



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP

ESCOLA DE MINAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS



MÁRCIO FERNANDES DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DE ANCORAGEM COM RESINA EM MINA SUBTERRÂNEA
PELO PROCESSO MECANIZADO**

**OURO PRETO - MG
2019**

MÁRCIO FERNANDES DE OLIVEIRA

marcio.oliveira@ufop.edu.br

**ANÁLISE DE ANCORAGEM COM RESINA EM MINA SUBTERRÂNEA
PELO PROCESSO MECANIZADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para a obtenção do título de Engenheiro de Minas.

Professor orientador: DSc. José Margarida da Silva

**OURO PRETO – MG
2019**

O482a Oliveira, Márcio Fernandes.
Análise de ancoragens com resina em mina pelo processo mecanizado
[manuscrito] / Márcio Fernandes Oliveira. - 2019.

x, 28f.: il.: color; grafs; tabs.

Orientador: Prof. Dr. José Margarida da Silva.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Minas.

1. Lavra subterrânea . 2. Minas e recursos minerais - Medidas de segurança.
3. Ancoragem (Engenharia de estruturas). I. Silva, José Margarida da. II.
Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 622.272



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas - Departamento de Engenharia de Minas



ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

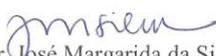
Aos 18 dias do mês de julho de 2019, às 16h00min, no auditório do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas - DEMIN/EM, foi realizada a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Minas requisito da disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II, intitulado “**INSTALAÇÃO DE ANCORAGEM COM RESINA EM MINA SUBTERRÂNEA PELO PROCESSO MECANIZADO**”, pelo aluno **Marcio Fernandes de Oliveira**, sendo a comissão avaliadora formada por **Prof. Dr. José Margarida da Silva (orientador)**, **Prof. Dr. Hernani Mota de Lima** e **Eng.º de Minas Caio César Silveira**.

Após arguição sobre o trabalho, a comissão avaliadora deliberou por unanimidade pela APROVAÇÃO do candidato, com a nota 9,8, concedendo-lhe o prazo de 15 dias para incorporar no texto final da monografia as alterações determinadas/sugeridas pela banca.

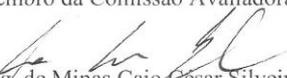
O aluno fará jus aos créditos e conceito de aprovação na disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II após o depósito, no site do Repositório UFOP, da versão final da monografia defendida, conforme modelo do CEMIN-2009, no Colegiado do Curso de Engenharia de Minas – CEMIN.

Para fins de registro, foi lavrada a presente ata que, depois de lida e aprovada é assinada pelos membros da comissão avaliadora e pelo discente.

Ouro Preto, 18 de julho de 2019.


Prof. Dr. José Margarida da Silva
Presidente da Comissão Avaliadora e Orientador


Prof. Dr. Hernani Mota de Lima
Membro da Comissão Avaliadora


Eng. de Minas Caio César Silveira
Membro da Comissão Avaliadora


Marcio Fernandes de Oliveira


Prof. M.Sc. José Fernando Miranda
Professor responsável pela Disciplina Min 491 – Trabalho de Conclusão de Curso

AGRADECIMENTOS

A minha mãe Maria de Lourdes, por me dar incentivos psicológicos, financeiros para a realização do sonho de se tornar um Engenheiro de Minas. Ao meu pai Vilson José, pelos seus ensinamentos e virtudes que ficarão eternos na memória.

Ao meu amor, pela companhia, correções, orientações e por ter uns melhores incentivos. Obrigado Esther Luísa!

Ao meu orientador Dr. José Margarida da Silva, pela condução de sua orientação, pela amizade, confiança e durante o transcorrer deste trabalho.

Ao DEMIN.

Aos professores do curso de engenharia de minas por suas importantes contribuições para o aprimoramento desta nova graduação, em especial, Carlão, Xana.

As empresas MecRoc Engenharia e *Rock Support* pelo apoio e suporte técnico para a realização deste estudo.

Ao cafofo da Vila Aparecida.

Aos irmãos republicanos da república Pureza.

RESUMO

A instalação de ancoragem com resina pelo processo mecanizado é utilizada como um sistema de suporte que redistribui as tensões e restabelece o equilíbrio na maciço rochoso, uma vez que escavações subterrâneas alteram a distribuição de tensão no maciço rochoso circundante, proporcionando a possibilidade de queda de blocos. A segurança da mina subterrânea deve ser vista não apenas como uma obrigação moral, mas também como um instrumento para aumentar a produtividade. A introdução do equipamento tipo Jumbo nas operações de resinamento eliminou o uso de equipamentos de elevação, diminuindo o risco de quedas de bloco nas atividades de aplicação de resina e torque. Um sistema de suporte eficiente resultará em maior segurança e como resultado disso haverá maior produtividade e lucros. A implementação de novos parâmetros e metodologia, como teste de aderência - GF e teste de arrancamento com encapsulamento curto – SEPT, nas minas subterrâneas, tem a intenção de obter a informação do comprimento mínimo a ser ancorado na rocha sã, tal dado servirá de índice para comparar forças relativas de ancoragem em litologias diferentes e verificar o processo de instalação.

Palavras-chave: mina subterrânea, teste de aderência, teste de arrancamento, ancoragem química, ancoragem com resina.

ABSTRACT

The installation of resin rockbolts by the mechanized process is used as a support system that redistributes tensions and restore balance in the rock mass once underground excavations change the stress distribution of the surrounding rock mass, resulting in the possibility of falling blocks. The safety of the underground mine should be seen not only as a moral obligation, but also as an instrument to increase productivity. The introduction of Jumbo type equipment in the resin operations eliminated the use of lifting equipment, reducing the risk of block drops in resin and torque application activities. An efficient support system will result in greater security and as a consequence there will be a increase in productivity and profits. The implementation of new parameters and methodology, such as grip factor test - GF and with short encapsulation pull test - SEPT, in the underground mines has intends to obtain the information the rockbolt's minimum length necessary in the intact rock, such data will serve as an index to compare relative anchorage forces in different lithologies and verify the installation process.

Key-words: *underground mining, grip factor, pull test, chemical anchorage*

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1– Modos de tensão, integridade estrutural e ruptura (Hutchinson e Diederichs 1996, modificado por Barbosa, 2008).	3
Figura 2.2 – Fluxo de tensão induzida em torno da escavação. a) tensão vertical isolada; b) tensão horizontal e c) distúrbio do campo de tensão da escavação em visão 2-D (Hutchinson e Diederichs, 1996, modificado por Barbosa 2008).	4
Figura 2.3 – Determinação do auto suporte para galerias, correlacionando com RMR e largura da galeria (Bieniawski, 1989 apud Brandani 2011).	4
Figura 2.4 – Categorias de suporte para aberturas subterrâneas. (Grimstad e Barton 1993, modificado por Brandani 2011).....	5
Figura 2.5 – Principais sistemas de ancoragem (Silva et al, 1998).	7
Figura 2.6 – Limites de performance de ancoragens mecânicas e químicas (Barnes and Howe, 1964; Aziz, 2002 apud Gontijo, 2016).	8
Figura 2.7 – Detalhe dos pontos de ruptura no contato tirante – resina (Gontijo, 2018)	12
Figura 3.1 – Dimensões da chapa utilizada no sistema de atirantamento. (MecRoc, 2018) ...	15
Figura 3.2 – Área de influência causada pela chapa ao torquear o tirante. (MecRoc, 2018) ...	15
Figura 3.3 – Jumbo modelo tipo Boomer H282 na operação (<i>Atlas Copco</i>).....	16
Figura 3.4 – Conjunto cartucho/parachutes/tudo PVC	17
Figura 4.1 – Número de tirantes por hora trabalhada (MeRoc, 2018).....	18
Figura 4.2 – Tempos médios na instalação de tirantes com resinas (MecRoc, 2018).....	18
Figura 4.3 - Desenho esquemático dos testes realizados (Gontijo, 2018).....	19
Figura 4.4 – Diagrama de transferência de carga (Gontijo, 2018)	21
Figura 4.5 – Diagrama de transferência de carga – Mina QF (MecRoC, 2018)	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Classificação de estruturas de sustentação em mineração (Silva, 2018).....	6
Tabela 2.2– Tempo gasto nas operações de sistema de reforço (Vilas Boas, 2018)	9
Tabela 4.1 - Testes de arrancamento dos tirantes utilizados 2018 (Gontijo, 2018)	19
Tabela 4.2 – Resultados dos testes (Gontijo, 2018)	20
Tabela 4.3 – Testes realizados na mina – Quadrilátero Ferrífero (MecRoc, 2018)	21

