

Uso do método de contenção tirante com resinas: estudo de caso da Mineração Turmalina

Application of the supporting method rod and resins: case study of Mineração Turmalina

M. A. S. de Freitas^{1,*}; R. P. de Lima²

¹ Geologia/Geotecnia e Mecânica das Rochas, Mineração Turmalina Ltda., Conceição do Pará-MG, Brasil

² Departamento de Ciências Sociais, Humanas, Letras e Arte, Universidade do Estado de Minas Gerais, idade João Monlevade - MG, Brasil.

*miguelsabinof@gmail.com

Resumo

Nos empreendimentos que realizam aberturas subterrâneas geralmente são aplicados métodos de suporte para mantê-las estáveis e seguras. Um desses é o método de **suporte tirante com resinas**, que tem como objetivo principal impedir a movimentação do maciço rochoso que envolve a galeria. O caso estudado neste trabalho foi o da Mineração Turmalina, empresa do grupo Jaguar Mining inc., no qual foram identificadas algumas falhas de capacidade de carga a partir das quais foram realizadas análises para o aprimoramento da eficiência de carga do método de contenção. Foram analisadas várias aplicações desse método, em três aberturas e testado um percentual representativo dessas aplicações. Nas amostras foram constatados possíveis erros relacionados aos procedimentos de instalação de tirantes permitindo encontrar a principal causa das falhas de resistência do método, o tempo de operação.

Palavras-chave: Tirantes com resina, métodos de suporte, capacidade de carga.

.....

The enterprises that have make underground openings usually have to applicate methods of contention to keep it stable and safe. One of these methods is the support rod with resin, whose the main purpose is preventing movement of the rock mass that wrap the gallery. In the Turmalina's mine, Group Company Jaguar Mining inc., this method showed some failures in its load capacity. In order to analyze it, this study was proposed by several applications of this method that had analysed in three slots. A representative percentage of these applications were tested and possible errors were noticed, eventually, related to how some rods have been installed. It allowed to figure out the root cause of failures resistance of this method, the uptime.

Keywords: Rod and resins, support method, load capacity.

1 INTRODUÇÃO

Na mineração subterrânea, um dos fatores mais críticos é a manutenção da estabilidade da escavação e a segurança de seus colaboradores. Grande parte das aberturas é realizada em espaços confinados compostos por rochas, fraturas e água, denominados maciços rochosos. O fato destes serem formados a partir de fatores naturais impede o conhecimento pleno de sua composição material e seu comportamento ao receber influência de fatores externos.

Por esse motivo a geotecnia, principalmente quando relacionada à mecânica das rochas, constitui uma área da mineração muito complexa e exige do profissional uma atenção maior para garantir a vida útil do projeto e a integridade de seus colaboradores. O fenômeno principal tratado por essa área em escavações subterrâneas é o comportamento dos maciços rochosos que se traduz nas modificações ocorridas no local após a realização da abertura.

Para controlar as movimentações e mudanças num maciço rochoso são utilizados vários métodos de contenção e suporte. Neste trabalho foi analisado um dos métodos de suporte mais usados, denominado **Tirante com Resinas**. Este método tem como objetivos de fixar as porções de rocha em torno da galeria, gerar um estado de tensão no maciço rochoso e evitar o colapso da estrutura da abertura subterrânea. Esse método de contenção consiste basicamente em um tirante (barra de aço laminado a quente com seção transversal oval) inserido na rocha com cartuchos de resina de poliéster que ao ser aplicado se integra ao maciço.

Após a realização da abertura e da contenção necessária, ao longo da vida útil de uma abertura subterrânea são feitos monitoramentos geotécnicos que estabelecerão se os meios de suporte estão atuando de maneira eficiente em cada local aplicado. Um tipo de monitoramento realizado são os testes de tração utilizando um macaco hidráulico. Este teste promove o tracionamento dos métodos de contenção e verifica sua real capacidade.

Este estudo teve como objeto de análise a experiência da Mineração Turmalina Ltda, pertencente ao grupo Jaguar Mining Inc. Nesta empresa, uma das contenções utilizadas na mina é o tirante com resinas. Após submeter vários tirantes a testes de tração, constatou-se que uma parte considerável deles cedeu com uma carga inferior à capacidade de 22 Toneladas força (Tf) definida pelo fabricante - DSI FosMinas.

Experimentalmente, foram realizados testes de capacidade em alguns tirantes já aplicados nas galerias da Mineração Turmalina. Por meio de tracionamento realizado com um macaco hidráulico, constatou-se que uma parte dos tirantes fixados rompia sua liga com o furo na rocha antes de alcançar a capacidade tolerável de 17 Tf. Esta ineficácia do método potencializa os riscos de acidentes nos trabalhos do ambiente subterrâneo.

Portanto, um dos objetivos desse estudo foi identificar os motivos que estariam gerando a ineficiência desse método e, para tanto, foram necessários monitoramentos na aplicação dos tirantes e testes de tração. Isto resultou na geração de dados que condicionam a realização do objetivo de identificar, entre outros, falhas humanas, erros no dimensionamento do método e nas atividades operacionais. E como resultado final, objetivou-se sugerir o aprimoramento na aplicação e utilização da contenção tirante com resinas.

2 METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado como um estudo de caso da Mineração Turmalina Ltda, empresa pertencente ao grupo *Jaguar Mining Inc.*, localizada na cidade de Conceição do Pará (MG), de exploração subterrânea. Teve como objetivo principal colher dados e analisar as características geotécnicas particulares da mina que decorreu um trabalho aplicado de supervisão de todo o processo de perfuração da galeria, instalação do tirante com resinas, método utilizado pela empresa para contenção e suporte da galeria e testes de tração utilizando macaco hidráulico para a verificação da real capacidade de suporte do método tirante com resina.

