

ANÁLISE DOS FATORES CONDICIONANTES DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS LITOTIPOS DA MINA INGÁ, CRIXÁS (GO)

Camila Broetto Milli ¹; Luis de Almeida Prado Bacellar ²; Jairo Henrique da Silva ³; João Pedro Barbosa Amaral ⁴; Raphael Perpétuo Soares ⁵

Resumo – A caracterização de resistência à compressão é fundamental para compreender o comportamento de maciços rochosos e para tomada de decisões em projetos de escavação. A caracterização da resistência por ensaios de Resistência à Compressão Uniaxial (RCU) e de Carga Pontual (Point Load Test - PLT) é realizada nas minas subterrâneas de ouro da Mineração Serra Grande (MSG), AngloGold Ashanti, em Crixás/GO. Objetivando analisar os fatores condicionantes da resistência à compressão dos litotipos da Mina Ingá, foram analisados os resultados de 1536 ensaios de PLT e 97 de RCU. A metodologia envolveu levantamento do banco de dados, preparo de amostras, confecção dos ensaios e definição do critério de classificação dos resultados, eliminando *outliers*. Os resultados refletiram a correlação dos domínios geotécnicos estruturais definidos pelo mapeamento de galeria subterrânea com os resultados de resistência à compressão, permitindo estimar características do maciço rochoso. Concluiu-se que existem quatro fatores que influenciam nos valores de resistência. O primeiro é a litologia; o segundo, a estrutura representada pelo local de ruptura do ensaio (rocha intacta, foliação e fratura); o terceiro, o ângulo da foliação em relação ao eixo do furo; e o quarto, a influência da geometria e do tipo de quebra com classificação do nível de confiança. Este trabalho mostrou-se relevante, pois valores confiáveis de resistência à compressão permitem a aquisição de parâmetros fundamentais para confecção de modelos numéricos, dimensionamento de vãos e pilares e definição de sistema de suporte, garantindo o desenvolvimento das galerias com segurança.

Abstract – The characterization of compressive strength is essential to understand the behavior of rock mass and to make decisions in excavation projects. Strength characterization by Uniaxial Compressive Strength (UCS) and Point Load Test (PLT) is made in the underground gold mines of Mineração Serra Grande (MSG), AngloGold Ashanti, in Crixás/GO. In order to analyze the conditioning factors of the compressive strength of the lithotypes of Mina Ingá, the results of 1536 PLT and 97 RCU tests were analyzed. The methodology involved the database organization, sample preparation, making tests and definition of results classification criterion, eliminating outliers. The results reflected the correlation of the geotechnical domains defined by the underground gallery mapping with the compressive strength results, allowing the estimation of rock mass characteristics. It was concluded that there are four factors that influence the strength values. The first is the lithology; the second, the structure represented by the break type (intact rock, foliation and fracture); the third, the foliation angle in relation to the hole axis; and the fourth, the influence of geometry and type of break with confidence level classification. These analyses are relevant because reliable compressive strength values allow the acquisition of fundamental parameters for numerical models, sill and pillars design and support system definition, ensuring the safe development of underground galleries.

Palavras-Chave – Ensaios de Resistência à Compressão Uniaxial, Ensaios de Carga Pontual, Maciços rochosos, Mineração Subterrânea.

¹ Eng. Geol., Universidade Federal de Ouro Preto - MG, (27) 99929-9273, millibcamila@gmail.com

² Geól., PhD, Universidade Federal de Ouro Preto - MG, (31) 99145-5360, bacellar@ufop.edu.br

³ Eng. Geol. Universidade Federal de Ouro Preto – Ouro Preto - MG, (35) 9897-6779 Jh.ufop@yahoo.com.br

⁴ Eng. AngloGold Ashanti – Córrego do Sítio, (31) 973631175, JBAmaral@AngloGoldAshanti.com.br

⁵ Eng. Geol. AngloGold Ashanti - Crixas-GO, (62) 98294-1903 rsoares@anglogoldashanti.com.br

1. INTRODUÇÃO

Uma boa caracterização geomecânica de maciços rochosos é fundamental para a segurança e otimização no desenvolvimento de escavações em mineração subterrânea, como na Mina Ingá. Embora a resistência mecânica da rocha intacta seja um dos fatores mais importantes para a caracterização destes maciços, esta propriedade nem sempre é adequadamente avaliada nas atividades rotineiras de empresas de mineração. Isto porque a resistência da rocha, usualmente avaliada por ensaios de resistência à compressão uniaxial (RCU) e de carga pontual (PLT), pode ser muito afetada por fatores mineralógicos, texturais e estruturais, nem sempre considerados nos resultados laboratoriais.

