

# UTILIZAÇÃO DE FIO DIAMANTADO NA LAVRA DE GRANITOS COMERCIAIS

## **Douglas Bortolote Marcon**

Aluno de Graduação da IFES, 6º período de Engenharia de Minas

Período PIBIC/CETEM: agosto de 2011 a julho de 2012

dmarcon@cetem.gov.br

## **Carlos César Peiter**

Orientador, Engenheiro Metalúrgico, D. Sc.

cpeiter@cetem.gov.br

## **Nuria Fernández Castro**

Coorientadora, Engenheira de Minas, M. Sc.

ncaastro@cetem.gov.br

## **1. INTRODUÇÃO**

Nas pedreiras brasileiras, a utilização da tecnologia de corte com fio diamantado começou na década de 90 e seu uso foi intensificado nos últimos 10 anos (VIDAL *et al.*, 2012). O fio diamantado é a tecnologia de corte de rocha ornamental mais difundida no mundo atualmente. No Brasil, essa tecnologia teve seu desenvolvimento embasado no empirismo, sem muito suporte científico. Com base nesse aspecto, viu-se a necessidade de realizar um estudo acadêmico atualizado, embasado tanto na teoria quanto na prática junto às empresas, sobre a utilização do fio diamantado na extração de rochas ornamentais no país.

## **2. OBJETIVO**

Estudar a utilização da tecnologia de corte com fio diamantado na lavra de granitos comerciais, realizando um estudo de campo junto a empresas sobre o equipamento de corte, os cortes realizados, as rochas cortadas e parâmetros envolvidos no processo.

## **3. METODOLOGIA**

O estudo contemplou um levantamento bibliográfico sobre a utilização do fio diamantado na lavra de rochas ornamentais, a fim de se obter um referencial teórico sobre o processo de extração com a utilização desta tecnologia. Com a finalidade de se obter um conhecimento prático da utilização do fio diamantado, foi realizado um estágio de 40 horas, durante o período de uma semana, na Empresa Alvorada Mineração, Comércio e Exportação Ltda., em Caraí, MG, e visitas a outras cinco pedreiras. Com o estágio e as visitas foi possível o desenvolvimento de trabalhos práticos, através do acompanhamento do ciclo operacional, para os cortes realizados com esta tecnologia.

A fim de quantificar os parâmetros de vida útil do fio diamantado ( $m^2/m$ ) e sua produtividade ( $m^2/h$ ), durante o desenvolvimento dos cortes foram realizadas, respectivamente, medições de desgaste nas pérolas diamantadas e avanço do equipamento de corte sobre o trilho. As pérolas foram medidas em intervalos de 2,0 metros, antes e depois de sua utilização no corte. Devido à necessidade de mais dados, foram coletadas informações que constavam em planilhas das empresas visitadas. Foram coletados dados referentes a cinco tipos de rochas e lançados em planilhas para análise.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

As principais tecnologias de corte utilizadas na lavra de granitos comerciais, para o isolamento de volumes secundários de rocha são fio diamantado, argamassa expansiva, explosivos e, cada vez menos, cunhas manuais. No entanto, devido a suas vantagens econômicas e operacionais, o fio diamantado é o mais utilizado. Na Tabela 1 podemos observar o comparativo econômico e de produção entre o fio diamantado, a argamassa expansiva e o explosivo.

O princípio básico de corte com fio diamantado é a translação deste, sob tensão, quando enlaçado na rocha. Para isso, primeiramente, são efetuados furos coplanares e perpendiculares que se interceptam na extremidade. Em seguida o fio diamantado é inserido dentro destes furos, as duas pontas são emendadas, formando um circuito fechado, e colocado sobre a polia motriz

do equipamento de corte. O corte se processa com o movimento de translação do fio, tensionado, em contato com a rocha. Durante o corte é fornecida água ao sulco de corte, com a finalidade de refrigeração e limpeza das partículas provenientes do corte.

Tabela 1. Comparativo econômico e de produção entre tecnologias de corte (PINHEIRO, 2012).