Devido à fragilidade do método de tirante de resina para contenção e suporte da galeria da mina em estudo, constatada após alguns tirantes instalados na galeria terem sido submetidos a testes de tração e ter sido observado que uma parte considerável dos mesmos cedeu com uma carga inferior à capacidade definida pelo fabricante - 17 toneladas de rocha por tirante -, as análises tratadas neste trabalho ficaram concentradas no monitoramento da aplicação dos tirantes e nos testes de tração para a geração de dados que tornassem possível a identificação de falhas durante a operação da mina, decorrentes da conduta humana, de erros de dimensionamento do método e/ou de processos operacionais.

A partir de então, tornou-se possível apontar os motivos que estariam gerando a ineficiência desse método e propor possíveis soluções para os problemas.

Para realização desse trabalho foi necessária uma pesquisa bibliográfica em trabalhos de referência no campo de estudo de **Mecânica de Rochas** como, por exemplo, *Rock Mass Rating* de Z. Bieniawsky de 1969, (BIENIAWSKI, 1973), o *Q System* de N. Barton, R. Lien, e J. Lunde de 1974 (BARTON; LIEN; LUNDE, 1974), e o *Rock Quality Designation* de Don U. Deere de 1968 (DEERE, 1968). Estes estudos configuraram uma base científica para outros autores e estudiosos, como Diogo B. Brandani, B. H. G. Brady e G. E. T. Brown, além de E. R. Goodman que desenvolveu seu trabalho *Introduction to rock mechanics* (GOODMAN, 1989). Outro trabalho de referência adotado neste estudo é *Introdução à Mecânica das Rochas* de Izabel C. D. Azevedo e Eduardo A. G. Marques (AZEVEDO; MARQUES, 2002).

O método tirante com resinas, citado anteriormente, é um método de suporte imediato, ativo ou passivo, que se trata de uma ancoragem química, e tem como vantagem, alta flexibilidade, o que evita a perda de protensão causada pelas vibrações de detonação, alta resistência à corrosão e alta capacidade, acima de 17 Tf. Já como desvantagens, é um método oneroso, que necessita de treinamento para aplicação, estocagem adequada do material, como lembra (SILVA, 2010).

Na Mineração Turmalina Ltda o método usado resume-se em um suporte para galerias subterrâneas que consiste em um tirante de aço, fornecido pela empresa DSI FosMinas e denominado Sistema *Saferock*. Este sistema é introduzido ao furo, feito por jumbo e sua introdução é antecedida pela inserção de 2 cartuchos de resina fornecidos pela mesma empresa. Trata-se de um tirante helicoidal usado em galerias de desenvolvimento primário, que ocorre na rampa principal e acessos permanentes, ambos localizados fora do corpo de minério. Estes são alocados com espaçamento de 1,5 m x 1,5 m, em malha estagiada (pé de galinha). Cada tirante resiste à carga de ruptura de 22 Tf.

Ao ser rotacionada no furo, a barra de aço rompe o cartucho de resina e inicia a reação de enrijecimento desta, que resultará na liga entre o tirante e a parede do furo. Ao longo da secagem da resina realiza-se a protensão dos tirantes. Esse procedimento tem a

função de controlar os níveis de tensão do maciço, que foram reduzidos a zero ao realizar-se a abertura. Após sua secagem, essa operação tem o objetivo de conter a queda de blocos instáveis de rocha (choco), manter a estabilidade do maciço e segurança dos colaboradores que fazem parte do empreendimento.

2.1 Aplicação do Sistema *Saferock* e cartuchos de resinas

O Sistema *Saferock*, de acordo com a empresa distribuidora, é constituído por 3 componentes principais, um vergalhão com seção transversal oval de 22 - 24 mm de diâmetro e 1,8 m de comprimento e composto por aço laminado. Este é todo torneado como um parafuso e em sua extremidade externa ao furo possui uma porca soldada. Esta permite a rotação da barra usando uma parafusadeira pneumática. Após esse procedimento uma rosca é apertada prendendo uma chapa de aço à parede da galeria, como é demonstrado na [Figura 1](#). Esses dois últimos componentes resistem à tração realizada pelo bloco de rocha.

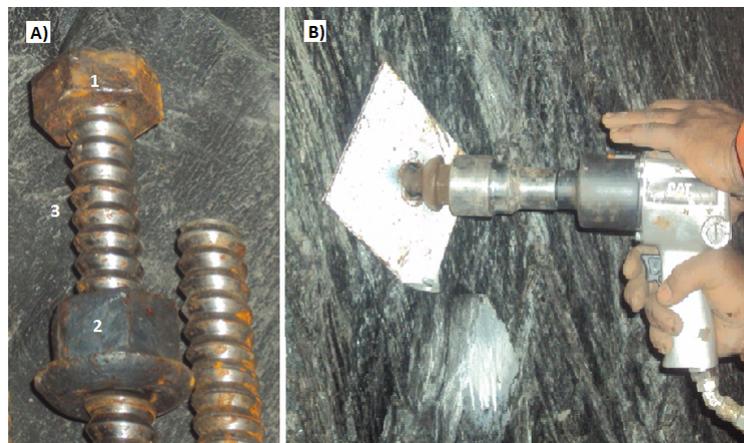


Figura 1 – Sistema *SafeRock* e método de aplicação. a) Extremidade externa do sistema *Saferock* (direita), composto por uma porca soldada (1), parafuso (2) e tirante helicoidal (3); b) Aplicação do tirante, rotacionando-o usando parafusadeira pneumática. Fonte: [MINERAÇÃO... \(2013\)](#).