Adicionalmente, o conhecimento da resistência da rocha intacta é também fundamental para compreender o comportamento dos maciços, a competência da rocha em relação a capacidade de suportar carga, os níveis toleráveis de deformação, o grau de alteração e fraturamento e a real influência de estruturas, como foliação e fraturas, no maciço.

A Mina Ingá, localizada na cidade de Crixás-GO, tem sido desenvolvida com mais de 1000 metros de profundidade e é uma das principais responsáveis pela produção de minério de ouro da Mineração Serra Grande, pertencente à AngloGold Ashanti. Uma boa caracterização geomecânica de seus variados maciços rochosos é fundamental para esta mina de grandes dimensões. Além disso, há a necessidade de compreender a variabilidade do comportamento geotécnico dos maciços rochosos, a fim de utilizar informações coerentes com a realidade da mina para que sejam feitas análises de estabilidade confiáveis, permitindo a proposição de designs de escavações que possibilitem a maior recuperação de minério com segurança.

Assim, neste trabalho é apresentada uma análise dos ensaios de RCU e de PLT com corpos de prova desta mina oriundos dos testemunhos de sondagem dispostos em malha regular de 25x25 metros. O objetivo primordial foi o de analisar tais ensaios, buscando-se compreender a influência dos fatores litoestruturais na resistência mecânica dos diversos litotipos nela encontrados. Dessa forma, o presente trabalho é justificado pela escassez de pesquisas direcionadas às análises geomecânicas de classificação de maciço rochoso considerando ensaios de resistência de rocha intacta e seus condicionantes.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

2.1. O *Greenstone Belt* Crixás

O *greenstone belt* Crixás se distribui ao longo de 6 km de largura e 45 km de comprimento em uma faixa alongada com eixo aproximadamente norte-sul. Há três formações no denominado Grupo Crixás da base para o topo (Sabóia & Teixeira (1980): Córrego Alagadinho, Rio Vermelho e Ribeirão das Antas (Figura 1). As formações constituem uma sequência metavulcano-sedimentar de baixo grau metamórfico.

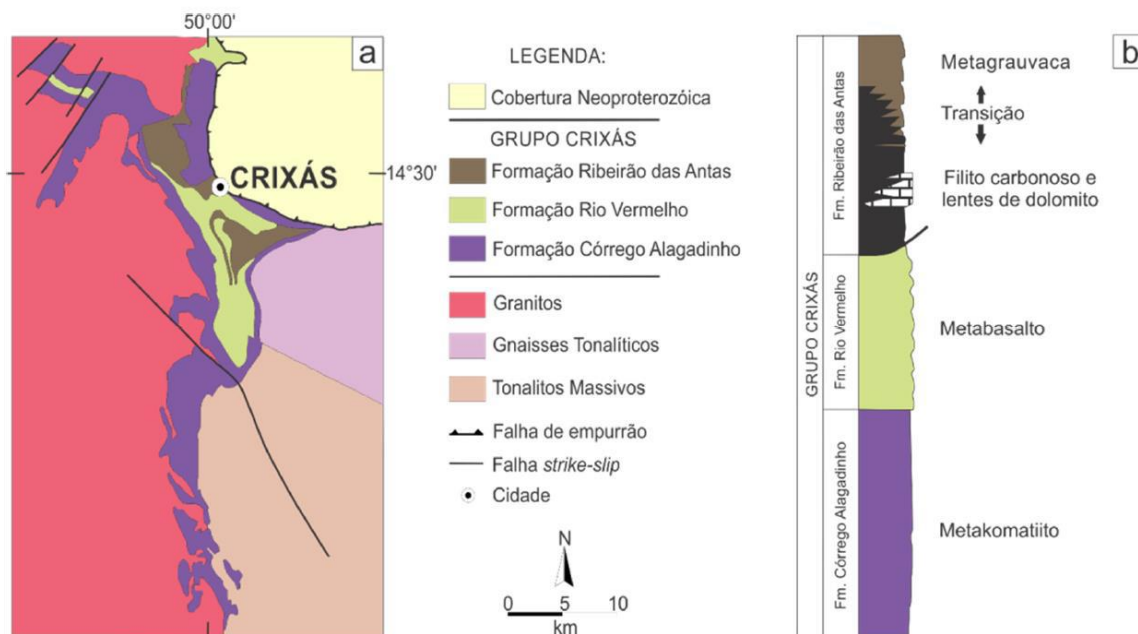


Figura 1- a) Mapa Geológico do greenstone belt Crixás (modificado de Jost & Fortes 2001) e b) Coluna estratigráfica do greenstone belt de Crixás. Modificado de Jost et. al (2010)

2.2. O Corpo Ingá

O Corpo Ingá, onde se encontra o depósito aurífero, está inserido na Formação Ribeirão das Antas, com orientação azimutal para 300°. É dividido em duas zonas de mineralização, sendo a superior caracterizada por minério aurífero na forma de lentes de sulfeto maciço inclusas no dolomito e a zona inferior, com a ocorrência do minério associada a veios de quartzo descontínuos e espessos, junto a um xisto grafitoso associado a sulfetos (Castoldi, 2015).

