



CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE PÉROLA DIAMANTADA DE PEDREIRA

VIDAL, F.W.H.¹, EGRAMPHONTE.G.², SOPELETTO, M. V. S.³

¹Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCTIC. fhollanda@cetem.gov.br

²Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCTIC. g.egramphonte@hotmail.com

³Instituto Federal do Espírito Santo – IFES. mateussopeletto@gmail.com

RESUMO

O fio diamantado incorporado ao corte de rochas em pedreiras trouxe uma nova perspectiva para a indústria de rochas ornamentais. O tempo de corte foi diminuído para todas as rochas, independente do grau de dureza, o trabalho ficou mais simplificado, os riscos de acidentes com explosivos foram reduzidos, uma vez que o uso de explosivos na lavra de rochas ornamentais foi significativamente reduzido ou se tornou inexistente com o uso do fio diamantado. Este trabalho teve como objetivo caracterizar e avaliar o material abrasivo utilizado no corte com fio diamantado nas pedreiras nacionais e a construção de um protótipo da máquina para ensaios de escala de laboratório, para a realização de testes em pérolas diamantadas.

PALAVRAS-CHAVE: Fio diamantado; Pérola; Microtomografia; Protótipo.

ABSTRACT

The diamond wire embedded into the rock cut into quarries has brought a new perspective to the ornamental stone industry. Cutting time was reduced for all rocks, regardless of hardness, work became simpler, risks of accidents with explosives were reduced, since the use of explosives in ornamental rock was significantly reduced or became non-existent with the use of diamond wire. The objective of this article was to characterize and evaluate the abrasive material used in cutting with diamond wire in the national quarries and the construction of a prototype of the machine for laboratory scale tests to perform tests on diamond beads.

KEYWORDS: Diamond wire; beads; Microtomography; Prototype.

1. INTRODUÇÃO

A tecnologia de fio diamantado surgiu na Itália no final da década de 1970 na extração de mármore e travertinos. Mas no Brasil foi nos últimos 20 anos que essa tecnologia de corte se consagrou como a sendo a alternativa de melhor desempenho não só na lavra de rochas ornamentais, mas também no beneficiamento com os teares multifios que permite o desdobramento do bloco em várias chapas com espessura exigidas pelo mercado (VIDAL et al. 2014).

O ano de 2018 pode ser considerado um ano histórico para o setor de rochas ornamentais, por ter lançado mais de uma centena de novos tipos de materiais, principalmente quartzitos super exóticos, de maior dureza e menor volume, que necessitam exclusivamente da tecnologia do fio diamantado para a sua extração. Tudo indica que essas tendências de inúmeros lançamentos irão continuar em 2019, colocando o segmento de rochas brasileiro na vanguarda e com todas as condições de acompanhar as novidades mundiais. Os estados que mais se destacaram com uma série de lançamentos, em 2018, foram o Ceará, a Bahia e o Paraná (ROCHAS DE QUALIDADE - jan/fev 2019).

O setor de rochas Brasileiro se encontra em uma condição extremamente privilegiada na área de mineração, devido a riqueza natural e suas técnicas de lavra e beneficiamento, considerando hoje o mais moderno parque industrial do mundo, no que se refere a teares multifios e linhas de polimentos (ROCHAS DE QUALIDADE - jan/fev 2019). O segmento de beneficiamento das rochas representa um ganho considerável para a economia brasileira. Segundo estimativas do XVII Rappo Marmo e Pietre nel Mondo 2016 (XXV World Marble and Stones Report) o Brasil se posiciona em 4º no ranking mundial de produção e exportação de rochas ornamentais e de revestimento.

O corte com fio diamantado em pedreiras (corte primário) parte do princípio do atrito entre diamante e rocha, classificado como desgaste à dois corpos. O fio diamantado é composto por um cabo de aço envolto por pérolas diamantadas espaçadas uniformemente por borracha, plástico ou mola (figura 1a). O corte realiza-se com o movimento de rotação e translação do fio diamantado sob a rocha, com adição de água para refrigeração da interface fio/rocha e a remoção dos fragmentos oriundos do corte (figura 1b). Para isso, primeiramente, é aplicado uma torção por metro linear de fio, que são emendados após enlaçar a rocha por dois furos que se unem, constituindo um circuito fechado a partir da conexão de suas extremidades. O fio é então acoplado sobre a polia motriz do equipamento que impulsiona o movimento do fio, sob tensão e/ou arrasto (VIDAL et al. 2014).