	Fio Diamantado	Argamassa	Explosivo
Custo (R\$/m <sup>2</sup> )	20,14	25,31	22,88
Prod. Corte (m <sup>2</sup> /h)	7,50	1,33	1,33
Produção (m <sup>3</sup> /h)	2,8	0,67	0,67

O fio diamantado para o corte de granito é um cabo de aço flexível de aproximadamente 5,00mm de diâmetro, que serve de suporte para anéis diamantados, conhecidos como pérolas, com diâmetro médio de 11,40mm, separados regularmente entre si por borracha galvanizada. O equipamento de corte consiste em uma plataforma motorizada com uma polia motriz ligada ao motor principal. A polia motriz, também conhecida como volante, tem a função de transladar o fio diamantado em contato com a rocha. O equipamento de corte, através do seu motor de arrasto, efetua o tensionamento contínuo do fio, com o movimento de recuo da máquina, à medida que avança o corte.

O fio diamantado pode ser utilizado em todas as fases do desmonte de rochas, seja ele primário ou secundário, e no esquadrejamento de blocos. O desmonte primário consiste no isolamento de grandes porções de rochas do maciço, conhecidos como quadrotos. Os quadrotos são divididos em filões, o que configura o corte secundário. Uma vez tombados, os filões são denominados de pranchas, que serão subdivididas em blocos de tamanho comercial (esquadrejamento). A utilização do fio é mais destacada nas etapas de desmonte primário e secundário. A aplicação do fio no esquadrejamento de blocos muitas vezes não é viável, pois seu emprego não permite um esquadrejamento seletivo, ou seja, a seleção de blocos sem defeitos do ponto de vista comercial, preferindo-se outras técnicas (PINHEIRO, 2012). Os dois principais tipos de corte realizados com o fio diamantado são os cortes verticais e horizontais (Fig. 1), embora possam se realizar também cortes inclinados.

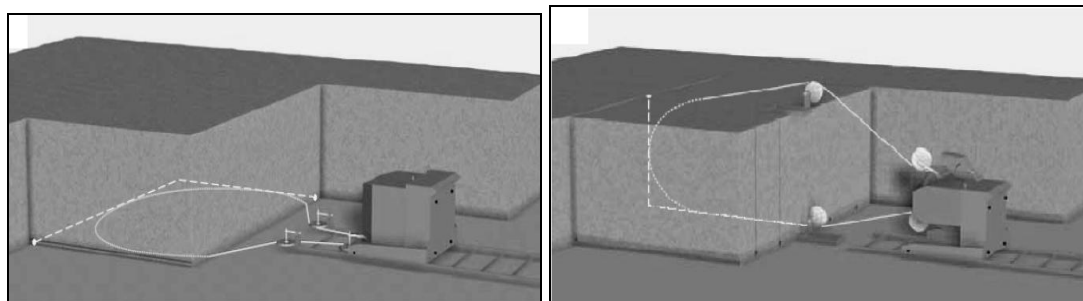


Figura 1: Representação do corte horizontal e vertical, respectivamente. (MARINI QUARRIE GROUP, 2005 *apud* REGADAS, 2006).

Conciliando a versatilidade e flexibilidade do fio diamantado com a montagem de um sistema estratégico de polias auxiliares, podem-se gerar variações destes dois tipos de corte, conforme necessidade, como os cortes em “L”, os cortes verticais ascendentes e o corte cego.