A mineralização tem controle litológico, ocorrendo nos filitos carbonosos intercalados com metagrauvacas e dolomitos, e também estrutural, controlada por falhas de empurrão e dobras recumbentes (Jost et al. 2009; et al, 2014). O Corpo Ingá é composto pelas seguintes unidades, da base para o topo: metagrauvaca (MG), quartzo-clorita-sericita-granada xisto (GNCX), veio de quartzo (VQZ), xisto carbonoso (GXN), clorita xisto verde (CXV) e dolomito (DOL).

A Metagrauvaca (MG), com contato gradual interdigitado com o GNCX (Castoldi, 2015), é uma rocha foliada, com laminação fina bem-marcada. É constituída por uma matriz de granulação fina composta por quartzo, feldspato, muscovita e biotita, com cristais arredondados de quartzo e feldspato de granulação média a grossa e porfiroblastos de granada de granulação média, sendo comum disseminações de sulfeto e venulações preenchidas por quartzo. O Quartzo-biotita-muscovita-granada xisto (GNCX) é formado por porfiroblastos milimétricos a centimétricos de granada imersos em matriz fina, foliada composta por quartzo, biotita e muscovita. O Clorita Xisto Verde (CXV) apresenta foliação caracterizada pela alternância de níveis milimétricos a centimétricos compostos de clorita, muscovita e biotita com níveis de carbonato e quartzo. Esta rocha contém disseminações de sulfeto e é cortada por vênulas de quartzo e/ou carbonato. O Filito Carbonoso (GXN) é uma rocha foliada composta por material carbonoso, quartzo, muscovita e biotita de granulação fina, com venulações preenchidas por quartzo e carbonato e disseminações de sulfetos. O dolomito (DOL) é levemente foliado, composto por carbonatos e quartzo de granulação fina (Borges & Campos, 2019).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em três etapas. A primeira envolveu a revisão bibliográfica, contemplando a consulta de normas e procedimentos para a execução dos ensaios PLT e RCU.

Existem diversas recomendações para a execução destes ensaios, e neste trabalho foram utilizadas as da ISRM (1979, 1985).

A segunda etapa consistiu na execução dos ensaios, seguindo os seguintes passos:

- i) Após descrição geotécnica dos testemunhos de sondagem, extraiu-se um metro visualmente o mais isotrópico possível, gerando uma amostra representativa do intervalo (lote), localizado no *hangingwall* ou no *footwall* (até o limite de 20 metros do corpo de minério) (Figura 2);
- ii) Os corpos de prova foram cortados de acordo com as normas ISRM (1985), sendo gerados em média 6 corpos para RCU para cada lote, com 100mm de altura e 36mm de diâmetro (diâmetro dos testemunhos de sondagem) e em média 12 amostras para os ensaios PLT do mesmo intervalo, com 20mm de altura e 36mm de diâmetro;
- iii) As amostras foram lavadas e a altura e o diâmetro foram aferidas com paquímetro; o ângulo da foliação em relação ao eixo do furo foi determinado com transferidor e com um prolongador dexter. Para amostras sem foliação, o ângulo foi considerado 0;
- iv) Os ensaios de RCU e PLT foram feitos em equipamento servo controlado que suporta até 200 kN de carga. De acordo com a ISRM (1979), foram 5 ensaios de RCU, retirando-se os dois valores mais discrepantes e considerando-se os três intermediários; e para os ensaios PLT, de acordo com ISRM (1979), foram 6 ensaios, considerando-se a variação máxima dos resultados inferior à 30%;
- v) Após a ruptura dos corpos de prova, foram avaliados os tipos de quebra: ao longo da foliação (Sn), da Fratura (Fr) ou na Rocha Intacta (RI). Atribuiu-se neste trabalho um grau de confiança (alta, média ou baixa) para avaliação da acurácia do tipo de quebra. Ensaios com tipo de quebra claramente na rocha intacta, na foliação ou na fratura, possuem alto grau de confiança. Ensaios com quebra na foliação (ou na fratura), mas com influência de ruptura pela rocha intacta, possuem grau de confiança médio. Para ensaios com tipo de quebra indefinido (pela foliação ou pela rocha intacta), o grau de confiança atribuído foi baixo. Isto foi feito para que valores de foliação e fraturas pré-existentes não impactem no valor da rocha intacta e vice-versa. Para este estudo foram utilizados apenas tipos de quebra de alta e média confiança; as amostras foram fotografadas antes e após a ruptura;
- vi) A geometria de quebra foi classificada de modo a validar os ensaios. Valores de RCU são considerados válidos apenas para amostras que romperam na rocha intacta. Caso a rocha tenha rompido ao longo de uma descontinuidade, o ensaio é considerado inválido. Ensaios PLT com ruptura na rocha intacta, mas sem simetria, também são inválidos. De acordo com Basu *et al.* (2013), a geometria de quebra para amostras RCU pode ocorrer de 3 modos: ao longo da foliação; divisão axial; fraturamento múltiplo; cisalhamento ao longo de um único plano e ruptura, em forma de Y; são consideradas inválidas as quebras ao longo da foliação e divisão axial. Para amostras PLT, a quebra pode ocorrer com as seguintes geometrias: junção tripla, plano único, torcido, não-central e descontinuidade pré-existente; são consideradas inválidas as geometrias torcida, não-central, descontinuidade pré-existente e plano único sem simetria.