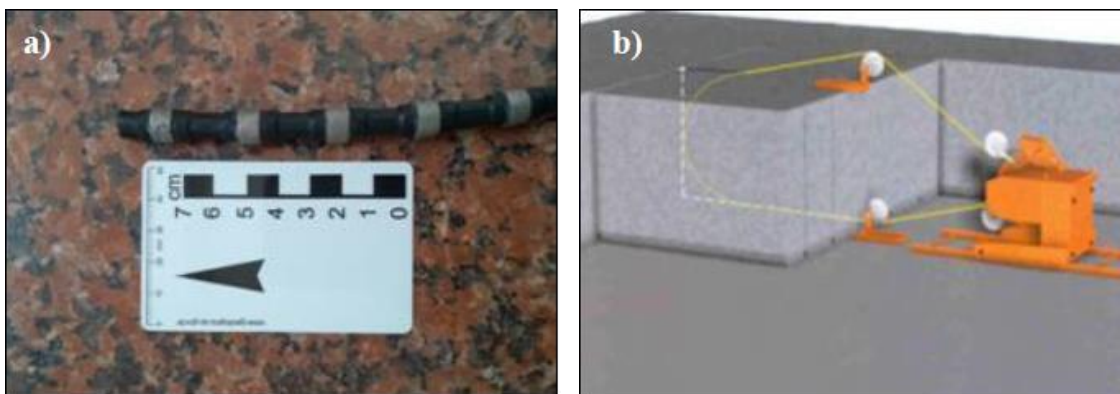


Figura 1: a) Fio diamantado utilizado no corte de rochas ornamentais. b) Representação esquemática do corte com fio diamantado, fonte: (MARINI QUARRIE GROUP, 2005 apud REGADAS, 2006),

Devido à grande demanda de utilização de fios diamantados, é crescente a busca e o surgimento de novas linhas de pesquisas voltadas para desenvolvimento tecnológico da produção de ferramentas diamantadas de corte com propriedades melhores, como a alta capacidade de corte resistência ao desgaste, bem como a avaliação de eficiência dos fios diamantados disponíveis no mercado.

Com base nisso o Centro de Tecnologia Mineral- CETEM já tem um projeto aprovado para a construção de um protótipo da máquina para ensaios de escala de laboratório, como pode ser observado na figura 2, que é baseada em um equipamento construído por diversos pesquisadores do departamento de geoengenharia e tecnologia ambiental da universidade de Cagliari, na Itália.

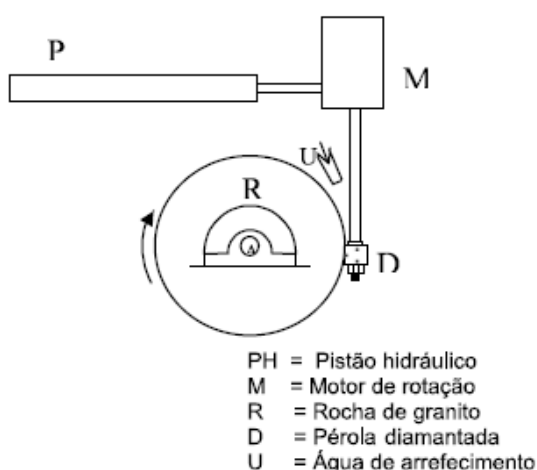


Figura 2: Ilustração esquemática da máquina de ensaio. (Fonte: Ciccu, 1996)

Cada rocha ornamental tem suas propriedades definidas pelo seu processo geológico de formação e, por esta razão, não é todo tipo de ferramenta que pode ser utilizada com sucesso no corte de rochas específicas, sendo necessário o desenvolvimento tecnológico da própria produção destas pérolas diamantadas, que sejam baseadas em pesquisas próprias (VIDAL, 2001). Além disto, é notável que o surgimento de novos materiais no mercado de rochas demanda uma melhor caracterização do fio diamantado, levando em consideração às concentrações e distribuição dos grãos de diamante ao longo da pérola. Tais análises poderão subsidiar a avaliação do desempenho do fio diamantado para cada tipo litológico testado.

2. OBJETIVO

Caracterizar o diamante utilizado nas pérolas dos fios diamantados empregados no corte de rocha ornamental nas pedreiras nacionais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Os fios diamantados investigados neste trabalho foram obtidos por meio de coletas de campo em visitas as pedreiras de rochas ornamentais, obtendo-se pedaços de fios diamantados utilizados para o corte de rocha, com o intuito de retirar as pérolas para a separação dos diamantes. A retirada da pérola do cabo ocorreu com a queima controlada do revestimento de borracha e auxílio de alicates.

