

**Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**  
**Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo**

ISSN 0104-0553

**BT/PMI/223**

---

**Gravação de Rochas Ornamentais  
com Jato D'Água Abrasivo**

---

**Valena Hennies Lauand**  
**Antonio Stellin Junior**

**São Paulo - 2005**

01469205

O presente trabalho é parte da dissertação de mestrado apresentada por Valena Hennies Lauand, sob a orientação do Prof. Dr. Antonio Stellin Junior: "Gravação de Rochas Ornamentais com Jato D'Água Abrasivo" defendida em 15/12/2004, na EPUSP.

A íntegra da dissertação encontra-se à disposição dos interessados com o autor e na Biblioteca do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da USP.

## FICHA CATALOGRÁFICA

Lauand, Valena Hennies

Gravação de rochas ornamentais com jato d'água abrasivo  
/ Valena Hennies Lauand, Antonio Stellin Junior. -- São Paulo :  
EPUSP, 2005.

35 p. – (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo ; BT/PMI/223)

1. Rochas ornamentais 2. Corte a frio (Uso; técnicas) 3. Desgaste abrasivo I. Stellin Junior, Antonio II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo III. Título IV. Série  
ISSN 0104-0553

VALENA HENNIES LAUAND

GRAVAÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS COM  
JATO D'ÁGUA ABRASIVO

Edição abreviada da dissertação  
apresentada à Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo para  
obtenção do Título de Mestre em  
Engenharia.