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Justificativa	1
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1. Geral	2
1.2.2. Específicos.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Escavações Subterrâneas	3
2.2 Estabilidade de Escavações Subterrâneas.....	5
2.3 Ancoragens	6
2.4 Monitoramento de Ancoragens com Resina.....	9
3. MATERIAIS E MÉTODOS	14
4. RESULTADOS	17
5. DISCUSSÃO	23
6. CONCLUSÃO.....	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

1. INTRODUÇÃO

Em minas subterrâneas, para o processo de minimização de riscos à segurança dos trabalhadores, de danos aos equipamentos utilizados nas atividades de produção e de diluição no minério extraído, geralmente, é utilizado o processo de suporte nos maciços rochosos. Os índices mais usados para caracterização e classificação do maciço são o *Rock Quality Designation* (RQD), o *Rock Mass Rating System* (RMR) e o (*Q System*), sendo essenciais para o dimensionamento correto do tipo de suporte a ser escolhido. O método ancoragem, utilizado no presente estudo, corresponde ao processo de atirantamento com uso de resina, com objetivo de fixar porções de rocha em torno das galerias, evitando o colapso das estruturas da abertura subterrânea.

Este trabalho mostra que, com a introdução do equipamento tipo Jumbo nas operações de instalação de tirantes com resina, obtém-se uma boa viabilidade técnica, operacional e econômica para minas subterrâneas no Brasil. Esse equipamento tem a capacidade de fazer todas as atividades do processo de instalação de tirantes com resina: perfuração, aplicação de resina e torque ou protensão.

A partir dos resultados de testes de arrancamento (*pull tests*) realizados pela equipe da empresa MecRoc Engenharia da em duas minas subterrâneas, pôde-se avaliar a eficácia da instalação de resina mecanizada e os riscos podem ser reduzidos quando implementados e incorporados ao sistema de qualidade indicadores padrão, como o *Grip Factor* (GF), e procedimentos padrão como ensaios de tração utilizando metodologia SEPT (*Short Encapsulation Pull Test*), avaliando a resistência de aderência no comprimento da ancoragem no conjunto tirante/rocha/resina.

1.1. Justificativa

O processo de estabilização de maciços rochosos em minas subterrâneas tem como objetivo direto garantir um ambiente de trabalho seguro, reduzir a diluição e a perda de minério, tornando a atividade cada vez mais econômica, com menor perda possível de tempo nas instalações de tirantes para as realizações das atividades necessárias à exploração de minério, sendo assim, seu estudo é de grande relevância para o setor.

1.2. Objetivos

1.2.1. Geral

Avaliar a eficiência de equipamentos de perfuração tipo Jumbo nas instalações de tirantes com resina em galerias e frentes de lavra de mina subterrânea para o processo de estabilização do maciço rochoso.

1.2.2. Específicos

Avaliar incorporação ao sistema de qualidade de indicadores padrão, como o *Grip Factor* (GF), e de procedimentos padrão como ensaios de tração utilizando metodologia SEPT (*Short Encapsulation Pull Test*).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Escavações Subterrâneas

Segundo Barbosa (2008), nas escavações subterrâneas o comportamento dos maciços rochosos (MR) é estudado tanto em relação às tensões induzidas como à resistência do MR, quanto em relação ao tamanho dos blocos, que podem ser formados pelas descontinuidades com o tamanho total do realce, como mostra a Figura 2.1.

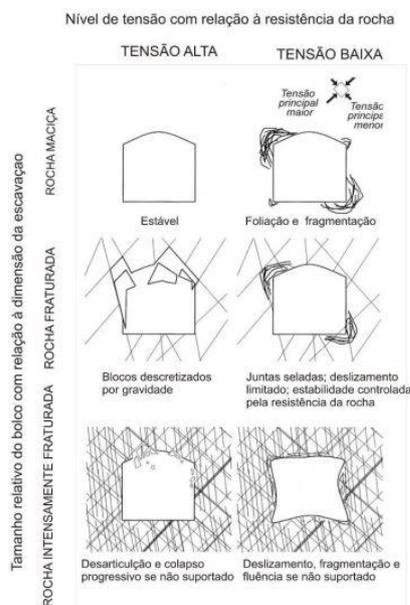


Figura 2.1– Modos de tensão, integridade estrutural e ruptura (Hutchinson e Diederichs 1996, modificado por Barbosa, 2008).

Essas tensões podem ser redistribuídas, ficando concentradas ou aliviadas, dependendo das relações das tensões principais – horizontais/verticais – e presença de descontinuidade. Com isso, ocorre o efeito arco de sustentação graças ao processo de redistribuição das tensões devido à escavação. Nas vizinhanças destas aberturas ocorre uma zona de descompressão e as rochas ficam submetidas à ação do próprio peso. Entre o limite de expansão e o limite de influência há uma região de sobrepressão. Após este limite de influência o maciço rochoso não sofre influência da escavação (Hutchinson e Diederichs, 1996, apud Barbosa 2008), conforme a Figura 2.2.

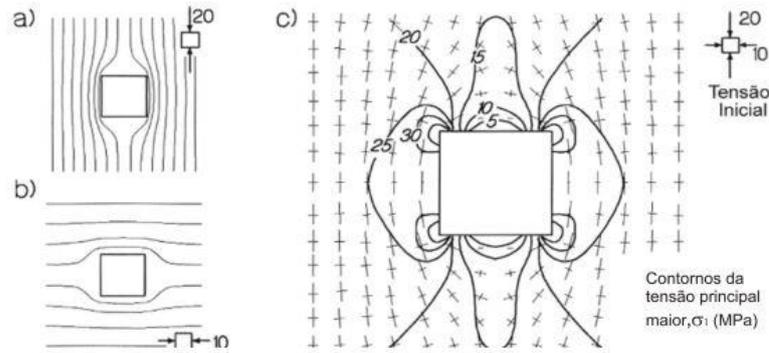


Figura 2.2 – Fluxo de tensão induzida em torno da escavação. a) tensão vertical isolada; b) tensão horizontal e c) distúrbio do campo de tensão da escavação em visão 2-D (Hutchinson e Diederichs, 1996, modificado por Barbosa 2008).

As etapas que precedem às escavações subterrâneas são as de caracterização e classificação geomecânica dos MR, com o objetivo de quantificar seus parâmetros: litologias, discontinuidades (número de famílias, espaçamento, abertura, preenchimento e rugosidade), alteração, condições de água subterrânea, deformação, resistência e estado de tensão inicial do maciço (Barbosa 2008). Para estudos de minas subterrâneas os índices de classificação mais utilizados são o *Rock Quality Designation (RQD)*, o *Rock Mass Rating System (RMR)* e o (*Q System*). A Figura 2.3 mostra o tempo de auto sustentação de uma escavação subterrânea em relação à classificação RMR e da largura à galeria.

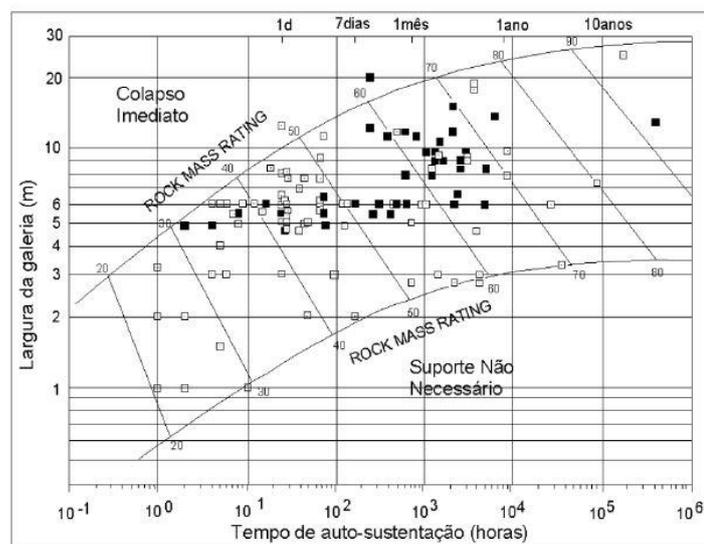


Figura 2.3 – Determinação do auto suporte para galerias, correlacionando com RMR e largura da galeria (Bieniawski, 1989 apud Brandani 2011).