vii) Os resultados foram inseridos no banco de dados para cálculos de resistência:

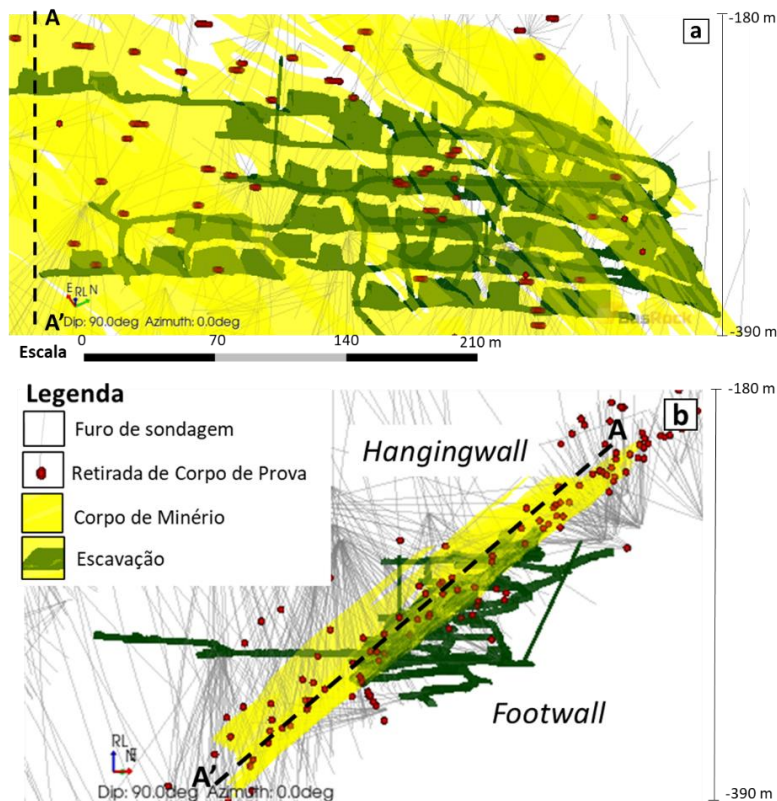


Figura 2 - a) Ilustração da região do nível 689 ao nível 800 da Mina Ingá. Representação das escavações, do corpo de minério e dos furos de sondagem; b) Seção AA' ilustrando o local em que são retiradas as amostras para ensaios em relação ao *hanging* e ao *footwal*.

Considerando os ensaios de PLT, a resistência à compressão pontual não corrigida, I_s (MPa), é determinada segundo o ISRM (1985), pela Equação 1.

$$I_s = \text{Leitura de Carga (kN)} * \left(\left(\frac{1000}{4 * \left(\frac{\text{diâmetro}}{2} \right)^2} \right) \right) \quad \text{Equação (1)}$$

Em seguida, calculou-se a resistência à compressão pontual corrigida, I_{s50} (Mpa), de acordo com ISRM (1985) Equação 2:

$$I_{s50} = I_s * \left(\frac{\text{Diâmetro}}{50} \right)^{0.45} \quad \text{Equação (2)}$$

Todo cálculo depende de um Coeficiente da Compressão Uniaxial (C), que é função do diâmetro da amostra. Interpolando-se as equações propostas por Bieniawski (1973) para determinação deste coeficiente, Mili (2021) empregou a Equação 3 para os diâmetros dos testemunhos da mina:

$$C = (0.18 * \text{Diâmetro}) + 13.8 \quad \text{Equação (3)}$$

A resistência à compressão simples é então calculada pela Equação 4:

$$\text{Resistência à compressão simples} = I_{s50} \text{ (MPa)} * C \quad \text{Equação (4)}$$