São Paulo  
2004



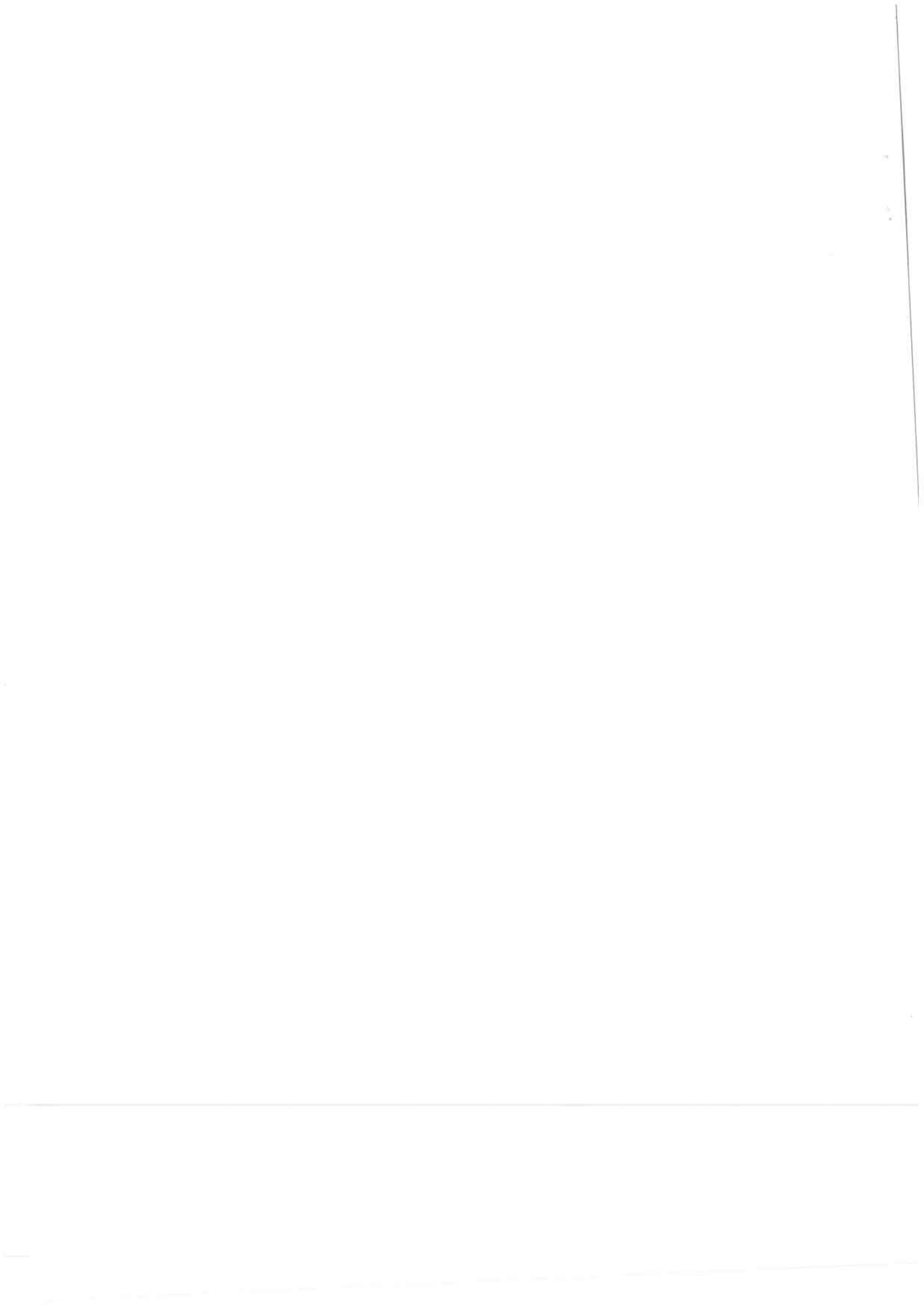
## RESUMO

Jatos d'água abrasivos podem ser usados para gravar rochas ornamentais. Pesquisas foram recentemente iniciadas nesta interessante área na Universidade de São Paulo, em um programa de estudo de mestrado. O perfil geométrico da ranhura gerada depende fundamentalmente de três variáveis, que podem ser ajustadas no sistema do equipamento disponível no Módulo de Jato Abrasivo do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. A primeira variável é a pressão da bomba d'água. Normalmente, os sistemas de jatos abrasivos dispõem de uma válvula de alívio da pressão através da qual é possível colocar a pressão em determinado nível desejado na saída do bocal. A segunda variável é a velocidade de translação do bocal de corte, que pode ser determinada quando se escolhe a qualidade de gravar (*etch*) no desenho previamente feito. Finalmente, a terceira variável é a altura entre a extremidade do bocal e a peça alvo da gravação. Baixas velocidades de translação do bocal e pequena ou média altura do bocal resultam em uma ranhura que tem um perfil em forma de U, devido ao efeito da energia do jato d'água abrasivo estar distribuída ao longo de toda a área de incidência sobre o material alvo. Por outro lado, alta velocidade de translação e maiores alturas do bocal, combinadas a uma baixa pressão d'água, resultam em uma geometria de perfil em forma de V, no qual a energia de erosão acelerada se mostra maior no centro da área de incidência do jato abrasivo que em suas periferias. Os resultados de alguns ensaios realizados em um granito Vermelho Capão Bonito e um mármore Branco Campos do Jordão são discutidos nesta dissertação. A largura e a profundidade da ranhura podem ser facilmente controladas, e, se for desejado um desenho sofisticado em baixo relevo, este pode ser planejado com boa precisão.



## ABSTRACT

Abrasive water jets can be used to engrave ornamental stone tiles, this is commonly known as milling process. Researches have recently been started in this interesting area at USP — University of São Paulo —, in a Master engineering program. The generated kerf profile geometry fundamentally depends on three variables that can be adjusted according to the water jet system of the equipment in use. The first variable is the water pressure of the pump. Normally the equipment is provided with a relief valve that enables the control of pressure in the nozzle. The second variable is the transverse speed of the nozzle; this speed can be regulated as desired, according to the quality of the etching of the target material that is chosen. Finally, the third variable is the distance between the end of the nozzle and the tile or plate to be engraved, which can be adjusted before the engraving operation begins. Low transverse speed of the nozzle, as well as little or medium standoff distance cause a deep U form profile on the resulting kerf, as the effect of the abrasive water jet energy is distributed along the whole area of the beam. On the other hand, high transverse speed and higher standoff distances of the nozzle, combined with low water pressure, result in a V profile, as the accelerated erosion energy is greater in the centre of the abrasive water jet than in its periphery. The results of some experiments with Red Capão Bonito granite and White Campos do Jordão marble tiles are discussed in this paper. The kerf width and depth can be easily controlled and if a more sophisticated low relief design is required, this can be planned with great precision.



# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO . . . . .	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA . . . . .	1
3. MATERIAIS E MÉTODOS . . . . .	3
3.1. Granito Vermelho Capão Bonito . . . . .	3
3.2 Mármore Branco de Campos do Jordão . . . . .	4
3.3 Método . . . . .	4
4. ENSAIOS DE LABORATÓRIO . . . . .	5
4.1 Ensaio preliminares . . . . .	6
4.1.1 Granito Vermelho Capão Bonito . . . . .	6
4.1.2 Mármore Branco Campos do Jordão . . . . .	9
4.1.3 Resultados dos ensaios preliminares. . . . .	13
4.2 Ensaio posteriores. . . . .	15
4.2.1 Granito Vermelho Capão Bonito . . . . .	15
4.2.2 Mármore Branco Campos do Jordão. . . . .	18
4.3 Ensaio da gravação final . . . . .	22
4.4 Problema durante a gravação. . . . .	27
5. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS . . . . .	27
5.1 Largura da ranhura ( $b_c$ ). . . . .	28
5.2 Profundidade da ranhura ( $k_c$ ). . . . .	29
5.3 Perfil da ranhura . . . . .	29
5.4 Interpretação dos resultados . . . . .	30
6. CONCLUSÃO . . . . .	33
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS . . . . .	34



## 1. INTRODUÇÃO

Jatos d'água abrasivos são usados para realizar gravações em ladrilhos de rochas ornamentais, procedimento comumente denominado "milling", em inglês. O procedimento de gravação pelos modernos sistemas de jatos d'água abrasivos é a tecnologia mais sofisticada, que tenta controlar não só a largura, mas também a profundidade da ranhura do corte aberto.

As presentes pesquisas se iniciaram para os estudos com rochas ornamentais nesta interessante área do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, neste programa de mestrado que vem sendo realizado pela autora e orientado pelo Prof. Dr. Antonio Stellan Junior.

A geometria do perfil da ranhura gerada depende fundamentalmente de três variáveis, que podem ser ajustadas no equipamento instalado no Laboratório de Mecânica de Rochas do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da USP, que vem sendo chamado de Módulo de Jato Abrasivo. Assim, pressão d'água da bomba, velocidade transversal do bocal e altura do bocal em relação a peça a ser gravada são as variáveis que foram consideradas. Estas variáveis podem ser ajustadas antes do início das operações de gravação.

Baixa velocidade de translação do bocal, pequena altura do bocal e média pressão de água resultam em uma ranhura que tem um perfil em forma de U, em virtude da alta energia do feixe de água concentrado ao longo de toda sua largura. Por outro lado, alta velocidade de translação do bocal, alta altura do bocal e baixa pressão de água resultam em um perfil em forma de V, no qual a energia é mais elevada na parte central do feixe d'água incidente que em suas periferias.

Neste estudo são apresentados os resultados experimentais de uma série de ensaios executados em blocos e ladrilhos de granito e mármore. Os estudos iniciais foram conduzidos para determinação da largura e profundidade da ranhura, bem como do perfil resultante. Largura e profundidade podem ser facilmente controladas, e, se um sofisticado baixo relevo for desejado, este pode ser planejado com boa precisão. Esta possibilidade foi objetivo de uma segunda série de ensaios.