De acordo com Brandani (2011) o projeto do suporte mais adequado pode ser definido pela correlação do diâmetro equivalente (D_e) e valores obtidos pelo Q System. Pela equação (1), obtém-se o valor de D_e , onde 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. Com o uso do ábaco da Figura 2.4 pode-se determinar o sistema e a forma de sustentação da escavação a ser realizada.

$$D_e = \frac{D}{ESR} \quad (1)$$

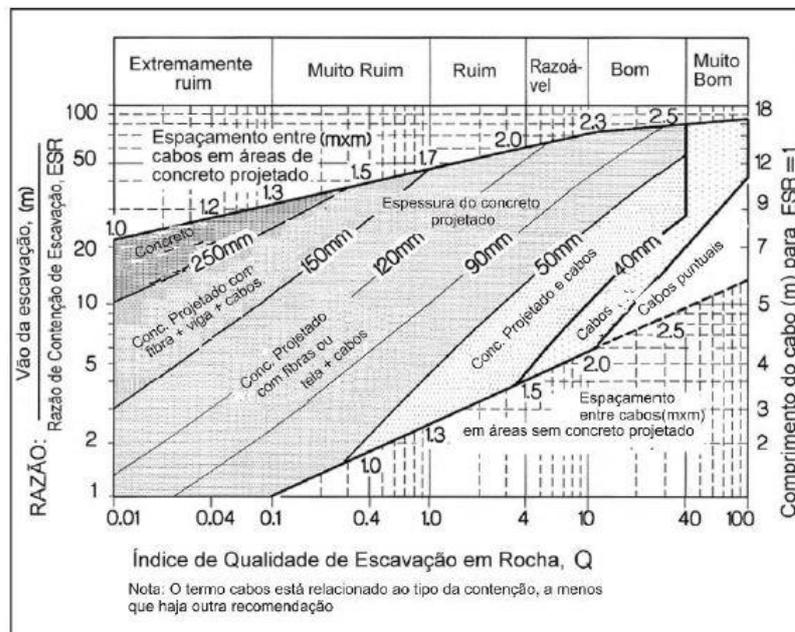


Figura 2.4 – Categorias de suporte para aberturas subterrâneas. (Grimstad e Barton 1993, modificado por Brandani 2011).

2.2 Estabilidade de Escavações Subterrâneas

O processo de suporte é a aplicação de uma força reativa na superfície de uma escavação, já o processo de reforço consiste na melhoria das propriedades internas do MR. Ambos asseguram a estabilidade durante o tempo útil necessário para a atividade, aguentando as deformações, possibilitando a segurança dos equipamentos, além de um ambiente seguro aos trabalhadores e uma baixa taxa de diluição e perda do minério extraído. De acordo com

Aguiar (2010) apud Silva (2015), não existe método padrão de projeto de sustentação e avaliação de estabilidade de escavação.

Os requisitos básicos a serem analisados no dimensionamento dos sistemas de sustentação são os custos, o comportamento do maciço rochoso e o método de lavra empregado (Ayres da Silva e Hennies, 1995 apud Silva, 2015).

Os sistemas de suporte podem ser classificados como: provisórios ou definitivos (quanto ao tempo); contínuos ou descontínuos (quanto à constituição do material); e compressível ou rígido, praticamente indeformável, (quanto à sua deformabilidade). O reforço ou tratamento do maciço rochoso, também pode ser classificado de acordo com as características acima citadas (Silva, 2015; Silva, 2018), conforme exemplificado na Tabela 2.1. O principal objetivo do sistema de suporte é fazer com que o maciço rochoso tenha auto sustentação (Hoek & Brown, 1980; Bieniawski, 1984 apud Silva, 2015).

Tabela 2.1 - Classificação de estruturas de sustentação em mineração (Silva, 2018).

Suportes Descontínuos	Suportes Contínuos ou Revestimentos	Reforço ou Tratamento
Pilares Naturais	Concreto Projetado (Shotcrete)	Ancoragens
Arcos ou Cambotas	Telas	Injeções
Suportes Hidráulicos Automarchantes	Straps	Enfilagens
Esteios e Quadros	Selantes (TSLs)	Congelamento de Terreno
Fogueiras	Chapas Metálicas	Drenagem

2.3 Ancoragens

Nas escavações subterrâneas mineiras, o método de ancoragem vem evoluindo, apresentando melhorias de tecnologias e maior eficiência de instalação de tirantes, por isso se tornou um dos métodos mais utilizados para a prevenção de quedas de bloco e contra movimentação de terrenos (Jeremic, 1987 apud Silva et al, 1998).

A Figura 2.5 mostra os principais tipos de ancoragens usadas na mineração. O sistema de ancoragem interna deve se comportar de forma rígida, pois mantém a auto sustentação do

maciço rochoso e de acordo com Silva et al. (1998) são capazes de “acomodar grandes deformações sem se romper ou diminuir sua capacidade de suporte”.

Nos últimos anos, nas minerações subterrâneas brasileiras, as ancoragens químicas, coluna total e ativa, estão sendo cada vez mais usadas comparativamente às ancoragens mecânicas e passivas. (Gontijo et al 2016). A Figura 2.6 mostra testes realizados em laboratório comparando os dois tipos de ancoragens que concluem que as ancoragens químicas suportam uma carga maior de força, sofrendo pouco deslocamento, enquanto as mecânicas tem o comportamento contrário, suportando pouca carga e sofrendo um deslocamento maior.

Esses sistemas de ancoragens internas são fáceis de serem instalados reduzindo custos de operações. Além de cumprirem o objetivo de ter uma sustentação eficiente, necessitam de menor espaço para armazenamento, não dificultando assim, o tráfego de homens e máquinas e nem a ventilação (Silva et al, 1998).

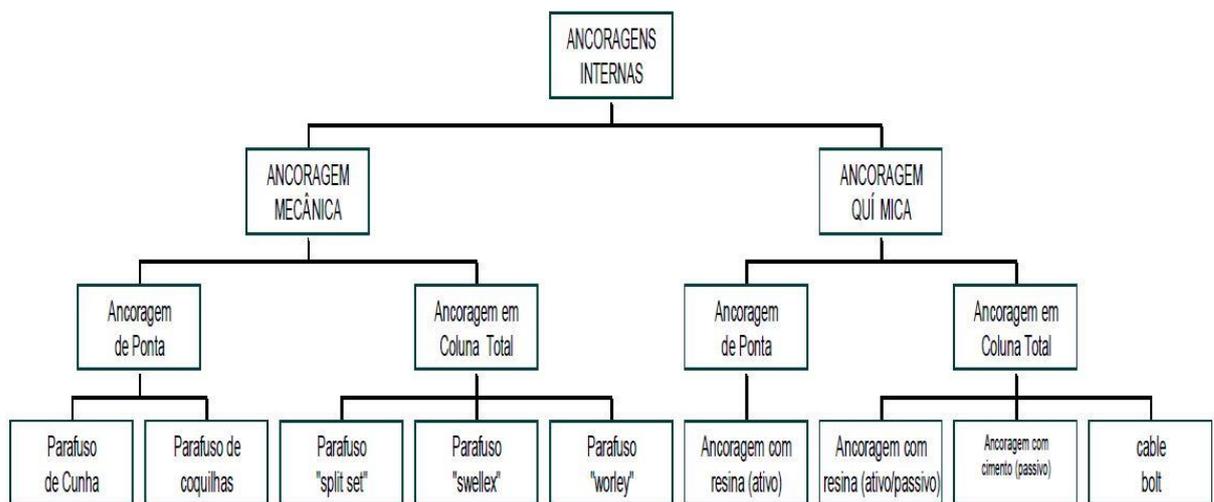


Figura 2.5 – Principais sistemas de ancoragem (Silva et al, 1998).