O desempenho do fio diamantado é avaliado pelo seu rendimento e pela velocidade de corte. O rendimento expressa a vida útil do fio diamantado, sendo explicitado pelo total de área de rocha cortada por metro de fio (m<sup>2</sup>/m). Para um maior controle de desempenho do fio diamantado, o desgaste das pérolas é avaliado após a realização de cada corte, quantificado pela diferença de diâmetro das pérolas, antes e após o término do corte. O desgaste do fio diamantado não é linear. O mecanismo de desgaste das pérolas consiste no desbaste gradual da matriz metálica, que suporta os diamantes, para que estes aflorem e se tornem afiados, com poder de corte. À medida que cada grão de diamante é consumido, novos grãos surgirão com o desgaste da matriz metálica, estabelecendo-se um ciclo, para o consumo das múltiplas camadas de diamante. Para se calcular o rendimento do fio diamantado, utiliza-se a Equação 1:

$$R = \left( \frac{\phi_n^2 - \phi_a^2}{\phi_i^2 - \phi_f^2} \right) \frac{A}{L} \quad (1)$$

Onde, R = Rendimento (m<sup>2</sup>/m);

$\phi_n$  = Diâmetro da pérola nova (mm);

$\phi_a$  = Diâmetro do anel de suporte (mm);

$\phi_i$  = Diâmetro da pérola no início do corte (mm);

$\phi_f$  = Diâmetro da pérola no fim do corte (mm);

A = Área de rocha cortada (m<sup>2</sup>);

L = Comprimento do fio (m).

A velocidade de corte é a razão entre a área de rocha cortada pelo tempo gasto para a realização do corte, e depende de diversos parâmetros, sendo o principal o tipo de rocha a ser cortada. Vale ressaltar, que a velocidade de corte não é constante ao longo dele e está condicionada ao comprimento de fio em contato com a rocha (dimensão de arrasto) e ao grau de anisotropia do maciço (CARANASSIOS; PINHERO, 2003).

O corte com o fio diamantado é afetado por parâmetros controlados e não controlados. Os parâmetros não controlados são relativos a características das rochas. Os parâmetros controlados são de âmbito operacional, como: o raio de curvatura do fio (ideal que o fio tenha forma de semicircunferência ou segmento de circunferência), potência da máquina, velocidade periférica e de arrasto do fio, quantidade de água no corte e dimensões do corte (Tabela 2).

Tabela 2. Fatores que afetam a eficiência do corte com o fio diamantado (modificado de ÖZÇELIK, 1999 *apud* ATAEI *et al*, 2011).

Parâmetros não controlados relacionados à característica das rochas	Parâmetros parcialmente controlados ou controlados	
	Propriedades da ferramenta de corte e equipamentos	Condições de trabalho
Dureza	Potência da máquina	Pessoal qualificado
Abrasividade	Velocidade periférica	Vibrações da máquina
Tensões	Números de pérolas por metro	
Grau de alteração	Número de pérolas em contato com a rocha	
Descontinuidades	Raio de curvatura do fio em contato com a rocha	
Propriedades mineralógicas	Quantidade de água usada	
Características texturais	Velocidade de arrasto	
	Dimensões do corte	

Para análise dos dados foi feita uma correlação entre os valores de rendimento obtidos com a dimensão da área cortada e com a dimensão de arrasto do fio diamantado. Os resultados indicam um aumento do rendimento do fio com o aumento da área de corte. Uma possível explicação para isso é que, em cada corte realizado, o rendimento é menor nas fases inicial e final. Aumentado à área diminui-se a quantidade de cortes necessários, reduzindo as etapas de menor rendimento.

Outro ponto observado com a análise dos resultados foi a tendência de aumento do rendimento com o aumento da dimensão de arrasto do fio o que contradiz à lógica, já que quanto menor a dimensão de arrasto menor o número de pérolas em contato com a rocha, aumentando-se a potência disponível para cada uma delas. Com isso, pode-se aumentar a velocidade periférica e a velocidade de arrasto, o que geraria, na teoria, uma situação de atrito ideal, que permitiria a correta afiação das pérolas e o aumento do rendimento.