Além disso, é necessário um estudo mais profundo para propor um novo modelo matemático de comportamento de perfis de ranhuras como função dos parâmetros de operação.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Um moderno sistema de jato d'água abrasivo foi importado, em 1999, e colocado em operação em janeiro de 2000, com suporte financeiro da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP. O modelo é o 2652A de marca OMAX,

descrito detalhadamente em artigo publicado em evento internacional (Lauand et al., 2000). Na figura 1 podemos visualizar um foto do modelo 2652A. Na figura 2 é mostrado um esquema simplificado.

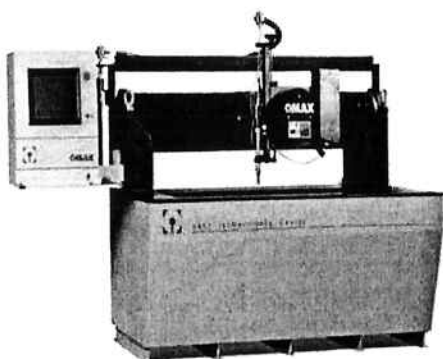


Figura 1 — Modelo 2652A, OMAX, utilizado nos ensaios.

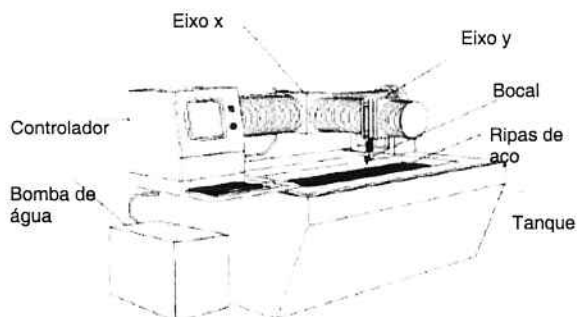


Figura 2 — Esquema simplificado do modelo 2652A.

A idéia de corte com água pode ser tão antiga, quanto o provérbio chinês que diz “Água mole em pedra dura tanto bate até que fura”. Na moderna tecnologia do jato d’água, a água pingando é substituída por um jato de água de alta velocidade, na qual a “penetração na rocha” ocorre em segundos.

A moderna tecnologia do jato d’água foi iniciada pelo Dr. Norman C. Franz, da Sociedade Mac Cartney, filial da Ingersoll Rand (fabricante de bombas de alta pressão) em 1968 (Franz apud Zeng & Kim, 1995), que foi recompensado com a primeira patente para sistemas de corte por jato d’água de elevada pressão. Baseado nesta idéia, o primeiro sistema de corte de jato de água comercial foi desenvolvido para cortar tubos de papel laminado em 1971.

No ano seguinte, o primeiro simpósio de tecnologia de corte por jatos de água teve lugar na Inglaterra para reunir os principais pesquisadores e fabricantes para que se discutissem o estado da arte e os projetos futuros da tecnologia do jato de água.

Desde então, a tecnologia do jato de água assistiu a um próspero crescimento. Em 1983, a idéia de introduzir abrasivo no jato de água foi patenteada e foi imediatamente seguida pelo desenvolvimento do primeiro sistema de jato de água abrasivo, que normalmente é designado pelas três primeiras letras em inglês de “abrasive water jet” (AWJ), ou jato d’água abrasivo.

Como as capacidades dos AWJ foram aprimoradas, surgiram os processos de conformação mais precisos. Um recente serviço para aplicação industrial da tecnologia do jato de água (Klavuhn & Baker, 1989) indica que a prioridade maior é estabelecer padrões de desempenho e uma completa base de dados dos cortes.

Os modernos sistemas de jatos abrasivos de ultra-alta pressão podem ser utilizados para corte, polimento, gravação, limpeza, torneamento e uma série de procedimentos de manufatura dos mais diversos (Hashish, 1988).

Este mesmo autor foi pioneiro na gravação de metais com o uso de jato abrasivo (Hashish, 1987 e Hashish, 1994a e 1994b).

Por outro lado, outros autores dedicaram-se a pesquisas com materiais diversos, e às vezes de natureza mais frágil. Assim, um programa de doutorado dedicado a gravação em ferro fundido procurou estabelecer um modelo matemático da ranhura obtida (Laurinat et al., 1993).

Holmqvist e Öjmertz (1997) sugerem desenvolvimentos com o uso de bocais de forma peculiar e jato pulsante para gravação. Já Zeng e Munoz (1997) gravaram cerâmica como material frágil.

Como na literatura não existe referência sobre a gravação de rochas, é apropriado realizar investigações preliminares em um programa de mestrado. O assunto é abordado com ensaios de laboratório para verificação da validação dos modelos descritos na literatura.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram selecionados um granito e um mármore como materiais a serem submetidos no sistema de jato abrasivo existente. As principais características tecnológicas destas rochas ornamentais (granito Vermelho Capão Bonito e mármore Branco de Campos do Jordão) estão descritas a seguir.

#### 3.1. Granito Vermelho Capão Bonito

O granito selecionado para o teste em laboratório foi o granito Vermelho Capão Bonito. A jazida está localizada a 250 km da cidade de São Paulo, na cidade do mesmo nome. Sua extração é feita pelo recorte de blocos em bancadas no maciço rochoso. Utiliza-se corte com o auxílio de jato de chama e desmembramento das bancadas com perfuração em costura usando perfuratrizes com martelletes pneumáticos.