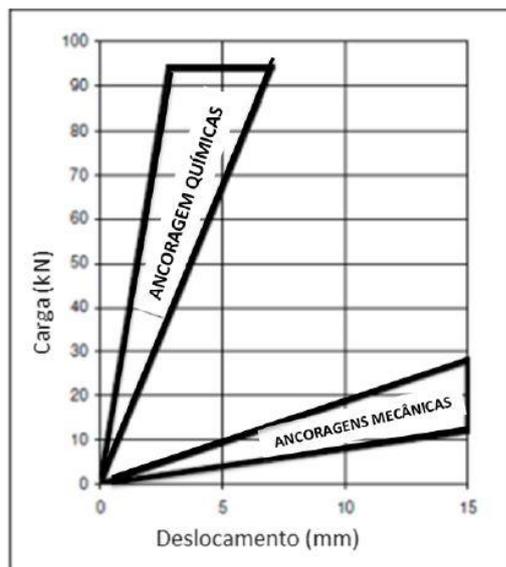


Figura 2.6 – Limites de performance de ancoragens mecânicas e químicas (Barnes and Howe, 1964; Aziz, 2002 apud Gontijo, 2016).

Equipamentos de perfuração, como os jumbos, simbas e *robolts*, vem sendo usados em substituição à perfuração manual, pois permitem a execução de furos maiores e de mais tarefas, como instalação de parafusos e cabos de ancoragem (*roof bolters*, *cable bolters*), telas, juntamente com o preenchimento com a resina (Alvarenga, 2012; Barbosa, 2008). Uma alternativa é o método *cable bolting* que faz o uso de cabos longos (3 a 22 metros) que apresentam alta resistência à tração. São mais fortes que as barras de aço lisas ou rugosas usadas em chumbadores mecânicos e resinados, e independente do tipo ou tamanho e instalados com resina com o preenchimento de coluna total (Hustrulid & Bullock 2001). Segundo Silva (2015) o sistema “*cable bolt*” é um elemento de controle do MR para realces, enquanto que os parafusos convencionais são utilizados para segurança local durante a perfuração.

De acordo com Vilas Boas (2018), quando uma rocha for classificada como de má qualidade, os sistemas de suporte podem ser combinados, sendo usado primeiro o concreto projetado (*shotcrete*), tirantes, malhas e por fim concreto projetado novamente.

Segundo mesmo autor, na mina subterrânea Papomono no Chile, a ancoragem mais usada é o parafuso helicoidal com a aplicação de uma mistura de argamassa, composta por cimento, água e um aditivo (Sika) para acelerar o processo de endurecimento da mistura, num espaçamento variando de 1,0 m a 1,2 m dependendo da classificação do MR. A instalação da

ancoragem é feita com uma equipe de quatro pessoas, sendo um motorista e três operadores. O equipamento utilizado é o Grua Levante: Manipulador MT-101 – Manitou. Já na perfuração são usados os equipamentos Jumbos e Simbas. Um banco de dados com informações detalhadas acerca de todas as operações presentes no ciclo de operações no sistema de reforço do maciço (Vilas Boas, 2018), é mostrado de acordo com a Tabela 2.2.

Tabela 2.2– Tempo gasto nas operações de sistema de reforço (Vilas Boas, 2018)

FORTIFICAÇÃO	
Atividade	Tempo (min)
Limpeza e Marcação para fortificação com ancoragem (min)	20
Perfuração de furo para ancoragem (min)	1,3
Preparação da Argamassa para ancoragem (min)	9
Colocação de 1 ancoragem (min)	3
Colocação de 12.5m ² malha (min)	44
Aplicação de 4m ³ de concreto projetado (min)	49
Tempos perdidos ou de espera estimados	20

2.4 Monitoramento de Ancoragens com Resina

De acordo com Gontijo et al (2016) uma operação rotineira nas escavações subterrâneas era o uso da calda de cimento, com injeção, para o processo de reforço do MR. Já a partir dos anos 70, foram introduzidos os cartuchos de resina, resultando numa maior velocidade de cura, com uma maior segurança, maximizando a produtividade e reduzindo os custos das minas subterrâneas no Brasil.

Nas minerações subterrâneas rasas de carvão na África do Sul, de acordo com Maepa e Zvarivadza (2017), o uso de ancoragens com resina está sendo muito utilizado nos suportes das galerias. Os autores citam Barrett (2006), e afirmam que a ordem correta na inserção das resinas no furo é que a resina de velocidade de cura rápida seja inserida primeiro que a velocidade de cura lenta, garantindo que a resina de cura rápida, a fim de fazer o processo de ancoragem na rocha sã, enquanto a resina de cura lenta seja usada no tensionamento dos tirantes.

Conforme Hudson (2013), o comprimento de trecho de resina deve prover aderência suficiente do parafuso ao furo. Isto deve assegurar que uma eventual ruptura durante

carregamento do parafuso não aconteça ao longo da interface rocha/resina ou tirante/resina. A extensão desse trecho é sempre acima de 40 cm. Na determinação é comum um fator de segurança de 2,0 a 2,5.

Esse sistema se torna tensionado com adição de placas em contato com MR, aplicando uma carga inicial sobre a placa (Karabin e Debevec, 1976 apud Gontijo et al, 2016). A eficiência do tirante é observada a partir da análise de comportamento de parâmetros com variáveis não controláveis (geologia do MR e infraestrutura) e controláveis (perfuração, resinamento e atirantamento). Estes parâmetros e aspectos têm a função de promover uma ação de estabilização do MR conforme Gontijo et al (2016). Uma variável importante a ser analisada é o preenchimento com a resina do espaço anular, que é definido como a diferença entre o volume do tirante, e o volume gerado pela parede de perfuração, citado pelo mesmo autor.

A queda de protensão é um fenômeno no qual o dispositivo de ancoragem sofre o escorregamento, perdendo sua principal função de suporte. Pode ser causado pelas vibrações dos desmontes, corrosão e até mesmo por instalações inadequadas (Silva, 2010).

De acordo com estudos de Bajwa et al. (2017), podem ocorrer quatro falhas nas ancoragens químicas. O primeiro tipo de falha é o fracasso da interface de tirante/cabo-argamassa. A interligação mecânica entre a argamassa e tirante depende em grande parte da rugosidade da superfície do parafuso. O segundo tipo de falha é a do próprio material da argamassa. O terceiro tipo de falha é causada pela falha da interligação mecânica entre a argamassa e a face da parede do MR. A última falha ocorre quando o maciço rochoso é incapaz de suportar a carga desenvolvida pela ancoragem.

Por apresentar possível contração do cimento e maior tempo de cura, o seu uso acaba se tornando limitado a escavações onde não há necessidade de um processo rápido. Se a resina for excessivamente misturada, a resistência da ancoragem diminuirá. Se a cura for perturbada antes de ser concluída, a resistência final da resina não será obtida. Para a mistura adequada e maior capacidade de ancoragem, o espaço entre o furo e o parafuso não pode ser muito grande. (Kristjansson, 2014)

Segundo Fabjanczyk e Tarrant (1992) apud Gontijo et al (2018), os tirantes podem sofrer dois tipos de carregamentos: por tração e por cisalhamento devido à movimentação do maciço rochoso. No sistema de suporte de atirantamento com resina, a resistência de

aderência do tirante é transferida para o MR através da resina. O monitoramento da eficiência do sistema de suporte é feito por meio do teste de arrancamento (*pull test*), que tem por objetivo a medição da resistência limite da ancoragem. O teste de arrancamento e instalação tem seus procedimentos regidos pelas prescrições da norma D4435 (ASTM, 2004), e da publicação *Suggested Methods for Rockbolt Testing* (ISRM, 1981). A resistência à tração é medida pelo citado teste, que irá determinar o deslocamento do dispositivo de ancoragem uma vez que uma carga é aplicada ao tirante. Tal situação resultará na obtenção de uma curva carga x deslocamento. Esses testes são destrutivos e não deverão ser feitos em tirantes que fazem parte da malha de atirantamento (Silva, 2015).