Por outro lado, analisaram-se os rendimentos para cortes horizontais e verticais, com o intuito de verificar a relação entre rendimento e o tipo de corte. No entanto, não foi verificada uma diferença de rendimento padrão entre eles. Cortes em três tipos de rocha apresentaram médias

de rendimentos maiores nos cortes horizontais (1,05; 1,07 e 1,4 vezes maior) e em outras duas rochas os rendimentos nos cortes verticais foram maiores (1,36 e 1,43 vezes). Todavia, é frequente ouvir relatos de que os cortes horizontais apresentam maiores tempo de corte, ou seja, menor velocidade. Isso pode ser devido ao acúmulo de água e lama proveniente da refrigeração e retirada das partículas do sulco de corte, nos cortes horizontais, o que não acontece com os cortes verticais, que tem a água retirada do sulco de corte pela gravidade. Isso gera um maior esforço do motor principal da máquina (aumento da amperagem), para a manutenção da velocidade periférica do fio, devido à resistência da água. O acúmulo de água no corte horizontal também contribui para a diminuição do poder de corte das pérolas, já que gera o fenômeno da aquaplanagem. Efetuando uma relação entre as velocidades nos cortes verticais e horizontais obtiveram-se os seguintes resultados: os cortes horizontais apresentaram velocidades 1,3; 1,15 e 1,39 vezes menores para três tipos de rocha, enquanto que para outros dois tipos as velocidades foram 1,06 e 1,03 vezes menores nos cortes verticais.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O fio diamantado mostra-se extremamente vantajoso na lavra de granitos, levando em consideração sua flexibilidade e versatilidade operacional somado à maior produtividade e menor custo de operação. No entanto, para se conciliar uma grande produtividade com uma vida útil de fio satisfatória deve-se atentar aos diversos parâmetros que influenciam no corte. Quanto ao tipo de corte verificou-se não haver uma diferença expressiva entre ambos, no que diz respeito ao rendimento e velocidade de corte, porém os cortes horizontais necessitam de melhor monitoramento operacional, principalmente no que se refere à sua refrigeração e lubrificação.

Os resultados apresentados indicam que o rendimento do fio é diretamente proporcional à área de corte e à dimensão de arrasto, porém verifica-se que essa relação pode ser limitada pela potência da máquina, tendo em vista que o maior contato de fio com a rocha necessita de máquinas mais potentes. Entretanto, diversos são os fatores que podem influenciar no rendimento, sendo assim de difícil correlação. Com isso, nota-se a importância de maiores estudos do uso da tecnologia neste trabalho frizada, possibilitando uma melhor correlação dos diversos parâmetros que afetam o corte, podendo assim propor medidas de otimização do uso desta tecnologia no corte de granitos.

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradeço aos Engenheiros de Minas José Roberto Pinheiro e Nuria Fernández Castro pela dedicação e tempo disponibilizado. Ao Núcleo Regional do Centro de Tecnologia Mineral no Espírito Santo, às empresas colaboradoras, a Poliana de Oliveira Marcarini pelo apoio e ao CNPq pela bolsa concedida.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATAEI, M; MIKAIEL, R; SERESHKI, F; GHAYSARI N. **Predicting the production rate of diamond wire saw using statistical analysis**, Arabian Journal of Geosciences, Springer Berlin /Heidelberg, 2011, ISSN: 1866-7511, Earth and Environmental Science, p 1-7. Doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s12517-010-0278-z>.

CARANASSIOS, A.; PINHEIRO, J.R. (2003). **O emprego do fio diamantado na extração de rochas ornamentais: curso básico para operadores**. Cachoeiro de Itapemirim. CETEMAG. 25pag.

PINHEIRO, José Roberto. Comunicação Pessoal Pedreira da Empresa Alvorada Mineração Comércio e Exportação Ltda, Carai, MG. 2012.

REGADAS, I. C. M. C. (2006). **Aspectos Relacionados às Lavras de Granitos Ornamentais com Fio Diamantado no Norte do Estado do Espírito Santo, Brasil**. Tese de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. USP. 128p.

VIDAL, F.W.H; PINHEIRO, J.R; CASTRO, N.F; CARANASSIOS, A (*in memoriam*). **Lavra de rochas ornamentais**. In: Tecnologia de Rochas Ornamentais. VIDAL, *et al.* (Org.).Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012. [no prelo].