O granito Capão Bonito é uma rocha ácida policristalina com as seguintes características tecnológicas (Caruso, 1990):

- *Classificação Petrográfica:* Biotita granito porfírico
- *Composição Mineralógica:* Microclínio Pertítico (35%); Plagioclásio (oligoclásio - albita) (20-25%); Quartzo (30%); Biotita (10%); Zircão, Apatita, Opacos, Epídoto, Carbonatos, Sericita (<5%)
- *Utilização Recomendada:* Revestimento e pavimentos internos e externos
- *Massa Específica Aparente Seca:* 2.625 kg/m<sup>3</sup>
- *Porosidade Aparente:* 0,68%
- *Absorção de Água:* 0,26%
- *Desgate Amsler:* 0,60 mm

- *Impacto*: 51 cm
- *Compressão Uniaxial*: 133,0 MPa
- *Flexão*: 13,2 MPa
- *Módulo de Deformidade Estático*: 56.100 MPa
- *Coefficiente de Dilatação Térmica Linear*: 0,0087 +/- 0,0002 mm/m°C

### 3.2 Mármore Branco de Campos do Jordão

O mármore selecionado para o teste em laboratório foi o mármore Campos do Jordão, também conhecido como mármore Branco Mantiqueira (IPT – SP 29). A jazida está localizada a 200 km da cidade de São Paulo, próxima da cidade de Campos do Jordão, no bairro dos Marmelos, na serra da Mantiqueira. O processo de extração é primitivo, pois não é possível a retirada de blocos de grande dimensão, devido à grande quantidade de trincas no maciço rochoso.

O mármore Campos do Jordão é mármore dolomítico branco com as seguintes características tecnológicas:

- *Classificação Petrográfica*: Calcita-dolomita mármore
- *Composição Mineralógica*: dolomita (80%); tremolita (10%); calcita (5%); olivina (<5%); serpentita, clorita magnésiana (<5%)
- *Utilização Recomendada*: Revestimentos verticais (paredes e fachadas) e horizontais (pisos), de baixo tráfego, de interiores e exteriores de edificações.
- *Massa Específica Aparente Seca*: 2.833 kg/m<sup>3</sup>
- *Porosidade Aparente*: 0,53%
- *Absorção de Água*: 0,19%
- *Desgaste Amsler*: 4,42 mm/1.000 m
- *Impacto de Corpo Duro*: 0,38 m
- *Compressão Uniaxial*: 108,5 MPa
- *Flexão*: 9,84 MPa
- *Velocidade de Propagação de Ondas*: 5.790 m/s
- *Dilatação Térmica Linear*: 8,1 10<sup>-3</sup> mm/m°C
- *Degelo*: 101,4 MPa

### 3.3 Método

Para os ensaios preliminares foram preparados prismas retangulares das amostras com serra adiamantada. Para o granito foram utilizados primas retangulares com as seguintes dimensões: 90 mm de largura por 160 mm de comprimento e com 40 mm de espessura, e para o mármore: 100 mm de largura por 105 mm de comprimento e com 30 mm de espessura.

Nos ensaios posteriores e ensaios de gravação final foram adquiridos ladrilhos de 400 mm por 400 mm para o granito e 400 mm por 300 mm para o mármore.

Depois de feitos os ensaios, as amostras foram digitalizadas. Nos ensaios preliminares as amostras foram inseridas no software "Corel Draw". Com a imagem colocada no "Corel Draw" pode-se copiar o contorno das ranhuras feitas pelo jato de água assim como também medir a largura e a profundidade das ranhuras. Os desenhos podem ser visto no item 4.1 Ensaio Preliminares.

## 4. ENSAIOS DE LABORATÓRIO

A gravação de um material alvo requer uma estimativa preliminar da largura e da profundidade da ranhura que será aberta pelo jato abrasivo, ou melhor, da geometria de seu perfil. Estes dois parâmetros normalmente variam com três variáveis dos ensaios: a pressão d'água na bomba, a altura do bocal e a velocidade de translação do bocal.

Como é possível variar a pressão da bomba por uma válvula de alívio, a mesma foi diminuída para operar nos níveis de 70 MPa e também de 140 MPa.

Três alturas de bocal em relação a peça a ser gravada foram usadas: 3, 10 e 25 mm.

A variável seguinte consistiu na velocidade de translação do bocal, onde se utilizaram quatro valores: 10, 25, 50 e 75 mm/s.

Os demais dados para a realização dos ensaios são parâmetros do equipamento, como o diâmetro do orifício ou jóia, de 0,3556 mm, comprimento do tubo de foco, de 100 mm, este com diâmetro interno de 0,762 mm. O abrasivo utilizado foi a granada 120#.

Três etapas ou estágios de ensaios de laboratório foram realizados, a saber: ensaios preliminares de ranhura única, ensaios de ranhuras múltiplas (circulares ou por linhas paralelas) e ensaios finais para gravação de motivos ou desenhos.

Os ensaios preliminares de ranhura única visavam verificar a largura e profundidade da ranhura gerada, ou melhor, a seção transversal resultante.

Os ensaios de ranhuras múltiplas visavam verificar o resultado conseguido sobre um baixo relevo gravado com linhas retas ou curvas, separadas entre si de determinados valores, para verificação do baixo relevo decorrente.

A partir da experiência adquirida com estes ensaios de linhas múltiplas foi possível projetar um desenho mais sofisticado, para gravação em um ladrilho de granito Vermelho Capão Bonito.

## 4.1 Ensaios preliminares

### 4.1.1 Granito Vermelho Capão Bonito

Os ensaios preliminares no granito Vermelho Capão Bonito foram elaborados em dois prismas retangulares (90 x 160 x 40), uma para cada pressão (70 MPa e 140 MPa) e assim variando-se velocidade do bocal (10 mm/s, 25 mm/s, 50 mm/s e 75 mm/s) e a altura do bocal (3 mm, 10 mm e 25 mm). Totalizando 24 ensaios, 12 em cada pressão que podemos ver detalhados a seguir:

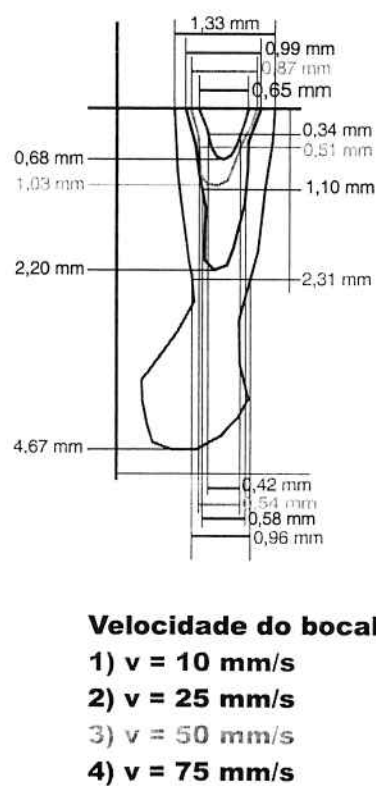


Figura 5 — Vista lateral e vista frontal das peças ensaiadas com altura do bocal de 3 mm, velocidades variadas e pressão de 70 MPa.