As pérolas foram pesadas, utilizando-se a balança analítica Shimadzu UniBloc modelo AUY 220, e dispostas em béqueres de 100 ml, uma em cada béquer, onde foi adicionado ácido nítrico (HNO_3) com 65% de pureza analítica, a um volume de 60 ml por pérolas. Deixou-se as pérolas submersas no ácido proposto por 2 dias para que ocorresse a dissolução da sua liga metálica. Essa etapa foi feita com auxílio de capela para prevenir a inalação de gases desprendidos na dissolução da pérola.

Para a obtenção do diamante junto a matriz metálica dissolvida, filtrou-se o conteúdo do béquer. A filtragem foi realizada com auxílio de uma bomba a vácuo e um kit de filtragem, composto por kitazato, funil, pinça de preção e microfiltro de fibra de vidro macherey-nagel. Realizou-se a limpeza do funil com água deionizada e com auxílio de uma pisseta, a fim de retirar os diamantes presos nas paredes do funil de filtragem. Secou-se as amostras em estufa por 24 h a uma temperatura de 100°C . Foi realizado a pesagem do filtro com o material retido, para saber a massa da matriz dissolvida com os diamantes. Realizou-se o peneiramento do material retido no filtro em uma peneira com abertura de 0,212 mm, para separar o diamante do restante da matriz dissolvida. Então os diamantes foram colocados em placas Petri e colocados na estufa por 24 horas para retirar a água. Posteriormente realizou-se a retirada de impurezas do diamante utilizando-se uma lupa binocular e uma agulha. Após essa etapa determinou-se a massa final dos diamantes. Todo o processo desde a retirada da pérola do fio diamantado até a obtenção final do diamante sintético foi realizado nos laboratórios do Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, Núcleo Regional do Espírito Santo - NRES.

A título de exemplo, foi realizada uma microtomografia computadorizada de uma pérola diamantada aleatoria, no microtomógrafo da marca Zeiss, modelo Xradia XRM-510, do departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense. O funcionamento deste equipamento tem o princípio baseado em uma fonte composta por um tubo de Raios-X do tipo cone beam, que lança fótons de Raios-X que são alcançados pelo sistema de detecção, que possui um intensificador de imagem com tela fluoroscópica, que transformará estes fótons em fótons de luz. Este sistema está acoplado a uma câmera de vídeo tipo CCD de 12 bits e cintilador por fibra óptica. Sua tensão de operação pode variar entre 30 e 160 kV, sua corrente elétrica entre 0 e 1 mA, possuindo potência máxima de 10 W.

Neste estudo foi gerado um modelo em 3D da pérola para uma visualização não destrutiva da distribuição espacial dos diamantes, sendo possível verificar até mesmo a morfologia dos diamantes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado obtido com a dissolução das pérolas, mostrada na Figura 3, foi a obtenção dos diamantes sintéticos. Esses tiveram suas massas obtidas, e então calculou-se a concentração de diamante por pérola (massa do diamante / massa da pérola).

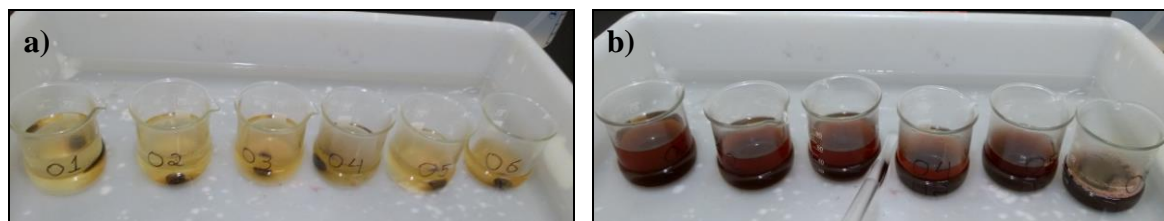


Figura 3: Dissolução das pérolas diamantadas em ácido nítrico (HNO_3) em a) início da reação, b) dissolução completa da matriz diamantada.

A solução ácida na qual as pérolas foram imersas não reagiu com o diamante, em seguida a solução foi filtrada, sendo o material retido, basicamente composto por diamantes, como mostra a Figura 4 a seguir.