Para os ensaios de RCU, inicialmente é preciso conhecer a resistência para o diâmetro do testemunho de sondagem de 35mm (Equação 5):

$$\text{Resistência 35mm MPa} = \frac{\frac{\text{Leitura de Carga (kN)}}{(\pi \cdot \left(\frac{\text{Diâmetro} + 0,001}{2}\right)^2)}}{10000} \quad \text{Equação (5)}$$

Como a amostra não possui o diâmetro padrão de 50mm, como sugerido pelo ISRM (1979), é necessário aplicar um fator de correção do diâmetro. Como o estudo depende de furos de sondagem previamente feitos com 35mm, aplica-se o fator de correção proposto por Hoek & Brown (1980) (Equação 6).

$$\text{Resistência 50mm (MPa)} = \text{Resistência 35mm (MPa)} * \left(\frac{50}{\text{Altura}}\right)^{0,18} \quad \text{Equação (6)}$$

Na terceira etapa foram analisados os dados e sumarizadas informações de 1633 ensaios, sendo 1536 de PLT e 97 de RCU, considerando a setorização dos ensaios por ângulo da foliação em relação ao eixo do furo, a litologia e o tipo de quebra - na Rocha Intacta (RI), na foliação (Sn) ou em alguma Fratura (Fr). Inicialmente, foram analisados os resultados (média aritmética) de resistência de ensaios RCU e PLT por litologia e, em seguida, de acordo com o ângulo da foliação em relação ao eixo do furo. O ângulo foi disposto em gráfico e posteriormente em tabelas, com a disposição da média aritmética de blocos de valores de resistência a cada 10°. Foram produzidos gráficos e tabelas referentes ao modo em que a rocha se rompe (na foliação, na rocha intacta ou na fratura). A última análise foi feita para ensaios com quebra na rocha intacta, foliação e fratura, com tipo e geometria de quebra válidas e com médio e alto nível de confiança.

4. RESULTADOS

Os resultados de resistência para os diversos litotipos para rupturas pela rocha intacta (RI), pela foliação (Sn) e por fraturas (Fr) para os ensaios de compressão puntiforme e uniaxial estão representados nas e Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 - Valores de resistência (Mpa) para ensaios de carga pontual - *Point Load Test* (PLT).

	Ângulo/Litologia	CXV	CBCX	DOL	GXN	MG	GNCX	VQZ
RI	0° a 10°	117,37		117,96	155,18		132,24	
	11° a 20°				128,59	98,40	116,33	
	21° a 30°	104,08		84,75	128,51	110,15	119,06	
	31° a 40°	88,01	66,82	89,50	106,58	98,77	78,62	
	41° a 50°	58,77		64,97	96,74	79,92	115,90	
	51° a 60°	76,32			76,26	60,24		
	61° a 70°				58,25			
	71° a 80°				123,27			
	SEM ÂNGULO	106,83		79,34				156,00
Sn	0° a 10°							
	11° a 20°							
	21° a 30°	137,12			112,95	64,26		
	31° a 40°				152,79	88,71		
	41° a 50°	88,43			85,70	96,56	73,57	
	51° a 60°	99,39			57,24	49,45	85,68	
	61° a 70°							
	71° a 80°							

	SEM ÂNGULO				
	0° a 10°				
	11° a 20°				
	21° a 30°		127,65	55,77	101,57
Fr	31° a 40°	77,70	124,07	95,57	88,23
	41° a 50°		84,35		
	51° a 60°				
	61° a 70°				
	71° a 80°				
	SEM ÂNGULO				

Tabela 2 - Valores de resistência (Mpa) para ensaios de resistência à compressão uniaxial (RCU).

Tipo de Quebra	Ângulo/Litologia	MG	GXN	GNCX	CXV	DOL
RI	0° a 10°	128,05	151,70	71,75	92,02	
	11° a 20°	143,01	141,31			
	21° a 30°	120,39	146,09	106,01		120,03
	31° a 40°	118,61	125,58		100,94	122,79
	41° a 50°	120,77	101,10	67,22	76,03	114,27
	51° a 60°	83,90	103,50			147,50
	61° a 70°	132,09				96,45
Sn	0° a 10°					
	11° a 20°		74,74			
	21° a 30°	73,63	103,80	94,83	80,58	
	31° a 40°	42,60	95,06	78,10	81,73	
	41° a 50°	85,68	91,36	49,65	69,00	
	51° a 60°		82,13			
	61° a 70°				85,57	
FR	0° a 10°					
	11° a 20°					
	21° a 30°					
	31° a 40°	84,50	73,67	82,79		
	41° a 50°	50,65	83,93			
	51° a 60°				85,72	
	61° a 70°					

Embora haja certa variação estatística, verifica-se a influência da litologia nos parâmetros de resistência pela rocha intacta (Figura 3/Figura 4). De fato, tanto nos ensaios de resistência à compressão uniaxial como nos de carga pontual há uma tendência nítida de maiores valores para alguns litotipos, como o quartzo-clorita-sericita-granada xisto (GNCX) e o xisto carbonoso (GXN), e de menores valores como a clorita xisto verde (CXV).