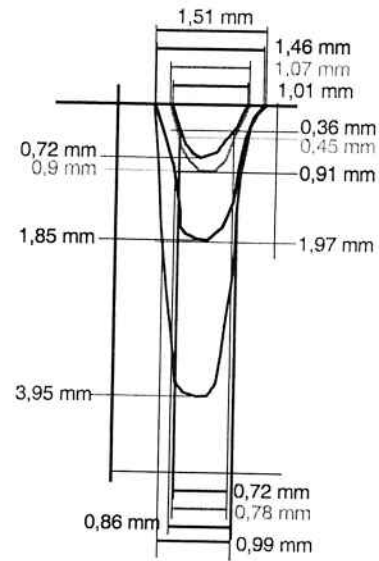
Figura 6 — Corte transversal das ranhuras feitas com altura do bocal de 3 mm, velocidades variadas e pressão de 70 MPa.



Figura 7 — Vista lateral e vista frontal das peças ensaiadas com altura do bocal de 10 mm, velocidades variadas e pressão de 70 MPa.



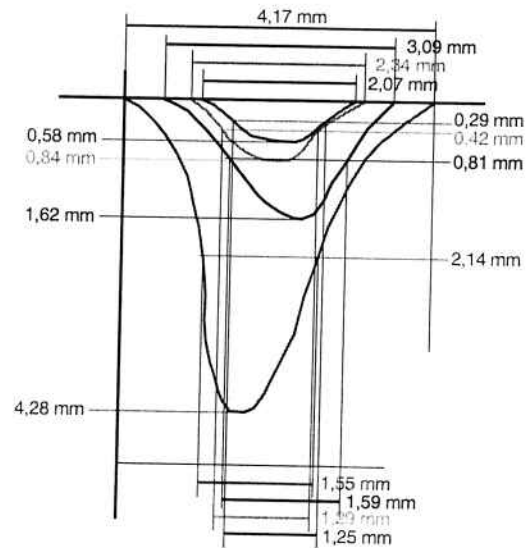
Figura 9 — Vista lateral e vista frontal das peças ensaiadas com altura do bocal de 25 mm, velocidades variadas e pressão de 70 MPa.



#### Velocidade do bocal

- 1)  $v = 10 \text{ mm/s}$
- 2)  $v = 25 \text{ mm/s}$
- 3)  $v = 50 \text{ mm/s}$
- 4)  $v = 75 \text{ mm/s}$

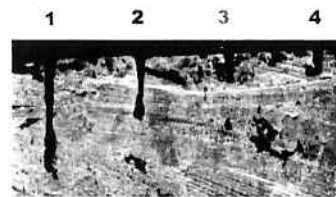
Figura 8 — Corte transversal das ranhuras feitas com altura do bocal de 10 mm, velocidades variadas e pressão de 70 MPa.



#### Velocidade do bocal

- 1)  $v = 10 \text{ mm/s}$
- 2)  $v = 25 \text{ mm/s}$
- 3)  $v = 50 \text{ mm/s}$
- 4)  $v = 75 \text{ mm/s}$

Figura 10 — Corte transversal das ranhuras feitas com altura do bocal de 25 mm, velocidades variadas e pressão de 70 MPa.



Vista Lateral

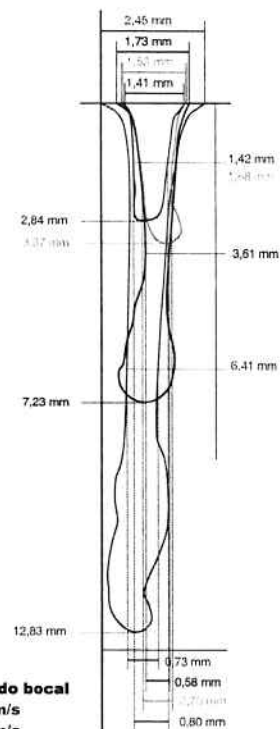


Vista Frontal

**Velocidade do bocal**

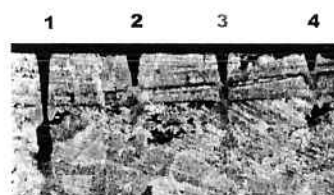
- 1)  $v = 10 \text{ mm/s}$
- 2)  $v = 25 \text{ mm/s}$
- 3)  $v = 50 \text{ mm/s}$
- 4)  $v = 75 \text{ mm/s}$

Figura 11 — Vista lateral e vista frontal das peças ensaiadas com altura do bocal de 3 mm, velocidades variadas e pressão de 140 MPa.

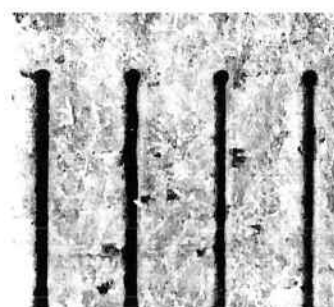
**Velocidade do bocal**

- 1)  $v = 10 \text{ mm/s}$
- 2)  $v = 25 \text{ mm/s}$
- 3)  $v = 50 \text{ mm/s}$
- 4)  $v = 75 \text{ mm/s}$

Figura 12 — Corte transversal das ranhuras feitas com altura do bocal de 3 mm, velocidades variadas e pressão de 140 MPa.