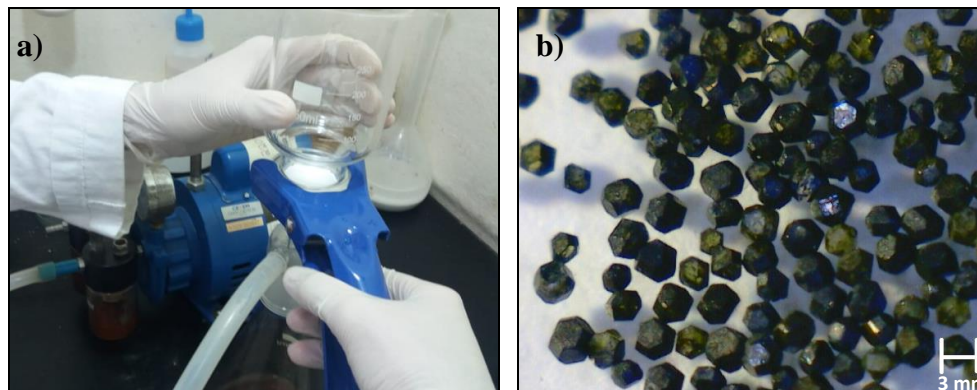


Figura 4: Obtenção dos diamantes após a) filtragem da solução e b) os diamantes presentes nas pérolas.

Na tabela a seguir mostra os resultados obtidos com as massas das pérolas, da liga sinterizada e dos diamantes, bem como o desvio padrão e o coeficiente de variação para se saber estatisticamente a variação por pérola.

Tabela 01: Concentração de diamantes por pérola.

Pérolas	Massa da pérola (g)	Massa do tubeto (g)	Massa da liga sinterizada (g)	Massa retida (g)	Massa dos diamantes (g)	Conc. dos diamantes (%)
1	4,7407	0,9731	3,7676	0,9173	0,1546	4,1034
2	4,8219	1,1812	3,6407	0,9608	0,1445	3,9690
3	4,8244	1,1982	3,6262	0,9697	0,1304	3,5961
4	4,5627	1,0947	3,4680	0,4697	0,1475	4,2532
5	4,7476	0,7373	4,0103	0,4605	0,1472	3,6705
6	4,6777	1,0466	3,6311	0,9673	0,1597	4,3981
Média	4,7292	1,0385	3,6907	0,7909	0,1473	3,9984
Desvio	0,0832	0,1435	0,1549	0,2139	0,0091	0,2904
Coeficiente de variação (%)	1,7601	13,8151	4,1959	27,0453	6,2001	7,2626

Dois pontos podem ser considerados como relevantes com relação aos resultados da Tabela 01. Primeiramente não houve uma grande variação da massa e concentração de diamantes em diferentes pérolas de um mesmo fio, indicando que o processamento das pérolas atuais segue um padrão de qualidade, atendendo a demanda de qualidade esperada do produto. O segundo é referente à concentração de diamantes usada por matriz metálica, obtendo um valor de referência próximo de 48 g de diamantes por quilo de matriz metálica.

Nota-se que ao longo de 20 anos, que a concentração média de diamantes nas pérolas diamantadas, apresentou um aumento expressivo, quando comparado os resultados obtidos neste trabalho com os descritos por Vidal (1999). A concentração de diamantes por pérolas passou de 1,6% da massa na década de 1990, para 3,99% da massa das pérolas analisadas no presente estudo. Além disto é possível verificar uma significativa diminuição do coeficiente de variação de aproximadamente 15,54%, para aproximadamente 7,26%.

Com base nos resultados obtidos na microtomografia computadorizada realizada nas pérolas diamantadas, apresentada na Figura 5, podem ser observados sinais de não

uniformidade dos diamantes, inclusive na periferia do corpo de prova analisado, o que pode acarretar em um desgaste não uniforme da pérola diamantada durante o corte da rocha.