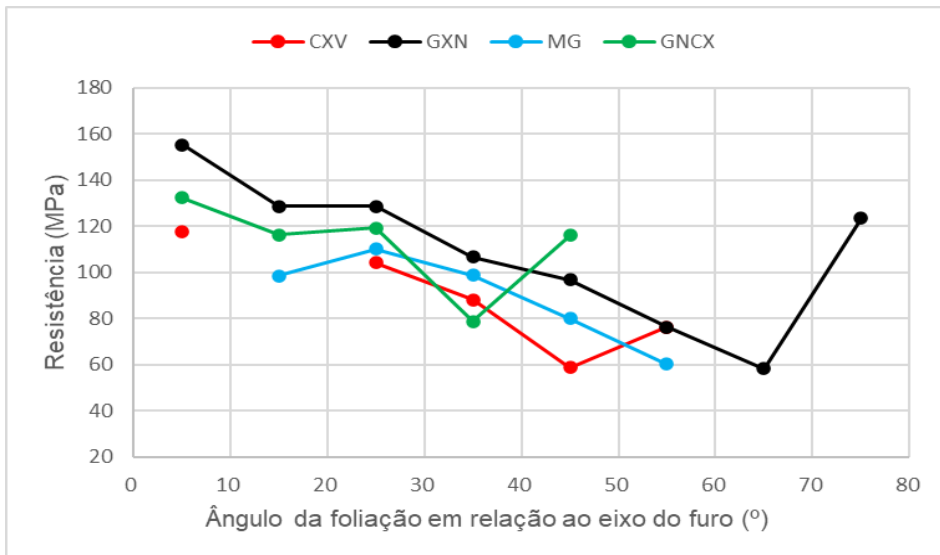


Figura 3 - Resultados dos ensaios de compressão puntiforme (PLT) de amostras de quatro litotipos foliados, mas com ruptura pela rocha intacta, sem controle estrutural.

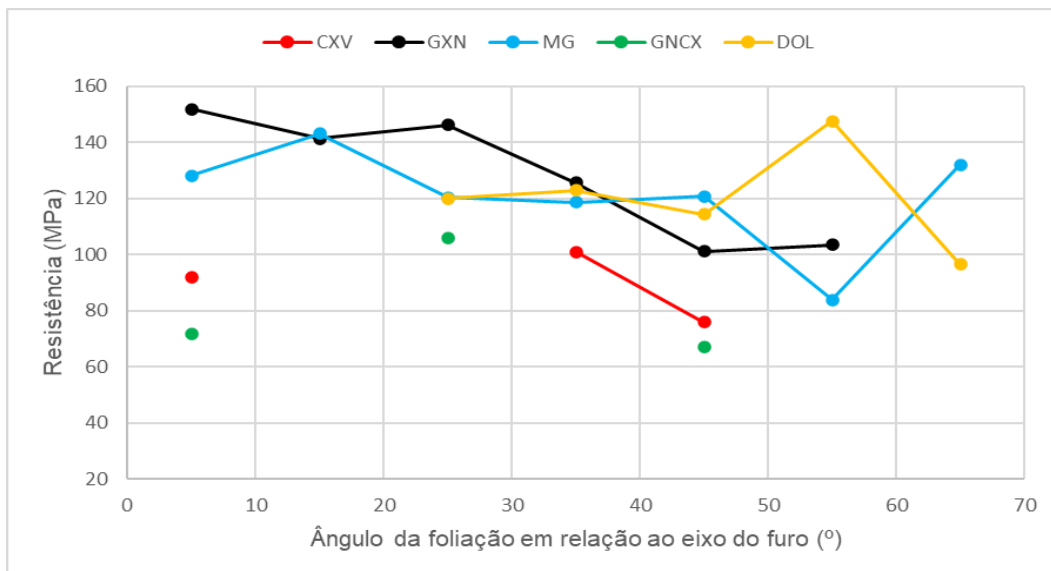


Figura 4 - Resultados de ensaios de resistência à compressão uniaxial (RCU) para ensaios em quatro litotipos foliados, mas com ruptura sem controle estrutural.