Vista Lateral

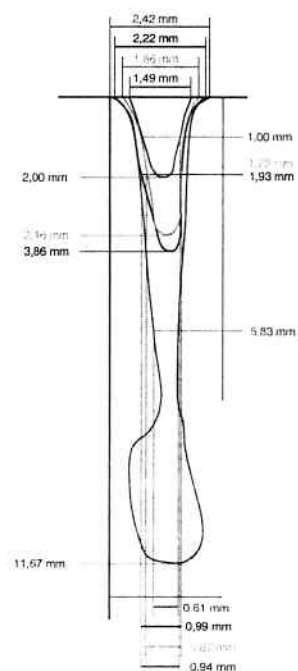


Vista Frontal

**Velocidade do bocal**

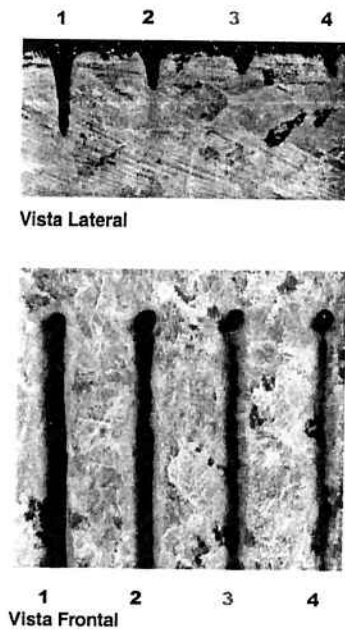
- 1)  $v = 10 \text{ mm/s}$
- 2)  $v = 25 \text{ mm/s}$
- 3)  $v = 50 \text{ mm/s}$
- 4)  $v = 75 \text{ mm/s}$

Figura 13 — Vista lateral e vista frontal das peças ensaiadas com altura do bocal de 10 mm, velocidades variadas e pressão de 140 MPa.

**Velocidade do bocal**

- 1)  $v = 10 \text{ mm/s}$
- 2)  $v = 25 \text{ mm/s}$
- 3)  $v = 50 \text{ mm/s}$
- 4)  $v = 75 \text{ mm/s}$

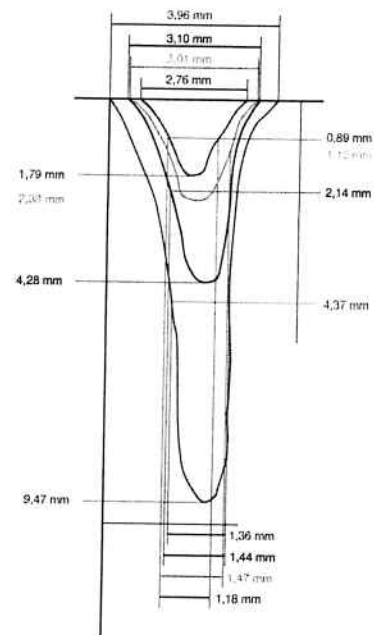
Figura 14 — Corte transversal das ranhuras feitas com altura do bocal de 10 mm, velocidades variadas e pressão de 140 MPa.



**Velocidade do bocal**

- 1)  $v = 10 \text{ mm/s}$
- 2)  $v = 25 \text{ mm/s}$
- 3)  $v = 50 \text{ mm/s}$
- 4)  $v = 75 \text{ mm/s}$

Figura 15 — Vista lateral e vista frontal das peças ensaiadas com altura do bocal de 25 mm, velocidades variadas e pressão de 140 MPa.



**Velocidade do bocal**

- 1)  $v = 10 \text{ mm/s}$
- 2)  $v = 25 \text{ mm/s}$
- 3)  $v = 50 \text{ mm/s}$
- 4)  $v = 75 \text{ mm/s}$

Figura 16 — Corte transversal das ranhuras feitas com altura do bocal de 25 mm, velocidades variadas e pressão de 140 MPa.

#### 4.1.2 Mármore Branco Campos do Jordão

Os ensaios preliminares no mármore Branco Campos do Jordão foram elaborados em dois prismas retangulares (100 x 105 x 30), uma para cada pressão (70 MPa e 140 MPa) e variando-se a velocidade do bocal (10 mm/s, 25 mm/s, 50 mm/s e 75 mm/s) e a altura do bocal (3 mm, 10 mm e 25 mm). Totalizando 24 ensaios, 12 em cada pressão que podemos ver detalhados a seguir:

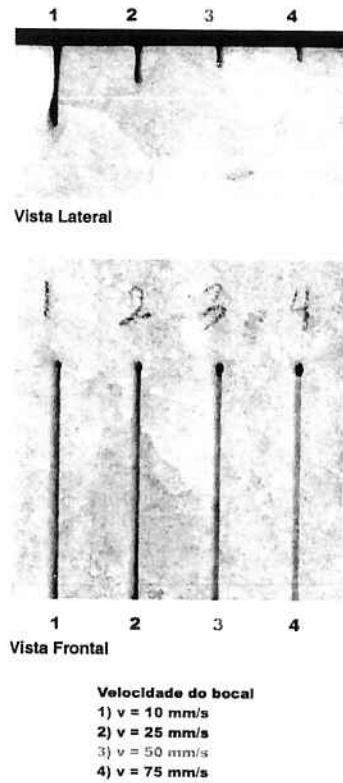


Figura 17 — Vista lateral e vista frontal das peças ensaiadas com altura do bocal de 3 mm, velocidades variadas e pressão de 70 MPa.