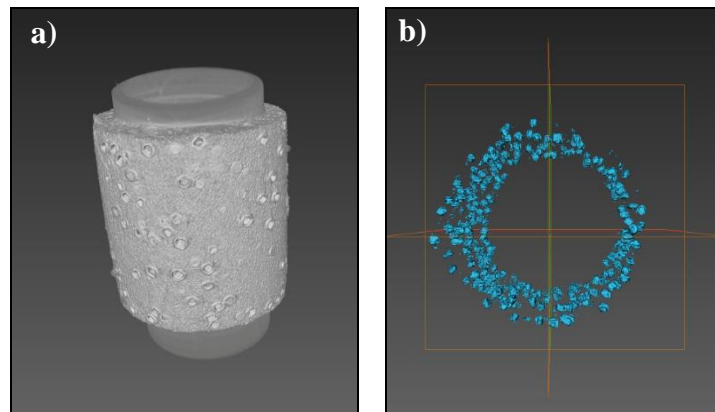


Figura 5: Microtomografia em a) pérola diamantada usada no corte de rochas, b) distribuição não uniforme dos diamantes na matriz de corte da pérola diamantada. (Fonte: Pardal, 2018)

Segundo Sopeletto (2016), é provável que o tempo de mistura da matriz diamantada (pós metálicos + diamantes), durante a fabricação das ferramentas diamantadas, deve ser o suficiente para garantir uma boa homogeneização da mistura e distribuição dos diamantes nas ferramentas.

5. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, nota-se que a qualidade das ferramentas diamantadas ao longo dos anos vem melhorando. Se compararmos o coeficiente de variação da concentração dos diamantes nas pérolas diamantadas estudadas, com as descritas por Vidal (1999), há uma diminuição de 8,28%, o que mostra que as perolas atuais apresentam uma maior concentração dos diamantes na matriz, o que pode promover, em tese, uma performance mais homogênea do fio no corte das rochas.

Entretanto, observa-se a necessidade de garantir uma padronização de distribuição espacial dos diamantes nas pérolas diamantadas, conforme resultado obtido na análise microtomográfica da pérola estudada. Esta análise demonstrou a necessidade de realização deste tipo de abordagem em pérolas dos diferentes tipos comerciais de fios diamantados. Portanto a aplicabilidade deste ensaio de microtomografia poderá ser um controle de qualidade de fabricação das pérolas diamantadas, mesmo que seja por lotes, poderá trazer grandes benefícios na avaliação do rendimento do corte com fio diamantado.

Por fim, estas abordagens deverão ser executadas na continuação do presente trabalho, com a análise de diferentes tipos de fios diamantados fornecido pelo mercado, bem como o estudo da relação entre a concentração e dispersão espacial dos diamantes nas pérolas e o rendimento de corte destes fios em rochas ornamentais.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento de Engenharia Civil da UFF, na pessoa do Professor Dr. Juan Manuel Pardal, pela realização da microtomografia nas pérolas. E também CNPq pela concessão da bolsa de estudos de iniciação científica para o aluno Gustavo Egramphonte.

7. REFERÊNCIAS

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Balanço das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais em 2017.

CICCU, R. *et al.* *Valutazione Sperimentale Delle Caratteristiche di Degli Utensili Diamantati*. In: Congresso Italo-Brasileiro de engenharia de Minas, 4. Canelas-RS, Anais. Canela, 1996, p. 131 – 139.

PARDAL, J.M. Microtomografia computadorizada da pérola diamantada no microtomógrafo da marca Zeiss, modelo Xradia XRM-510, do departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense, acervo próprio, 2018.

REGADAS, I. C. M. C. 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., 2006.

Revista ROCHA DE QUALIDADE - editorial "2019 INICIA COM EXPECTATIVAS OTIMISTAS" edição 264 jan/fev 2019.

SOPELETTO, M.V.S. Desenvolvimento de um compósito diamantado no sistema Ni-Co-Fe via free sintering para uso em pérolas diamantadas de multifio analisando as propriedades de aderência diamante / liga e liga / tubeto metálico. Monografia (graduação) - Instituto Federal de Espírito Santo, Coordenadoria do curso de Eng. de Minas - Curso Eng. de Minas 2016.

VIDAL, F.W.H.; AZEVEDO, H.C.A.; CASTRO, N.F. Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento. 1 ed. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Centro de Tecnologia Mineral/CETEM/MCTI, 2014, p. 153-259.

VIDAL, F. W. H. Estudo do elemento abrasivo do fio diamantado na lavra de granitos do estado do Ceará. In: I Simpósio de rochas ornamentais, 1., Salvador, BA. Anais do I Simpósio de rochas ornamentais. Salvador: CETEM, 2001. p.64-71.

VIDAL, F. W. H. Estudo dos elementos abrasivos de fio diamantado para a lavra de granitos do Ceará. Tese de doutorado, São Paulo, 1999, escola politécnica da universidade de São Paulo, deptº de eng. De Minas, São Paulo, 173p., 1999.