Kilic et. al. (2002) apud Gontijo et al (2018), definem que “a resistência de aderência, ou *Grip Factor* (GP), varia de acordo com o design da barra, dependente da altura, espessura, bem como o espaçamento dos filetes / ressaltos da rosca”. A resistência de aderência está correlacionada a outra metodologia de teste de tração, o *Short Encapsulated Pull Test* (SEPT). Seguindo o procedimento do SEPT, o comprimento da resina é determinado pela equação (2), garantindo que não se produza um comprimento de ancoragem superior a 300 mm (*1 foot*), no fundo da perfuração:

$$SEPT = \frac{(\text{Diâmetro da perfuração})^2 - (\text{Diâmetro do tirante})^2}{(\text{Diâmetro do cartucho})^2} \times 300 \text{ mm} \quad (2)$$

No teste SEPT, o atirantamento é realizado com apenas 12 polegadas (in), (aproximadamente 30 cm) do tamanho do tirante. A resistência de aderência (GF) é medida por meio de um teste de arrancamento do tirante, em até 24 horas após a instalação, no qual o deslocamento do dispositivo de ancoragem é medido em função da carga aplicada ao tirante conforme a equação (3), ou seja, mede a resistência do tirante em se resistir ao arrancamento a cada polegada de ancoramento. (Gontijo, 2016). De acordo com Karabin e Debevec (1976), testes utilizando SEPT devem ser realizados de tempos em tempos, em diferentes litologias, como controle de qualidade das resinas de poliéster utilizadas.

Segundo Craig et al (2014) apud Gontijo et al (2018), “a aderência entre resina/tirante e resina/rocha é um parâmetro crítico do sistema de reforço” e sendo usado atualmente no mundo, e maioria nas minas de carvão. Tal aderência pode ser influenciada pelo perfil do

tirante (*design* da barra) ilustrado na Figura 2.7, influenciando na qualidade operacional na instalação tirante/resina, segundo Gontijo (2018) nos pontos a seguir:

- “Poder de confinamento da resina ao final do furo ou expulsão da mesma do furo, dependendo do sentido da rotação no momento da instalação do tirante”;
- “Qualidade da mistura e homogeneização da base de poliéster com o catalisador, além da garantia da trituração da membrana que reveste o cartucho”.

$$GF = \frac{\text{Carga máxima SEPT (t)}}{12 \text{ in (30 cm)}} \quad (3)$$

Com os valores médios dos testes do *Grip Factor* é possível calcular o comprimento mínimo de ancoragem através da equação (4) (Gontijo, 2018).

$$La = \frac{RTt \text{ (t)}}{GF \text{ (ton/cm)}} \quad (4)$$

Em que:

La - Comprimento mínimo (cm)

RTt - Resistência à tração de tirante (adotado com a valor de 25 tf)

GF – *Grip Factor* (tf/cm)

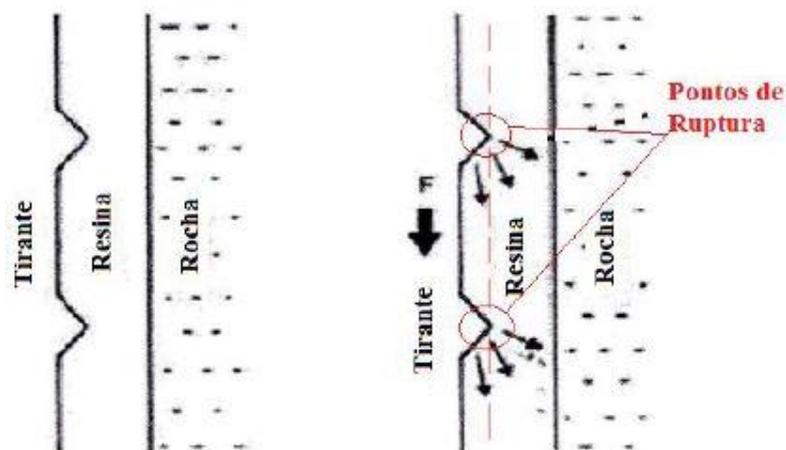


Figura 2.7 – Detalhe dos pontos de ruptura no contato tirante – resina (Gontijo, 2018)

Segundo Compton e Oyler (2005), em estudos realizados em mina subterrânea de carvão na comparação de testes de arrancamentos com a metodologia SEPT e testes de arrancamentos entre tirantes com ancoragem com coluna total, observaram que existem uma diferença significativa entre os dois, sendo os valores em média 5,5 tf e 8,4 tf. Os autores relatam que a possível explicação seria a ausência do confinamento da resina durante o processo de mistura reduzindo a força da tração no curto encapsulamento – SEPT, conseqüentemente, exercendo uma pressão na coluna menor do que nas colunas da ancoragem com coluna total. A metodologia SEPT é altamente conservadora, sendo útil para confirmar a ancoragem mínima adequada e como índice para comparar relativas forças de ancoragem em litologias diferentes na mesma mina subterrânea.

Couto (2002), mostra determinação da capacidade de ancoragem dos tirantes instalados nos locais considerados mais críticos em teste de arrancamento de tirantes e cabos na Mina do Moinho, Portugal. O trabalho relata suportes instalados na rampa principal, malha quadrada de 1,2 m a 2 m, com cabos de 2,5 a 3 m de comprimento, diâmetro de 17 mm, trecho de ancoragem de 1,5 m. A norma da ISRM – *Suggested Methods* (2001) teve o equipamento original modificado para permitir o ensaio de cabos e para qualquer inclinação. Valores ensaiados se aproximaram bastante do valor teórico calculado para carga de ruptura. Nesse teste, o elemento mais fraco foi o cabo, carga de ruptura de 123 kN a 148 kN e carga de cedência de 120 a 137 kN. O fator de segurança foi 3,1. Para o conjunto resina/tirante, a carga na faixa de 38 a 50 kN, abaixo do esperado.

Thenevin (2017), estudou testes de arrancamentos com tirantes com o diâmetro entre 16 mm e 26 mm, usando resina ou argamassa de cimento foram instalados em uma amostra de rocha arenito. Os resultados confirmam a influência da pressão de confinamento e do comprimento de ancoragem no *pull test* (tirantes e cabos). A autora destaca a sensibilidade dos resultados às condições de operação e ao comportamento da amostra como um todo, que não pode ser negligenciada quando os resultados do teste são usados para avaliar a interface de argamassa ou argamassa-argamassa.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado inicialmente com uma revisão bibliográfica sobre o tema de estabilização de escavações em minas subterrâneas pelo processo de suporte do MR através do atirantamento com resinas. No decorrer da realização deste trabalho, pode-se acompanhar e observar a instalação de ancoragem com resina em uma mina subterrânea pelo processo mecanizado.

Com a introdução dos equipamentos tipo Jumbo, a instalação de tirantes com resina tornou-se um processo mecanizado na parte da atividade de resinamento. O procedimento dessa atividade era com o uso de equipamentos de elevação e a operação feita manualmente. A melhor maneira de obter melhorias no processo é através das verificações de viabilidade técnica, operacional e econômica, avaliando o comportamento dos parâmetros controláveis (perfuração, resinamento e atirantamento).

O diagnóstico operacional foi realizado pela empresa MecRoc Engenharia na quantificação do tempo gasto de cada atividade nas operações da MSG, juntamente à produtividade de cada equipe de instalação de tirantes. A equipe é composta por dois colaboradores, um com a função de operador do equipamento e o outro auxiliar, realizando o carregamento dos cartuchos de resina e colocação dos tirantes em uma das lanças do Jumbo.

Na mina em questão, os tirantes são constituídos de barras de rosca integral, permitindo maior aderência com a resina, possibilitando um aumento da transferência de carga entre o tirante e a resina. Os modelos utilizados nas operações das minas são os de forma helicoidal (HEL), redonda inteira (R.I) e tirante rosca redondo “modificado” (R.M). Os tirantes usados na mina estudada são do diâmetro de 7/8” ou 22 mm (nominal) e comprimento 2400 mm.

A eficiência da instalação é verificada pelo teste de arrancamento dos tirantes, determinando a capacidade de carga de cada tirante. Todos os testes executados pela equipe da Mecânica das Rochas da Mineração Serra Grande foram realizados utilizando o diâmetro de perfuração de 35 mm, comprimento do furo de 1900 mm. A classificação realizada pela equipe de geomecânica da MSG do maciço rochoso foi denominada de qualidade razoável com o valor de RQD variando entre 50 a 75. Os testes foram executados na litologia Xisto. Todos os furos foram executados na horizontal e paralelos à foliação, considerando o cenário na pior condição. A partir dos testes de arrancamento, houve a verificação dos parâmetros de

qualidade para cada tipo tirante: *Grip Factor* – determina a qualidade de mistura de resina e catalizador, eficácia do conjunto rocha/resina/tirante, além da resistência à aderência, SEPT – comprimento do cartucho de resina e o comprimento mínimo de ancoragem na rocha intacta.