Quando se compara os valores de resistência com rupturas pela rocha intacta com aqueles rompidos de acordo com a foliação (Sn) ou fraturas (Fr), verifica-se uma tendência de menores valores para os dois últimos casos (Tabela 1 e Tabela 2). Quando se plotam os resultados para os litotipos com mais dados, esta tendência fica mais nítida (Figura 5). Há casos em que os valores de ruptura na fratura são superiores aos e rocha intacta, e isso é justificado pela rugosidade da descontinuidade e/ou pelo material de preenchimento mais resistente.

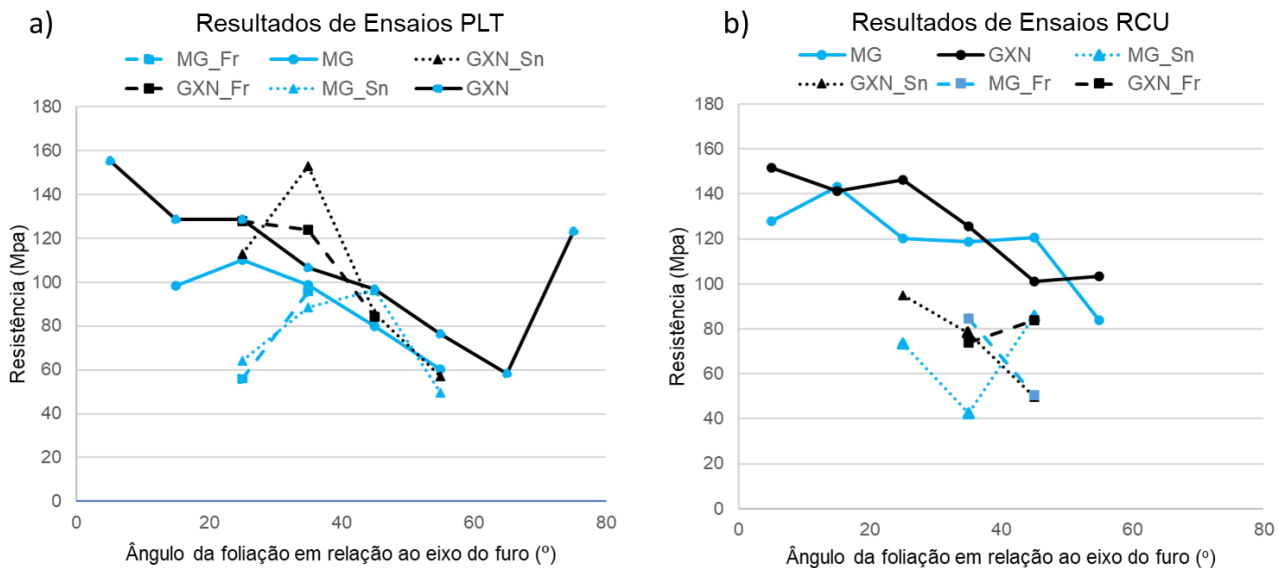


Figura 5 - Resultados dos ensaios. a) Ensaios de resistência à compressão puntiforme (PLT), para amostras com ruptura sem controle estrutural (GXN e MG), e controlado pela foliação (GXN_Sn e MG_Sn) e por fraturas (GXN-Fr e MG-Fr); b) Resultados de ensaios de resistência à compressão uniaxial (RCU), para amostras com ruptura sem controle estrutural (GXN e MG), e controlado pela foliação (GXN_Sn e MG_Sn) e por fraturas (GXN-Fr e MG-Fr).

Os resultados de resistência com ruptura pela fratura foram considerados inválidos, pois a influência destas é posteriormente avaliada na classificação geomecânica dos maciços. Se tais valores fossem considerados, o fator descontinuidade seria penalizado 2 vezes na classificação final. Isto ilustra a importância de se analisar o modo de ruptura nos ensaios de resistência.

A textura e a composição mineralógica influenciam nos valores de resistência, que tende a se elevar próximo das regiões de silicificação e carbonatação, como nas das litologias GXN e MG. A resistência tende a ser mais baixa nas litologias mais micáceas, com foliação mais bem marcada, como, por exemplo, a CXV e GNCX. Litologias como o DOL, maciças e com alta resistência, apresentaram poucas informações com rupturas condicionadas por fraturas. Verifica-se também que mesmo quando a ruptura ocorre pela rocha intacta, há clara tendência da resistência variar com o ângulo de inclinação da foliação. Sabe-se que a resistência de rochas foliadas é máxima quando o ângulo entre a aplicação da tensão e a foliação é baixo ou elevado, diminuído para valores intermediários e com um mínimo no ângulo equivalente a $45^\circ + f/2$, sendo f o ângulo de atrito (Jaeger, 1960). Esta tendência foi verificada em ambos os ensaios, com resistências tendendo a decrescer entre 60 e 70°. Infelizmente, não há ensaios suficientes com foliação com ângulos mais elevados para comprovar o acréscimo de valores para esta faixa.