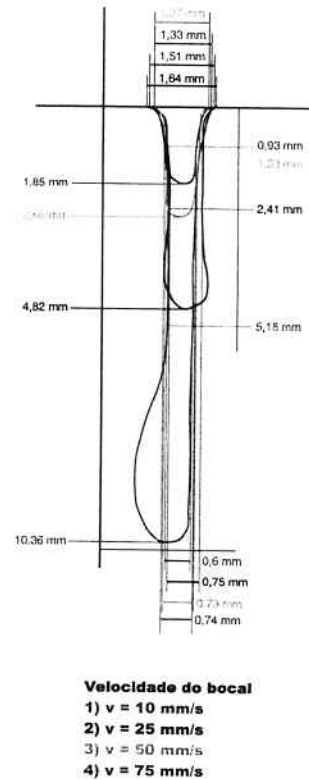


Figura 18 — Corte transversal das ranhuras feitas com altura do bocal de 3 mm, velocidades variadas e pressão de 70 MPa.

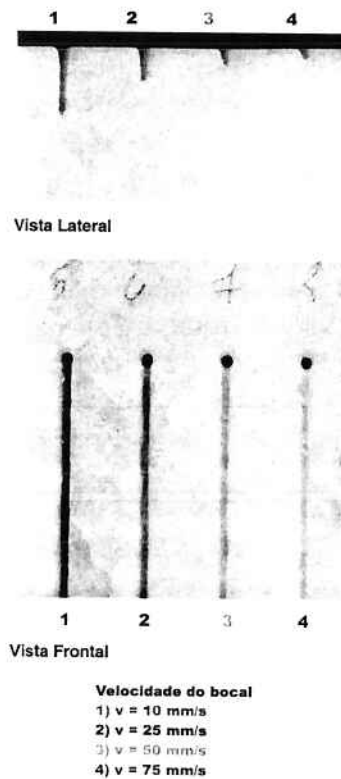


Figura 19 — Vista lateral e vista frontal das peças ensaiadas com altura do bocal de 10 mm, velocidades variadas e pressão de 70 MPa.

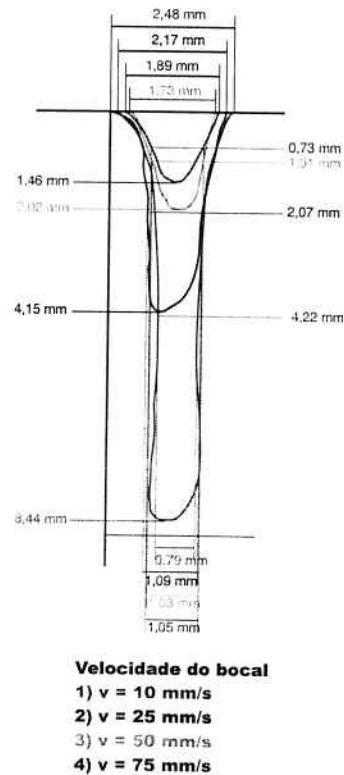


Figura 20 — Corte transversal das ranhuras feitas com altura do bocal de 10 mm, velocidades variadas e pressão de 70 MPa.

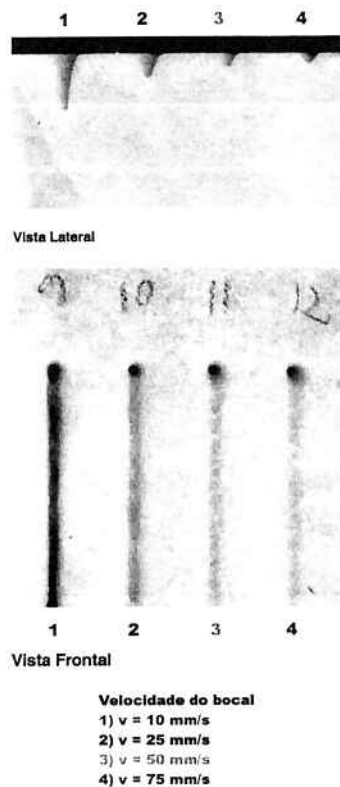


Figura 21 — Vista lateral e vista frontal das peças ensaiadas com altura do bocal de 25 mm, velocidades variadas e pressão de 70 MPa.

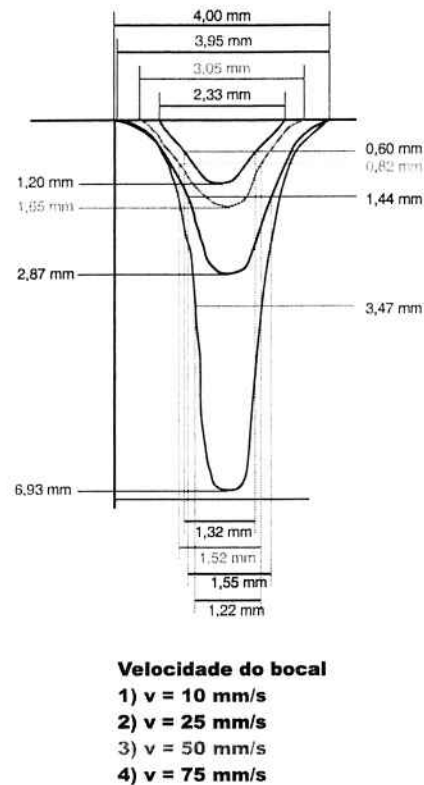


Figura 22 — Corte transversal das ranhuras feitas com altura do bocal de 25 mm, velocidades variadas e pressão de 70 MPa.

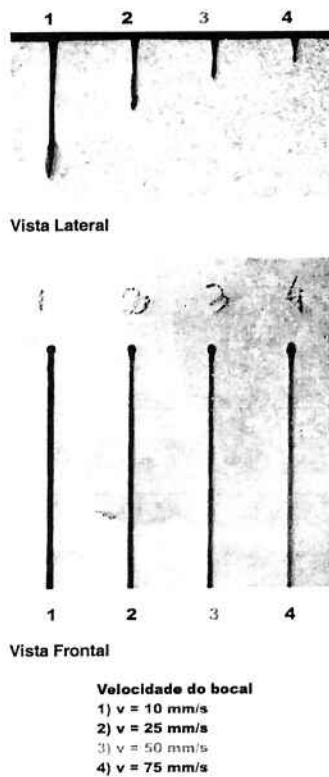


Figura 23 — Vista lateral e vista frontal das peças ensaiadas com altura do bocal de 3 mm, velocidades variadas e pressão de 140 MPa.