As porcas são sextavadas em uma das extremidades e abauladas na outra extremidade, ou seja, no contato com a placa para otimizar a transferência de carga entre esses acessórios.

As chapas (Figura 3.1) em reforço ativo (tirantes protendidos), exercem uma influência de confinamento em uma área entre as malhas dos tirantes, que varia de acordo com sua dimensão, mostrada na Figura 3.2.

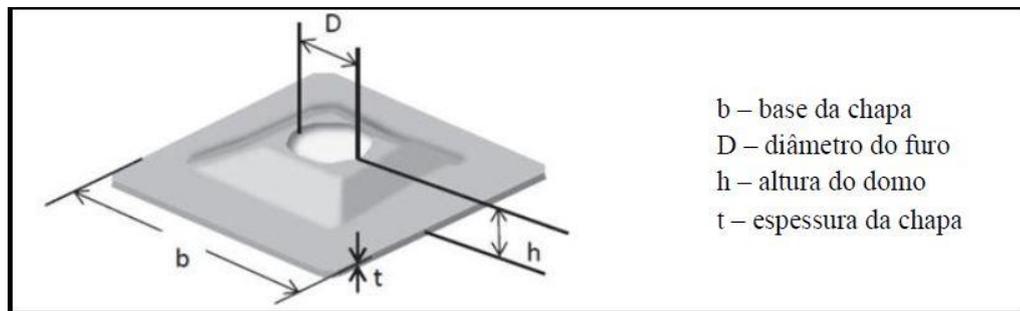


Figura 3.1 – Dimensões da chapa utilizada no sistema de atirantamento. (MecRoc, 2018)

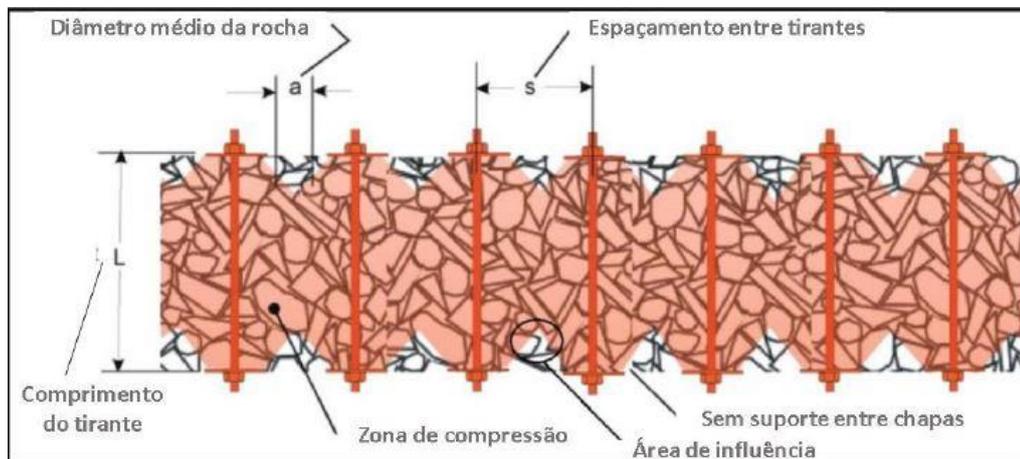


Figura 3.2 – Área de influência causada pela chapa ao torquear o tirante. (MecRoc, 2018)

O equipamento de perfuração utilizado na mina é o Jumbo modelo Boomer H282 da empresa
Atlas Copco (



Figura 3.4 – Conjunto cartucho/parachutes/tudo PVC

Como princípio de funcionamento a resina preenche todo o espaço anular entre a barra e a superfície da perfuração, moldando-se nas rugosidades da parede do furo e nas nervuras da barra do tirante. Ressalta-se que esta não funciona como cola, mas sim como elemento de ligação entre barra e o MR. Como se trata de um produto químico, é interessante salientar que cuidados com manuseios e estocagem destes devam ser gerenciados, eliminando a possibilidade de falhas e/ou redução da vida útil pré-definida pelo fabricante.

4. RESULTADOS

O diagnóstico operacional constituiu-se na análise da soma do tempo médio de cada operador nas atividades de perfuração, resinamento, mistura e manobras. Calcula-se dessa forma o número de tirantes por hora trabalhada por cada equipe da operação. A Figura 4.1 representa os números de tirantes por hora instalados na mina subterrânea em estudo, observa-se que em média é de 7,5 tirantes instalados por hora e a média geral de tempo gasto até o término de para cada atividade, é detalhada na Figura 4.2. Percebe-se que quase a metade do tempo total da operação de atirantamento é gasto com realizações de manobras das lanças dos Jumbos no posicionamento para a realizações das perfurações e resinamento. Para a realização das perfurações e dos resinamentos são gastos 30% e 17% respectivamente do tempo total da operação.



Figura 4.1 – Número de tirantes por hora trabalhada (MeRoc, 2018)



Figura 4.2 – Tempos médios na instalação de tirantes com resinas (MecRoc, 2018)

Os resultados obtidos neste diagnóstico operacional nas instalações de atirantamento com resina nas galerias da MSG, comparados aos resultados apresentados por Vilas Boas (2018), demonstram de alta eficiência e ganhos operacionais no quesito tempo de cada atividade envolvida no processo de ancoragem química, embora o material usado na mina subterrânea Papomono localizada no Chile para o atirantamento seja a argamassa. Importante salientar que a argamassa de cimento possui um tempo maior de cura e de preparação, comparadas s resinas de poliéster, indicando que as resinas de poliéster são mais operacionais que a argamassa de cimento.

Em relação aos testes de arrancamentos feitos nos quatro primeiros meses do ano de 2018 realizados pela equipe de mecânica das rochas da mina subterrânea de ouro em estudo, verificou-se uma efetividade média de 98%, resultando em 136 instalações de tirantes

adequadas, 3 instalações inadequadas num total de 139 tirantes testados. O detalhamento dos testes estão mostrados de acordo com a Tabela 4.1

Tabela 4.1 - Testes de arrancamento dos tirantes utilizados 2018 (Gontijo, 2018)

Mês	Total	Adequados	Inadequados	% Efetivo
Janeiro	51	50	1	98%
Fevereiro	19	19	0	100%
Março	42	40	2	95%
Abril	27	27	0	100%
	139	136	3	98%

Verifica-se a partir desses, a operação na instalação de tirantes com resina, utilizando o equipamento de perfuração tipo Jumbo, avaliando a resistência de aderência (GF) do conjunto rocha/tirante/resina de cada *design* do tirante.

De acordo com a metodologia SEPT utilizando a equação (2), o comprimento do cartucho foi dimensionado em 314 mm, mas nos testes de arrancamentos foram usados com o comprimento de 315 mm por razões de adequabilidade de otimização da fabricação dos cartuchos. Com a equação (3) obteve-se o valor do GF. Um esquema dos testes de aderência é mostrado na Figura 4.3.

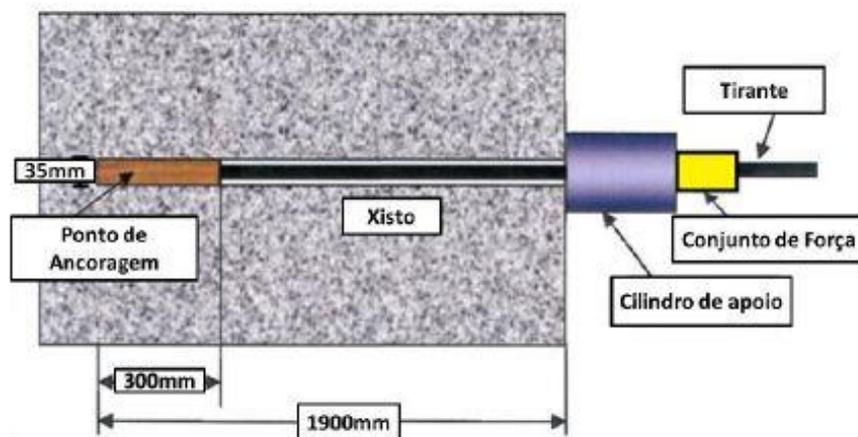


Figura 4.3 - Desenho esquemático dos testes realizados (Gontijo, 2018)

A Tabela 4.2 apresenta os resultados dos testes em campo realizados em até 24 h após as instalações dos tirantes. Os testes números 6 e 8 foram descartados por terem sido instaladas inadequadamente, devido as falhas operacionais.

