante o desenvolvimento de galerias de exposição do minério foram identificados na mina, problemas de estabilidade geomecânica como sobreescavação (*overbreak*) e que resultaram em diversos ciclos de reinstalação de suporte mais efetivos e não usuais.

6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia proposta pela ISRM para determinação das tensões *in situ* de uma região mostrou-se efetiva nos estudos realizados para a Mina Cuiabá. O levantamento de diversos dados sobre a região da Mina Cuiabá conduziu de forma objetiva e abrangente para o conhecimento das tensões *in situ* e dos fatores existentes no local capazes de modificá-las. A aplicabilidade de métodos indiretos para estimar as tensões *in situ* na sua orientação e magnitude como *breakout* e *discing* também foram valiosos e menos onerosos que ensaios *in situ*. Embora não se tenha conseguido estimar a orientação e a magnitude das tensões com esses dados, estes podem trazer informações de longo prazo para a mina como, por exemplo, os *discings*. Os ensaios de sobrefuração indicam informações pontuais e podem ser complementados por outros indicativos de tensões. No entanto, como se mostrou a escolha do local do ensaio e em que litotipo a ser executado devem ser bem investigados uma vez que são sensíveis a qualquer anomalia como falhas, dobras, entre outros.

A utilização dos *breakouts* para orientar as tensões principais mostrou-se imprópria no caso da Mina Cuiabá uma vez que o mecanismo de ruptura é inteiramente controlado pelas propriedades mecânicas dos planos de foliação e orientação angular desses em relação ao eixo da parede do furo.

A maior importância evidenciada pelos *discings* para os propósitos práticos da Mina Cuiabá é a utilização destes para zoneamento geomecânico das regiões de acúmulo de tensão. Este

zoneamento fornecerá informações ao planejamento de mina indicando as regiões do corpo de minério em que o desenvolvimento das galerias deverá ter um controle maior no sequenciamento das escavações, nas detonações e no dimensionamento de suporte e reforço.

De maneira geral as tensões na Mina Cuiabá são reorientadas e acompanham a atitude da anisotropia dos litotipos (metavulcânicas/metapelitos), sendo também perturbadas pelas estruturas de dobramento no corpo de minério e no contato entre materiais de reologias distintas ($E_{BIF} > E_{ENCAIXANTES}$). Ressalta-se que a criação de um modelo de tensões *in situ* de uma região é uma condição temporária e continuamente deve ser revisto à medida que novos ensaios e dados sejam coletados e modelagens numéricas puderem ser realizadas.

7 – AGRADECIMENTOS

Agradecemos à empresa mineradora AngloGold Ashanti Corrego do Sítio pelo fornecimento dos dados analisados, ao Núcleo de Geotecnia da Universidade Federal de Ouro Preto pelo apoio ao trabalho e especialmente ao Dr. Fábio Soares Magalhães, pelas suas valiosas críticas e sugestões.

8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bewick, R.P.; Kaiser, P.K. (2009). *Influence of rock mass anisotropy on tunnel stability*. ROCKENG09: Proceedings of the 3rd CANUS Rock Mechanics Symposium. Toronto.
- Heidbach, O.; Tingay, M.; Barth, A.; Reinecker, J.; Kurfieb, D.; Muller, B. (2008). *The 2008 release of the World Stress Map*. Disponível em: <<http://www.world-stress-map.org>>. Acesso em: Out. 2012.
- Hudson, J.A.; Cooling, C.M. (1988). *In situ rock stress and their measurements in the U.K. – Part I. The current state of knowledge*. International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences & Geomechanics Abstract, v. 25, n.6, pp. 363-370.
- Hutchinson, D.J.; Diederichs, M.S. (1996). *Cablebolting in underground mines*. Vancouver: BîTech. 406p.
- Lobato, L.M.; Ribeiro-Rodrigues, L.C.; Vieira, F.W.R. (2001). *Brazil's premier gold province. Part II: Geology and genesis of gold deposits in the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero*. Mineralium Deposita, v. 36, pp. 249-277.
- Ribeiro-Rodrigues, L.C.; Oliveira, C.G.; Friedrich, G. (2007). *The Archean BIF-hosted Cuiabá Gold deposit, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil*. Ore Geology Reviews, v.32, pp. 543-570.
- Stacey, T.R. (1982). *Contribution to the mechanism of core discing*. Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg, v. 9, pp. 269-274.
- Stephansson, O.; Zang, A. (2012). *ISRM Suggested Methods for Rock Stress Estimation – Part 5: Establishing a model for the in situ stress at a given site*: Springer. Disponível em: <<http://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs00603-012-0270-x.pdf>>. Acesso em: 13 ago.
- Tropia, I.R. (2013). *Análise das tensões in situ em ambiente de lavra subterrânea, Mina Cuiabá, Sabará, Minas Gerais*. Dissertação (Mestrado em Mecânica das Rochas), Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 217p.
- Zoback, M.D.; Moos, D.; Mastin, L.; Anderson, R. (1985). *Wellbore breakouts and in situ stress*. Journal of Geophysical Research, v. 90, n. B7, pp. 5523-5530.