5. CONCLUSÕES

Com os dados obtidos, foi possível identificar quatro fatores que influenciam nos valores de resistência à compressão uniaxial dos litotipos da Mina Ingá. O primeiro é a litologia, com resistência influenciada pelas condições mineralógicas e texturais. O segundo é o ângulo da foliação em relação ao eixo do furo. Os menores e maiores ângulos (próximos de 0° e de 90°) mostram os valores máximos de resistência, e os próximos a 45° , os menores para ensaios RCU. O terceiro fator é a estrutura, refletida no tipo de ruptura. Resultados de ensaios com valores de resistência com quebra pela rocha intacta, no geral, são superiores aos de quebra pela foliação, que por sua vez são superiores aos com quebra pela fratura. O quarto fator é a influência da geometria e do tipo de quebra no nível de confiança. Ao filtrar as informações considerando o tipo e a geometria de quebra válidas, os dados foram refinados e se apresentaram mais assertivos,

ilustrando que as informações referentes ao tipo de ruptura têm grande reflexo nos resultados e interpretações.

Os objetivos do trabalho foram concluídos, uma vez que as informações sumarizadas sintetizam as variáveis que podem vir a influenciar na resistência à compressão e contribuem para o planejamento de lavra, para o dimensionamento das escavações e para assertividade na escolha do sistema de suporte, otimizando a produção e mantendo as escavações seguras.

AGRADECIMENTOS

À AngloGold Ashanti, unidade Mineração Serra Grande pela disponibilização dos dados, em especial à equipe da Mecânica de Rochas.

REFERÊNCIAS

- BIENIAWSKI, Z.T. (1973) *Engineering classification of jointed rock masses*. South African Institution of Civil Engineering, p.335-343.
- BORGES, C. C. A & Campos, L. M. (2019) Caracterização Petrográfica dos Litotipos do Greenstone Belt Crixás. CRIXÁS GOLD PROJECT, Relatório Interno.
- CASTOLDI, M.A.S. (2015) O distrito aurífero de Crixás-GO: caracterização do novo corpo de minério Ingá. TCC, Instituto de Geociências, URGs, Porto Alegre, 177 p.
- HOEK, E. & Brown, E.T. (1980a) Empirical strength criterion for rock masses. *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, v.106, No. GT9, p.1013-1035.
- Hoek, E. & Brown, E.T. (1980b) *Underground Excavations in Rock*. London, Institution of Mining and Metallurgy. UK.527p. Hoek, E. (1994) Strength of rock and rock masses. *ISRM News Journal*, v.1, n.2, p.4-16.
- ISRM (1979) Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. ISRM Commission on standardization of laboratory and field tests. *Int. J. of Rock Mech. And Min. Sci., Geomechanical Abstracts*, vol. 16.
- ISRM (1985) *Int. Soc. of Rock Mechanics. Commission on Testing Methods. Suggested method for determining point load strength*. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. And Geomech. Abstr.* 22, 51–60.
- JAEGER, J. C. (1960) Shear failure of anisotropic rocks. *Geological Magazine*;97(1):65e72
- JOST, H. & Fortes, P. (2001) GOLD DEPOSITS AND OCCURRENCES OF CRIXÁS GOLDFIELD, CENTRAL BRAZIL. *Mineralium Deposita, Europa*, v. 36, p. 358-376.
- JOST, H., et al. (2009) Idade das rochas encaixantes e da mineralização aurífera da Mina III, Greenstone Belt de Crixás, Goiás. In: *II Simpósio Brasileiro de Metalogenia. Épocas metalogenéticas brasileiras. Ciclos tectônicos e Modelos Metalogenéticos*. Gramado.
- JOST, H. et al. (2010) A U-Pb Zircon Paleoproterozoic Age for the Metasedimentary Host Rocks and Gold Mineralization of the Crixás Greenstone Belt, Goiás Central Brazil. *Ore Geology Reviews* 37: 127-139.
- JOST, H. et al. (2014) Metalogênese das Províncias Tectônicas Brasileiras - Metalogênese dos Greestone Belts de Goiás p.144-146
- MILLI, C. B. (2021) Análise dos fatores condicionantes da resistência à compressão dos litotipos da Mina Ingá, Crixás (GO). 2021. 73 f. Monografia (Graduação em Engenharia Geológica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- SABÓIA, L.A. & Teixeira, N.A. (1980) Lavas ultrabásicas da unidade basal do greenstone belt de Crixás (GO): Uma nova classe de rochas ultrabásicas no Estado de Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, 10: 28-42.