Tabela 4.2 – Resultados dos testes (Gontijo, 2018)

Testes	Tirantes	T.I. (seg)	P.T. (Ton)	G.F. (Ton/cm)	F.A.
1	HEL.	25	12.5	0.42	R/T
4	HEL.	25	11.3	0.38	R/T
7	HEL.	30	18.9	0.63	R/T
2	R.I.	25	13.2	0.44	R/T
5	R.I.	25	15.7	0.52	R/T
8	R.I.	30	9.4	0.31	R/R
3	R.M.	25	14.4	0.48	R/R
6	R.M.	25	8.1	0.27	R/R
9	R.M.	30	13.2	0.44	R/R

T.I.: Tempo de Instalação (mistura) / **P.T.:** *Pull Test* / **G.F.:** *Grip Factor* / **F.A.:** Falha de Aderência (**R/T:** resina/tirante e **R/R:** resina/rocha)

Os tirantes de rosca helicoidal (HEL.) resultaram em média o valor de 0,48 tf/cm do *GF*, nos testes de arrancamentos suportaram em média 14,3 tf e apresentaram em todos os testes a falha de aderência no conjunto resina/tirante. Já os de rosca redondo integral (R.I.) apresentaram também um valor médio de 0,48 tf/cm do *GF*, 14,45 tf no *pull test* e falha de aderência no conjunto resina/tirante. Enquanto que o tirante de rosca redondo “modificado” (R.M.) obteve a média de 0,46 tf/cm de *GF*, 13,8 tf no *pull test* e falha de aderência no conjunto resina/rocha. Quando a transferência de carga foi eficaz, a falha de aderência é observada no conjunto resina/rocha. No entanto, quando a falha de aderência é observada no conjunto resina/parafuso, uma das possíveis causas, seria o pobre endurecimento da resina, por consequência das rotações na hora de instalação dos parafusos.

Para análise dos parâmetros de qualidade foi utilizado o valor médio do *GF* dos tirantes. Adotou-se o de valor de 0,47 tf/cm. Já no cálculo do comprimento mínimo de ancoragem utilizando a equação (4), obtém-se o valor de 54,0 cm. A partir destes valores é possível a confecção de um diagrama de transferência de carga (Figura 4.4) para uma melhor

análise dos resultados. Na parte em amarelo, a resistência de aderência é inferior à resistência tração do aço, posterior a esse comprimento existe uma transferência de carga máxima.

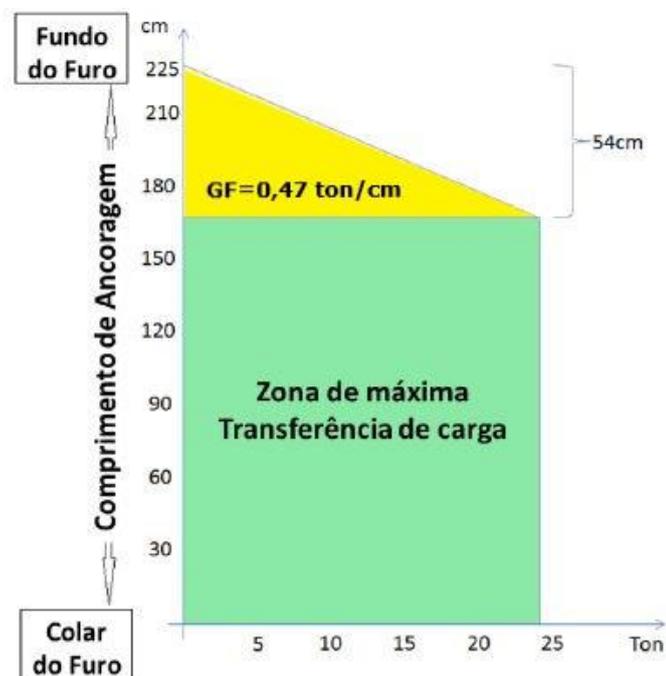


Figura 4.4 – Diagrama de transferência de carga (Gontigo, 2018)

Em uma mina subterrânea também de ouro no quadrilátero ferrífero (QF) com a litologia Xisto, foram realizados a metodologia SEPT, conforme a equação (2) e obteve-se o comprimento do cartucho de 313 mm. Com a equação (3) tem-se os valores do GP. A Tabela 4.3 apresenta os resultados obtidos nos teste nesta mina. Os testes foram executados com o tirante de forma helicoidal (HEL) e com o diâmetro nominal de 22 mm. Observa-se que os valores dos GF foram iguais, resultando no valor de 0,63 tf/cm e com o valor dos testes de arrancamentos de 19 tf. As duas falhas de aderência foram observadas no conjunto resina/tirante.

Tabela 4.3 – Testes realizados na mina – Quadrilátero Ferrífero (MecRoc, 2018)

Testes	Tirantes	T.I. (seg)	P.T. (Ton)	G.F. (Ton/cm)	F.A.
1	HEL	25	19	0,63	R/T
2	HEL	25	19	0,63	R/T

T.I.: Tempo de Instalação (mistura) / **P.T.:** *Pull Test* / **G.F.:** *Grip Factor* / **F.A.:** Falha de Aderência (**R/T:** resina/tirante)

A partir da equação (4) no cálculo da ancoragem mínima, obtêm-se o valor de 39,6 cm e assim o diagrama de transferência de carga onde ilustra o efeito do GP no decorrer comprimento do tirante.

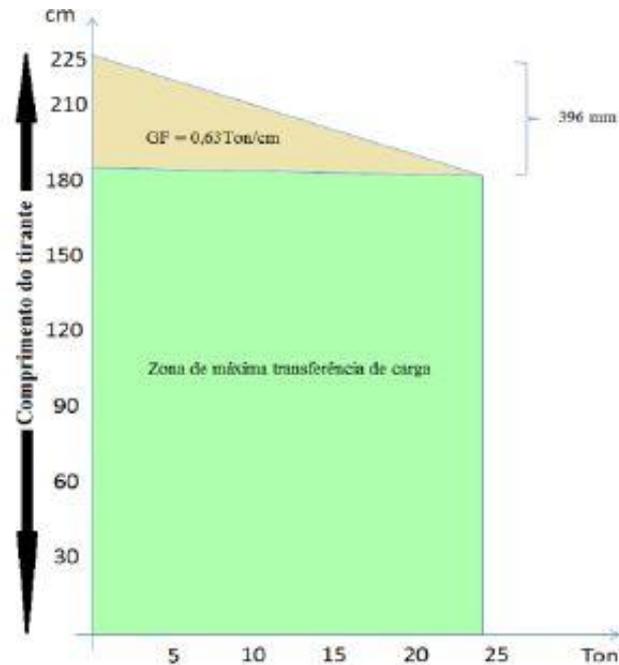


Figura 4.5 – Diagrama de transferência de carga – Mina QF (MecRoC, 2018)

Analisando-se os resultados dos testes SEPT encontrados pela MecRoc nas minas subterrâneas de ouro comparados ao encontrados por Compton e Oyler (2005) nos tetos de minas subterrâneas de carvão, percebe-se que os valores dos testes de arrancamento de curto encapsulamento – SEPT nas minas de ouro são muitos mais elevados que os valores das minas de carvão, analogicamente, com o nível de competência maior, relacionada a classificação do MR. Se aplicarmos à equação (3) o fator de aderência GP nos resultados feitos na mina de carvão, obtêm-se o valor de 0,18 tf/cm, enquanto que o comprimento mínimo de ancoragem calculado usando a equação (4) de 139 cm, na suposição de uso de mesmos tipos de materiais e resina.

5. DISCUSSÃO

Os tirantes utilizados nos testes obtiveram resultados similares tanto nos valores de GF e nos testes SEPT, isso pode ser explicado pela similaridade do *design* da barra de aço, conseqüentemente a mesma aderência no conjunto tirante/resina.