A resina usada nesse processo de contenção é um produto embalado em um cartucho da mesma empresa. Ao secar englobando o tirante *SafeRock*, a resina atua como uma liga que o prende as paredes do furo ao qual foi introduzido. Essa ação faz com que ela atue como uma resistência contrária à tração da rocha, evitando a queda do bloco. Ou seja, a porca resiste ao esforço à tração em um sentido e a resina presa ao furo resiste ao sentido contrário ancorando o bloco de rocha ao maciço. A DSI Fosminas define que cada cartucho contém uma pasta de resina de poliéster e um catalisador pastoso, em quantidades balanceadas, separados por uma fina película que funciona como uma barreira físico-química e evita sua interação.

São utilizadas em cada furo 2 resinas com velocidade de pega rápida (PR) introduzidas no fundo do furo. Essa é assim denominada porque logo após o início do rotacionamento do sistema o cartucho é rompido e os catalisadores promovem o início de pega da resina em 30 segundos, seguindo pelo o início de endurecimento em 1,5 minutos. Também são posicionadas 2 resinas de pega lenta (PL), introduzidos na coluna, respectivamente com tempos de início pega em 1,5 min. e de endurecimento em 45 min. Após a introdução destas manualmente, o sistema *Saferock* é colocado sem que atinja os cartuchos de PR. Por

meio de uma porca soldada na extremidade externa do sistema, a haste é rotacionada e empurrada até o fundo do furo durante uma média de 30 segundos, como está demonstrado na Figura 1. Este tempo é definido com uma margem de tolerância em torno de 5s. s, sendo que a partir dos 30s começa o início de pega da resina, ou seja, se inicia o enrijecimento da resina no fundo do furo. A rotação é feita através de uma parafusadeira pneumática ou elétrica, no trabalho em questão foi usada uma pneumática.

Assim que a placa é parafusada até o limite da parte externa do tirante, deve-se fazer a protensão dele. A protensão consiste em introduzir um estado prévio de tensões, através de uma compressão prévia na peça de modo a melhorar o seu comportamento e sua resistência. Na aplicação do tirante com resinas esse estado de tensão é gerado ao se aplicar um torque neste de 3 a 12 minutos, depois da secagem da resina PR e enquanto a PL estiver ainda inconsolidada. Essa etapa tem grande importância, pois além de promover o confinamento dos blocos do maciço pode-se averiguar se a operação foi eficiente e o tirante está suportando a carga. A partir desta operação, o tirante se torna ativo, ou seja, passa a realizar uma tensão induzida no maciço.

O transporte e armazenamento dos materiais utilizados no atirantamento devem ser feitos de forma adequada, o sistema *Saferock* deve ser estocado em local onde não possa ocorrer a oxidação e demais danos físicos como sua quebra. Já nos cartuchos de resina, além do estoque, o transporte pode danificar a película que separa o catalisador da pasta de resina de poliéster, e este contato dos dois materiais inicia o processo de secagem, o que torna o cartucho inutilizável.

2.2 Testes da capacidade de tração

Nas contenções utilizadas na Mineração Turmalina são feitos testes de tração para atestar sua eficácia e comprovar que o tirante está correspondendo a sua função de ancoragem. Para isso, utilizando um macaco hidráulico os tirantes são tracionados e o equipamento é elevado a uma carga aceitável de resistência, 17 Tf.

Como procedimento de teste, o parafuso soldado à extremidade externa do tirante é serrado e é rosqueado um prolongador a este, com o intuito de fixar o macaco hidráulico ao tirante (Figura 2). Uma luva e calços realizam o apoio do sistema à parede da galeria. Com a instalação do sistema o macaco hidráulico é bombeado e traciona a contenção até alcançar a capacidade tolerável de 17 (Tf).

2.3 Definição da malha de tirantes

Na Mineração Turmalina a cada avanço da frente de desenvolvimento é realizada a instalação de duas fileiras de tirantes, com espaçamento de 1,5m entre eles. Este procedimento foi definido após detalhada análise geotécnica do maciço.

2.4 Classificação de Maciços Rochosos

A classificação dos maciços é realizada por vários parâmetros e técnicas que definirão os sistemas de contenções necessários, o tempo de vida útil da galeria, a resistência do maciço aos efeitos causadores de rupturas, as tensões existentes e necessárias para evitar movimentações inaceitáveis.

Segundo Lima (2006) “o maciço é composto pela rocha sã, descontinuidades (fraturas), água e os estados de tensão”. Cada um possui diferentes porções nas quais não

Ferramentas utilizadas no teste de arrancamento em Tirantes

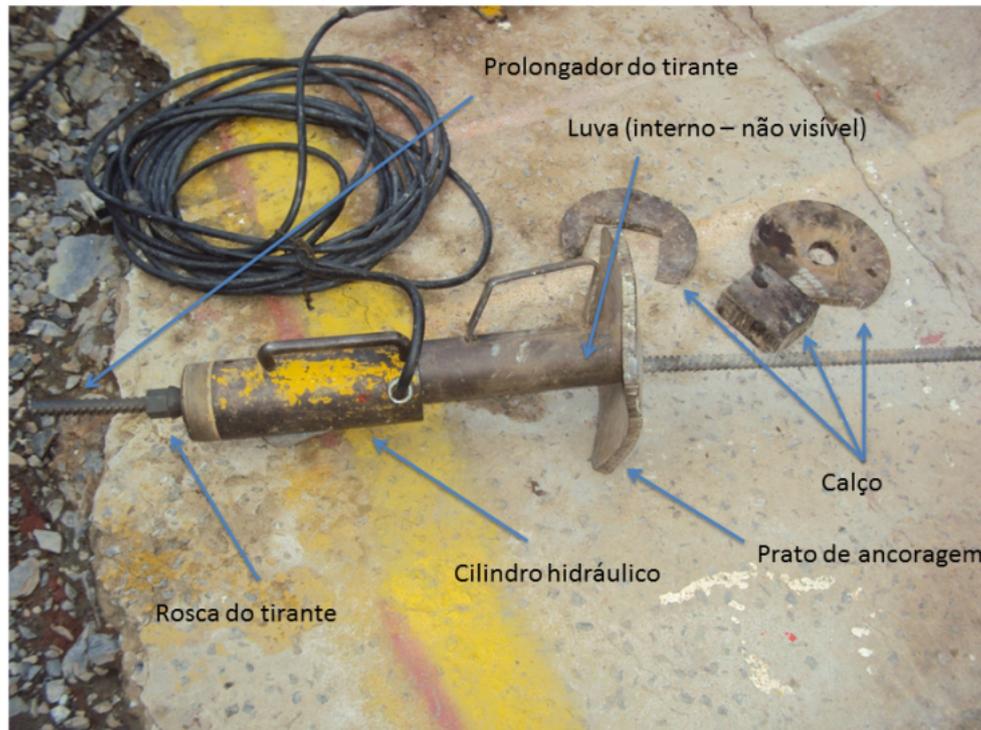


Figura 2 – Teste de tração utilizando macaco hidráulico. Fonte: MINERAÇÃO... (2013).

se pode definir como regra as características e classificação de uma determinada parte, havendo muitas variações quanto às famílias de descontinuidades, aos seus preenchimentos, a presença de água, à rugosidade, às tensões principais, aos modos comuns de ruptura etc.

Por essas variações a ideia principal na classificação de maciços é dividi-lo em blocos de rocha que possuem comportamento e características similares e aceitáveis ao serem expostos a esforços comuns como perfuração, desmonte e movimentações de equipamentos.

Há vários sistemas de classificação geomecânicas, mas para estudos de minas subterrâneas os mais utilizados são o *Rock Quality Designation* (RQD), o *Rock Mass Rating System* (RMR) e o *Rock Tunneling Quality Index* (*Q System*).

O *RQD* proposto por Deere (1968) é um sistema de classificação para maciços muito usado nos estudos de **Mecânica de Rochas**, principalmente por sua simplicidade e aplicabilidade. Ele consiste na análise de descontinuidades a partir do testemunho de sondagem, nas quais se considera apenas as interseções entre fraturas maiores que 10 cm para se calcular a porcentagem dessas em relação ao todo. O RQD é uma análise primária e simples já que leva em consideração apenas o espaçamento entre fraturas, deixando de lado muitas outras variáveis relacionadas à estabilidade do maciço, entretanto, muitas vezes essas são as únicas informações prontamente disponíveis em locais de mineração. (MILENE; HADJIGEORGIOU; PAKALNIS, 1998).

Os outros dois sistemas mais utilizados em minas canadenses, por exemplo, são o *Q System* do Instituto Norueguês de Geotecnia (BARTON; LIEN; LUNDE, 1974) e as diferentes versões do *RMR*, originalmente proposto por Bieniawski (1973). Ambos os

sistemas utilizam o *RQD* como um dos seus parâmetros constitutivos e têm evoluído ao longo do tempo para melhor consideração da influência de vários fatores do maciço rochoso na estabilidade da escavação. (MILENE; HADJIGEORGIOU; PAKALNIS, 1998).

O *RMR* é um sistema de classificação de maciços formulado por Bieniawski em 1969 com objetivo encontrar o *stand up time* da galeria, ou seja, o tempo que a abertura permanecerá estável sem que seja aplicados métodos de reforço. Foi criado, inicialmente, para ser usado em projetos de túneis, mas ao longo dos anos foi sofrendo modificações para ser utilizado em minas e passou a considerar alguns fatores como mudança de tensões, por exemplo.

No sistema *RMR* os parâmetros principais utilizados para classificação do maciço são a **resistência à compressão uniaxial da rocha**, os dados do *RQD*, os espaçamento e condição das descontinuidades e a presença de água.

O *RMR* é organizado em 4 etapas: na primeira são atribuídos valores fixados ao longo dos anos a cada característica analisada, esses valores são distribuídos de acordo com 5 parâmetros de classificação do maciço (resistência das rochas, dados do *RQD*, o espaçamento médio das descontinuidades, as condição das descontinuidades, e a presença de água). Na segunda etapa são feitos ajustes de acordo com a direção e o mergulho das fraturas em cada caso relacionado a utilização do teste, ou seja, para galerias, fundações ou taludes. Na terceira é gerada a classificação do maciço baseada em sua pontuação. E, por fim, na quarta etapa obtém-se o tempo de autossustentação do vão aberto com base na classe definida na terceira etapa.

Após a análise de *RMR*, considerando todos os demais parâmetros, relaciona-se a análise ao vão da abertura e se define o *stand up time*, de acordo com o ábaco da [Figura 3](#) a seguir.

O *Q System* foi umas das primeiras metodologias desenvolvidas para classificação de maciços e sofreu poucas modificações ao longo do tempo. Ela configura um sistema de classificação que tem o objetivo de identificar a instabilidade da galeria e o suporte a ser utilizado para diminuir as movimentações no maciço e preservar a abertura com segurança até o fim de sua vida útil.