Considerando os números de testes de arrancamentos de preenchidos com coluna total e SEPT visto nas referências para realização, sugere-se que sejam feitos um número maior de ensaios para um resultado mais completo, conseqüentemente, um menor desvio padrão nos resultados apresentando uma melhor representatividade.

Os valores encontrados no SEPT nas minas estudadas estão na mesma ordem de grandeza em comparação aos testes de arrancamentos de ancoragens com o preenchimento com coluna total realizados por Couto (2002), em média de 15,4 tf equivalentes aos 151 kN.

Por meio da visita técnica realizada na instalação de ancoragens com resina pelo processo mecanizado pelo equipamento Jumbo, percebeu-se que diminuiu à exposição ao risco dos trabalhadores a ser atingido pela queda de blocos de rocha na realização da atividade.

A incorporação ao sistema de qualidade de indicadores padrão como teste SEPT e GF pode ser considerada como uma etapa anterior ao dimensionamento de ancoragens químicas, pois, os resultados por serem conservadores, apresentam valores de capacidade tração e de comprimento mínimo de ancoragem.

A aplicação de parafusos com argamassa é vantajosa como sistema de suporte de maciços rochosos por ser um sistema durável e capaz, assim como flexível, em condições distintas de instalação, podendo ser fixados em comprimentos variados. Nessas minas estudadas o comprimento foi de 2,4 m e de 3,0 m.

Outro fator para a eficiência de ancoragens químicas é a relação água/cimento deve ser controlada, principalmente nos furos onde ocorram fluxos contínuos de águas subterrâneas, quando se verificarem condições de instabilidade.

Na sustentação com ancoragens químicas considera-se válida uma série de variáveis estabelecidas pelas características dos materiais e as condições em que são realizados os trabalhos, com destaque para as dimensões e espaçamento com que são implantadas as

ancoragens, o rigor com que são efetuadas as operações de instalação e as características geológicas e geotécnicas inerentes do maciço. Assim, numa primeira visão, interessa prever qual será o comportamento do sistema implantado nas condições reais, por meio do cálculo dos esforços admissíveis nas ancoragens, nas argamassas utilizadas e nas tensões de ruptura do maciço rochoso.

O rigor com que os testes devem ser realizados pode fornecer uma contribuição válida para a definição das condições reais dos tirantes e cabos ensaiados, servindo para o dimensionamento do suporte por ancoragens similares que poderão vir a ser instalados futuramente, assim como à determinação da funcionalidade de sistemas já colocados.

6. CONCLUSÃO

Os estudos apresentados neste trabalho mostram que o uso do equipamento mecanizado tipo Jumbo na operação de atirantamento com resina, desde a perfuração, inserção dos cartuchos e no torque, proporcionam uma boa eficiência nas operações quando comparado aos demais métodos usados, como por exemplo, a inserção da argamassa de cimento inserida manualmente e através de plataforma elevatória, ocasionando em um maior tempo nas operações de atirantamento, como é o caso de Papomono, no Chile. Aumenta-se a produtividade desse equipamento, pois além de executar o trabalho nas perfurações nos avanços das frentes de desenvolvimento, podem trabalhar na contenção dos maciços. A não utilização de plataformas elevatórias diminui a exposição em áreas de risco (área não estabilizada) aos trabalhadores envolvidos na operação.

Os ensaios de arrancamento na mina em estudo comprovaram a eficácia do sistema, resultando em uma boa resistência à aderência entre resina/barra e resina/rocha, esta última com mais possibilidade de ocorrer falhas de aderência. A partir dos resultados apresentados, quanto maior a competência do maciço rochoso, menor é o tamanho mínimo do ancoramento até completar a transferência máxima de carga que é equivalente a capacidade de resistência ao cisalhamento do tirante.

Toda, que nesse caso, é a resina de poliéster, e a mesma, varia sua resistência de acordo com a qualidade da matéria prima (poliéster, agregados, etc), ou seja, qualquer variação de qualidade dos cartuchos de resina.

Para eventual trabalho futuro, sugere-se executar GF para todas as litologias dessa mina, buscando avaliar se existe variação de resistência de aderência do sistema de atirantamento entre os litotipos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM D 4403. (2004). Standard practice for extensometers used in rock.

ASTM, “F432-10 Standard Specification for Roof, Rock Bolts, Accessories,” West Conshohocken, 2010.

Alvarenga, J. F. Estudo dos índices operacionais da lavra subterrânea no Brasil. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto. Departamento de Engenharia de Minas. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mineral. 2012.

Aguiar, J. C. N. M. Calibração de uma classificação de suporte de túneis com o obtido em modelo. Universidade do Porto, p. 2. 2010.

Ayres da silva, L. A. & Hennies, W. T. Abertura de Vias Subterrâneas. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1995.

Bajwa et al. A comparison between resin and a cementitious material in the grouting of cable bolts, Proceedings of the 17th Coal Operators' Conference, Mining Engineering, University of Wollongong, 8-10 February 2017, p. 193-203.

Barbosa, E. S. Avaliação do suporte com cabos de aço na Mina Cuiabá (Sabará/MG). Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. NUGEO. 2008.

Barrett, P. The Minova Guide to Resin-Grouted Rock Bolts. 1st edn. Book Production Consultants, Cambridge. 2006.

Bieniawski, Z. T. Rock Mechanics Design in Mining and Tunnelling, Rotterdam/Boston: A. A. Balkema Publisher, 1984. 272 p.

Compton, C e Oyler, D. Investigation of fully grouted roof bolts installed under in situ conditions, 24th International Conference on Ground Control in Mining, Morgantown, WV, 2005. p 302-312.

Couto, R. T. S. Arrancamento das pregagens e cabos de aço na Mina do Moinho, Aljustrel. 8º. Congresso Nacional de Geotecnia. 2002.

Gontijo, A. et al. Parâmetros Relevantes e Críticos que Influenciam no Atirantamento utilizando Cartuchos de Resina de Poliéster. Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas, COBRAMSEG 2016, Belo Horizonte, Anais. Lopez, J., Pereira, F. B., Hashimoto, G. H., Silva, J.

Gontijo, A. et al. Avaliação de Transferência de Carga em Tirantes ancorados com Resinas de Poliéster, COBRAMSEG 2018, Salvador, Anais. Matos, A. R., Lopez, J., Batista, G. A. P., Couto. L. C. G., Grittin, R. M., Freitas, J. P. S.

Hudson, J. A. Comprehensive Rock Engineering. Excavation, Support and Monitoring, v. 4. Elsevier. 2013.

Hustrulid, H. L. & Bullock, R. L. Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals and International Case Studies. Littleton: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc (SME). 718 p. 2001.

Hutchinson, D.J.; Diederichs, M.S. Cablebolting in Underground Mines. Richmond: Bitech Publishers Ltd, 1996.

Hoek, E. & Brown, E. T. Underground Excavations in Rock, Institution of Mining and Metallurgy. 1980.

Karabin, G.J.; Debevec, W.L. Comparative Evaluation of Conventional and Resin Bolting Systems, MESA IR 1033, 22 pp. 1976.

Kristjansson, G. Rock bolting and pull out test on rebar bolts. Norwegian University of Science and Technology. Department of Geology and Mineral Resources Engineering. 2014.

Li, C.C. Principles of rockbolting design. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering 9. 2017. p 396-414

Maepa et al. Installation of resin grouted roof bolt in hard rock mining; The Journal of Southern African Institute of Mining and Metallurgy, SAIMM, v.117, n.4, 2017.

Silva, J. M.; Terra, K. L. M.; Lima, C. A. Tendências na sustentação de minas subterrâneas. Brasil Mineral n° 168, 1998. p 50-56.

Silva, J. M. Dimensionamento de Ancoragens, Universidade Federal de Ouro Preto, DEMIN, Notas de aula, 2010.

Silva, J. M. Sustentação de Escavações Subterrâneas, Universidade Federal de Ouro Preto, DEMIN, Notas de aula, 2015.

Silva, J. M. Sustentação de Escavações Subterrâneas Cíveis e de Mineração. Revista In The Mine, Ed. 73, 2018.

Vilas Boas, F. A. Relatório de Estágio Supervisionado na Minera Três Valles, Chile. UFOP. 2018.

Thenevin. I. et al. Laboratory pull-out tests on fully grouted rock bolts and cable bolts: Results and lessons learned. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering 9. 2017.p 843-855.