O valor encontrado por meio do *Q System* será relacionado a um diâmetro equivalente para a definição do método de contenção a ser usado na abertura. Esse diâmetro é representado pelo D/ESR que, de acordo com [Brandani \(2011\)](#), “ D é o diâmetro ou vão da escavação (m) e ESR (*Equivalent Support Ratio*) é o fator de segurança em função do uso final da escavação”. A partir dessas definições pode-se relacionar o tamanho do vão da escavação considerando que quanto maior o diâmetro da abertura, menor a segurança e mais eficaz deve ser o suporte utilizado para manter a estabilidade.

A partir do diâmetro equivalente e valores de Q , através da utilização do ábaco proposto por [Brandani \(2011\)](#) ([Figura 4](#)), define-se a contenção necessária e seu espaçamento ou espessura. Essa análise é a base para todo sistema de suporte e reforço que apesar de ser muito criteriosa deve contar bastante com a expertise do profissional responsável, já que devem ser levados em consideração vários acontecimentos atípicos dos quais não se tem representação matemática como tratado em Barton, Bienawski e demais estudiosos.

No caso estudado da Mineração Turmalina, a classificação do maciço foi calculada por meio do *Q System* que o definiu como **regular** que corresponde aos valores de Q entre 4 e 10. Neste caso pode-se observar que com vãos medidos de 3,7 m a 5 m e considerando um $ESR = 1,6$, obteve-se um diâmetro equivalente a um intervalo de 1,9 m a 4 m, considerando

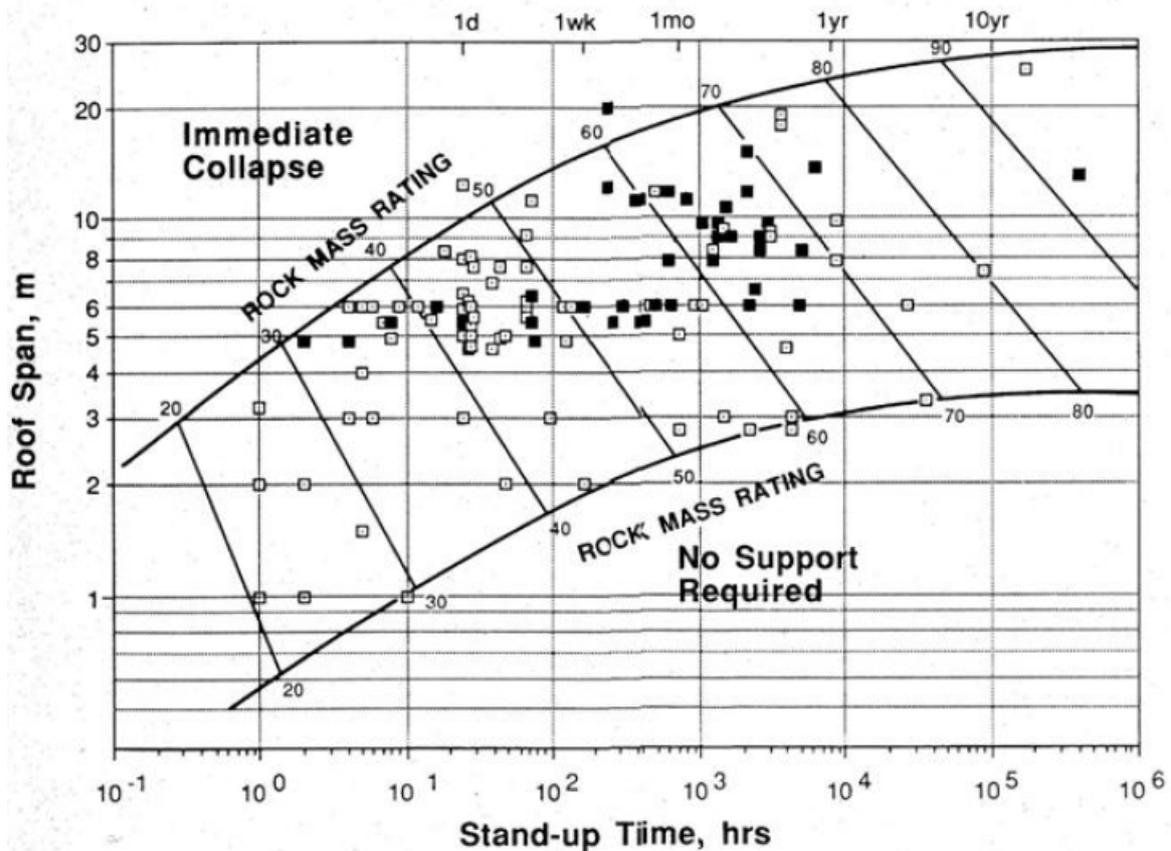


Figura 3 – Determinação de auto suporte para galerias, baseado no RMR, abertura do vão e stand up time. Fonte: Brandani (2011).

um Q estimado entre 4 e 10, o espaçamento entre tirantes seria de 1,5 m sem utilização de concreto projetado.

2.5 Testes experimentais

A partir da ocorrência de falhas na capacidade de carga no método de contenção, se iniciou, ao longo de 3 semanas, um trabalho na empresa a fim de monitorar e fazer um acompanhamento das aplicações e testes dos tirantes.

Sendo a instalação feita de modo manual e adotados os devidos procedimentos técnicos, o monitoramento consistiu em cronometrar o tempo de aplicação, observar o modo de aplicação, analisar as condições do material utilizado e a atitude dos operadores ao realizarem a tarefa. Ao longo do monitoramento de 32 aplicações, 12 foram analisadas por testes de tração, por motivos de segurança, já que as demais tinham altura superior a 1,5 m que impediu o procedimento do teste de tração.

Em cada aplicação foram observadas as ações e acontecimentos típicos, como um hábito do operador, e atípicos, como uma falha mecânica. Os eventos considerados inadequados pelo procedimento de aplicação do método podem ser classificados da seguinte maneira:

- **Alto, baixo tempo de aplicação:** a aplicação do tirante deve ser realizada em 30

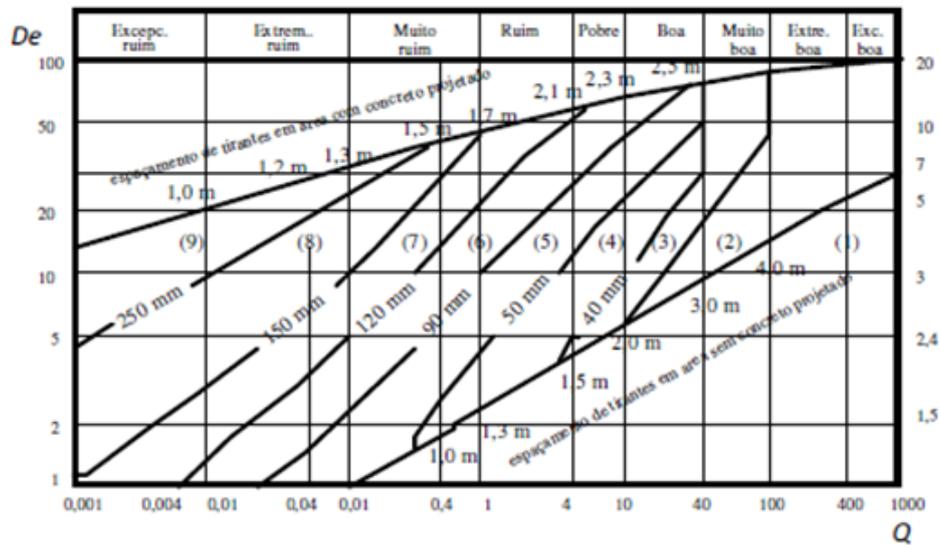


Figura 4 – *Categorias de suporte para aberturas subterrâneas: 1) Sem suporte; 2) Tirantes curtos localizados; 3) Sistema de tirantes; 4) Sistema de tirantes com concreto projetado de 40-100mm; 5) Concreto projetado reforçado com fibra de aço, de espessura de 50-90mm, e com tirantes; 6) Concreto projetado reforçado com fibra de aço, de espessura de 90-120mm, e com tirantes; 7) Concreto projetado reforçado com fibra de aço, de espessura > 150mm, reforçado com arcos de concreto e tirantes. Fonte: Brandani (2011).*

segundos, tempo estabelecido pelo fabricante como o início de pega da resina de pega rápida (PR), por isso não deve ser ultrapassado, considerando-se uma tolerância de 5s em média, a partir desse tempo é considerado inaceitável. Já o baixo tempo de aplicação dificulta a homogeneização total das resinas com seus catalisadores e sua interação com o Sistema *Saferock*.

- **Falha na parafusadeira pneumática:** como a aplicação foi feita com a parafusadeira pneumática na Mineração Turmalina, uma falha dela diminuiu o tempo de rotação do sistema, conseqüentemente reduziu a homogeneização da resina.
- **Inserção da resina PR usando a extremidade do tirante:** ao se colocar o cartucho de pega rápida (PR) usando o tirante que possui uma das extremidades pontiagudas, pode-se perfurá-lo ou danificar a película que separa a resina do catalisador, iniciando o seu processo de enrijecimento e passando a ser contado a partir deste momento os 30s de aplicação e diminuindo seu tempo de rotação, sendo que o sistema não está completo para o procedimento.
- **Falha do cronômetro:** durante algumas aplicações houve falha no cronômetro, o que impediu o registro do tempo exato, mas inferido, no tirante 21 em, aproximadamente, 30s e no tirante 27 em, aproximadamente, 28s, com base no relógio do operador.
- **Instalação do tirante paralelo a foliação:** ao se aplicar o sistema paralelo à foliação da rocha, no caso o Xisto, este não atua como suporte, sendo indicada sua aplicação perpendicular a para que o método seja eficiente. Por não haver projeto individual de posicionamento dos tirantes, esse procedimento exige maior atenção do operador que realiza a perfuração.

- **Instalação incompleta de todo o comprimento da haste:** Em alguns procedimentos, por algum desvio na perfuração ou bloqueio no furo, após a checagem do mesmo, não foi possível introduzir todo o tirante, isso foi observado em alguns testes, como no caso do n° 32 que teve 50 cm de sobra da haste que mede 1,8 m, ou seja, mais de 25% da barra não foi aplicada, isso reduz a eficiência do sistema já que essa parte externa não atua como ancoragem.

Além do tempo de instalação e as observações feitas, uma grande variável desse processo de atirantamento é o volume do Sistema *Saferock* e resinas PR e PL, quando comparado ao volume do furo ao qual é introduzido. O preenchimento deste é um fator importantíssimo pois representa um dos determinantes do contato das resinas, tirante e superfície do furo. A relação entre esses 3 fatores é fundamental para a total eficiência do método. Essa comparação volumétrica está descrita na [Tabela 1](#).

Tabela 1 – *Comparação Volumétrica.*

Componentes medidos	Diâmetro (mm)	Área (mm ²)	Comprimento (mm)	Volume (mm ³)
Resina	25	490,9	450	220893,3
Tirante ovalizado	20 e 24	377,0	1800	678583,8
Furo Bit 38	38	1134,1	1900	2154818,5
Furo Bit 35	35	962,1	1900	1828014,7
Furo Bit 32	32	804,2	1900	1528071,2
Volume do sistema Saferock + 4 Resinas (mm ³)			1562157	
Diâmetro do furo	Volume dos furos (mm ³)	% Preechida pelo volume do tirante instalado		
Furo Bit 38	2154818,5	72,5		
Furo Bit 35	1828014,7	85,5		
Furo Bit 32	1528071,2	102,2		

Na [Tabela 1](#) foi feita uma comparação baseada nas dimensões especificadas pelo fornecedor do Sistema *Saferock* e resinas, DSI Fosminas, em relação às dimensões do furo com bit 38 mm realizado na Mineração Turmalina e outros dois, com os bits de diâmetros 35 mm e 32 mm.

Foi constatado que utilizando o bit 38, ao ser aplicado, o sistema ocupa apenas 72,5% do volume total do furo, o que corresponde a um baixo percentual. No bit 35 ocuparia 85,5% e no bit 32, o volume do sistema seria superior ao do furo, correspondendo a 102% do preenchimento. O cálculo é feito sem levar em consideração a existência de fatores que não foram considerados teoricamente, mas que na prática podem alterar o resultado da operação, como os parachutes, possíveis resíduos da perfuração, partes da embalagem, entre outros.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os 12 testes selecionados das 32 aplicações apresentam características diversas, tendo em cada um deles observações comuns no cotidiano da operação, como as descritas anteriormente e relacionadas na tabela 2 com as respectivas cargas de resistência. Por

estas, e o tempo de aplicação ser bem variado, o resultado dos testes se tornaram bastante representativos.

Tabela 2 – Resultados dos testes de tracionamento.

Tirantes	Observações	Tempo (s)	Carga (Tf)
1	Baixo tempo de aplicação	21	10
2	Baixo tempo de aplicação	16	2
3	Baixo tempo de aplicação	23	17
4	Sem observações relevantes	27	17
5	Parafusadeira falhando/ baixo tempo de aplicação	21	13
6	Parafusadeira falhando/ baixo tempo de aplicação	25	17
7	Parafusadeira falhando/ alto tempo de aplicação	37	17
8	Revolver falhando/ tempo acima do aceitável	54	4
9	Resina PR empurrada usando o tirante/ Cronômetro falhou, tempo aprox. 30 s	30	17
10	Resina PR empurrada usando o tirante/ Tirante paralelo a foliação s	47	13
11	Resina PR empurrada usando o tirante/ Cronômetro falhou, tempo aprox. 28 s	28	17
12	Resina PR empurrada usando o tirante/ Sobrou aprox. 50 cm de haste	44	7

A tabela [Tabela 2](#) demonstra que do total de 12 tirantes analisados, 50% cederam abaixo da capacidade e 1/3 do total rompeu com carga inferior a 11 toneladas. Considerando o tempo como determinante para a eficiência dos tirantes, foi gerado o *Gráfico da Figura 5* que contribui para tornar a experiência mais clara, já que nele são representados vários tempos inferiores e superiores a 30 segundos. Esse tempo de aplicação é determinado pelo fabricante como início de enrijecimento da resina e utilizado pela Mineração Turmalina como tempo de aplicação.

No gráfico acima pode-se observar que os tempos variaram de 16 a 54 segundos (eixo x), já a capacidade de carga a qual os tirantes resistiram variaram de 2 a 17 Toneladas força (eixo y), sendo o segundo valor o correspondente ao limite que comprova a eficiência do tirante. Observando a dispersão dos pontos na área do gráfico, pode-se notar que, em relação ao tempo, os tirantes aplicados entre 23 e 37 segundos resistiram a 17 toneladas no teste, já os demais seguiram relativamente uma tendência, considerando que quanto mais o tempo se afasta dos 30 segundos estabelecidos no procedimento, menor é a carga suportada em cada tirante. O único tirante que não seguiu esta tendência foi o número 32, no qual houve um erro de aplicação e, aproximadamente, 50 cm de haste ficou externa ao furo, o que pode agravar a eficiência do método. Nos demais, o fator determinante foi o tempo, pela análise dos resultados obtidos.

4 CONCLUSÃO E SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Após expor possíveis variáveis responsáveis pela falha no sistema de suporte tirante com resinas ficou definido o tempo de aplicação como o problema principal. Entretanto, não podem ser desconsiderados os demais fatores irregulares observados nas aplicações dos tirantes testados. Pode-se inferir que erros de operação estejam ocorrendo nesse

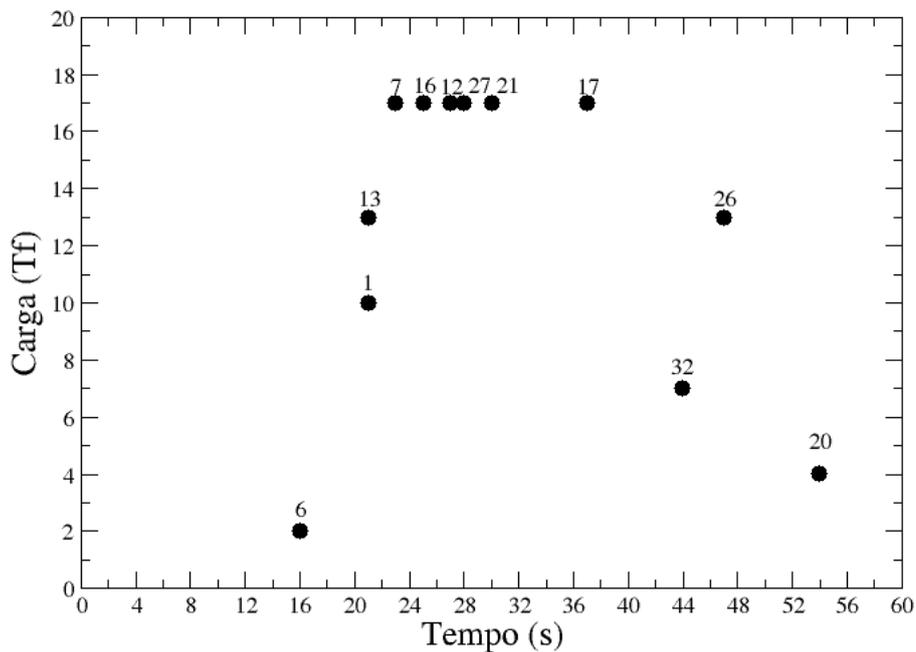


Figura 5 – Relação entre o tempo de aplicação da carga aplicada aos tirantes e a Carga de resistência dos tirantes. Fonte: elaboração própria (2013).

procedimento e que não estão apenas relacionados ao tempo de rotação do Sistema *Saferock* e cartuchos de resinas e, sim, as várias etapas do procedimento que abrangem desde falhas mecânicas dos equipamentos utilizados, como a parafusadeira, até o modo como o tirante é introduzido no furo.

Outro fator a ser considerado é a diferença volumétrica do furo comparado ao Sistema *Saferock* e os quatro cartuchos de resina, material usado em cada aplicação. Essa diferença foi analisada e permitiu que se observasse que com a utilização do bit 38, apenas 72,5% do furo foi preenchido quando o sistema foi instalado. Segundo [Silva \(2010\)](#) o método tirante com resinas é utilizado em furos de 26 a 34 mm, por essa relação e o baixo percentual de preenchimento, pode-se concluir que o furo de 38 mm pode ter volume e diâmetro excessivo para a instalação do sistema.

Ao se chegar a tais resultados e encontrar os possíveis erros na utilização desse método de suporte, foram sugeridas mudanças e novos procedimentos que terão o objetivo de otimizar esse processo e evitar que tais erros continuem a ocorrer.

Atestando a ocorrência de erros de operação, a primeira sugestão foi o treinamento das equipes de instalação dos tirantes, do operador da parafusadeira, da plataforma e dos auxiliares. Estes, após treinamento, devem seguir as normas do procedimento, como tempo e modo de aplicação. Como nem todas as equipes foram testadas neste estudo, as que estão precisando de treinamento, podem ser identificadas atribuindo uma cor a cada equipe, esta será marcada no tirante com spray. Ao se aplicar o método e ao longo da realização dos testes de tração, às equipes que executarem o atirantamento com baixa capacidade de

carga será proposto um treinamento com os procedimentos definidos pelos responsáveis da área mecânica de rochas da Mineração Turmalina.

Como foi possível ser observado neste trabalho, houve um tirante aplicado paralelo à foliação, o que gerou uma baixa capacidade do mesmo. Pode ser uma sugestão viável a complementação do curso de capacitação dos operadores de jumbo com conteúdos relacionados à geologia da mina, evitando a ocorrência de outros tirantes instalados da mesma forma e outros erros relacionados a questões geológicas. Esse complemento formalizaria o conhecimento que o operador agrega no cotidiano das atividades mineiras.

E em relação à diferença volumétrica, foi proposto à empresa que realizasse experimentos de aplicação do método de tirantes com furos de menor volume, utilizando bit 35, 34 e 33 mm, já que foi comprovado que o de 32 mm não comporta o sistema, tendo volume menor que este. Ao aplicá-los e levá-los a testes pode-se avaliar se essa diferença volumétrica pode ser a causa do rompimento de algumas aplicações.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, I. C. D.; MARQUES, E. A. G. **Introdução à mecânica das rochas**. Viçosa: Editora UFV, 2002.

BARTON, N.; LIEN, R.; LUNDE, J. Engineering classification of rock masses for design of tunnel support. **Springer-Verlag**, Springer-Verlag, v. 6, p. 189–236, 1974.

BIENIAWSKI, Z. T. Engineering classification of jointed rock masses. **The Civil Engineer in South Africa**, p. 335–343, 1973.

BRANDANI, D. B. **Estudo do comportamento geomecânico dos pilares esbeltos modelados em rocha dura na bacia do corpo 1, Mina Nova - Crixás/GO**. 2011. Tese (Tese de Doutorado) — UFOP, Ouro Preto - MG, 2011.

DEERE, D. U. **Geological considerations: rock mechanics in engineering practice**. 1968.

GOODMAN, R. E. **Introduction to rock mechanics**. 2. ed. [S.l.]: John Wiley e Sons, 1989.

LIMA, A. A. **Classificação de maciços rochosos: modos de ruptura em minas subterrâneas**. [S.l.], 2006.

MILENE, D.; HADJIGEORGIOU, J.; PAKALNIS, R. Rock mass characterization for underground hard rock mines. **Tunnelling Association of Canada Annual Publication**, 1998.

MINERAÇÃO TURMALINA LTDA. 2013. Relatórios da empresa.

SILVA, J. M. **Estabilidade de Escavações Subterrâneas**. 2010.