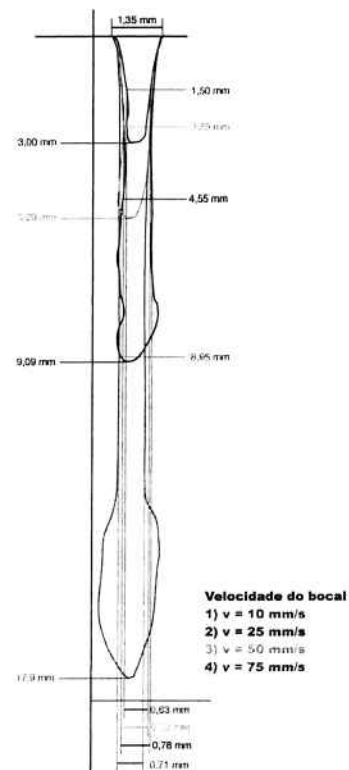


Figura 24 — Corte transversal das ranhuras feitas com altura do bocal de 3 mm, velocidades variadas e pressão de 140 MPa.

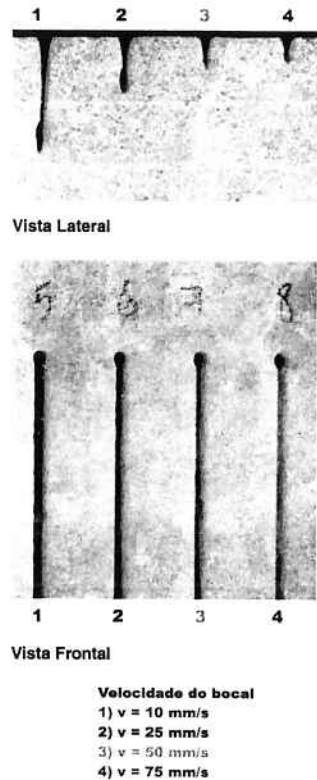


Figura 25 — Vista lateral e vista frontal das peças ensaiadas com altura do bocal de 10 mm, velocidades variadas e pressão de 140 MPa.

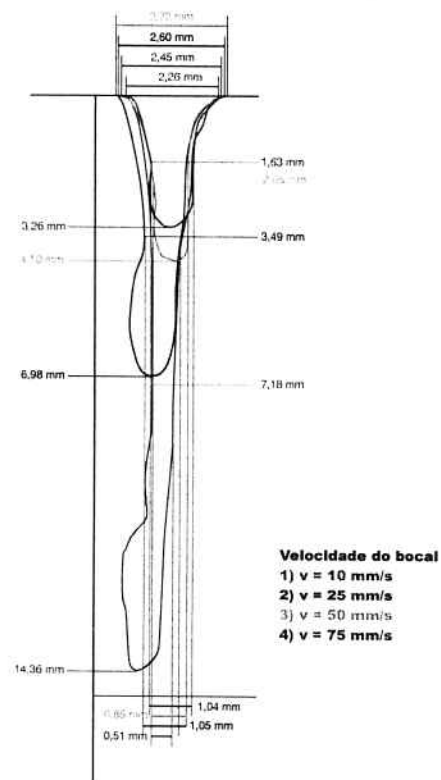


Figura 26 — Corte transversal das ranhuras feitas com altura do bocal de 10 mm, velocidades variadas e pressão de 140 MPa.

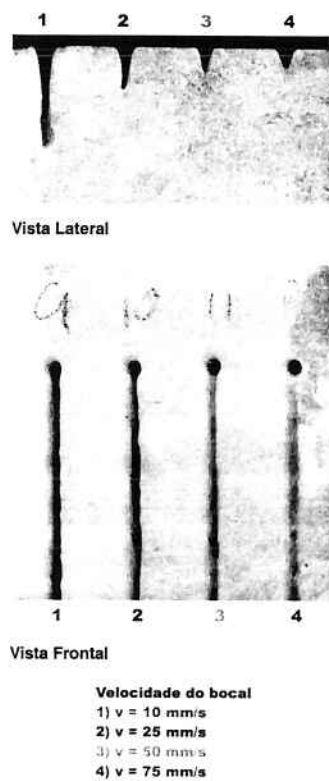


Figura 27 — Vista lateral e vista frontal das peças ensaiadas com altura do bocal de 25 mm, velocidades variadas e pressão de 140 MPa.

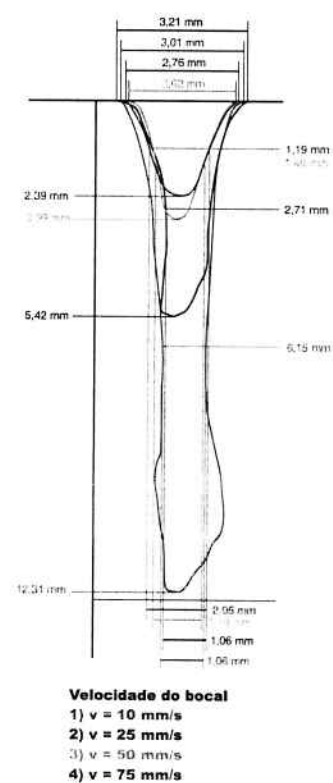


Figura 28 — Corte transversal das ranhuras feitas com altura do bocal de 25 mm, velocidades variadas e pressão de 140 MPa.

### 4.1.3 Resultados dos ensaios preliminares

Na tabela 1 são apresentados os resultados obtidos da largura da ranhura no topo dos 24 ensaios, sendo 12 no granito e 12 no mármore.

Tabela 1 — Valores (em mm) da largura da ranhura à 70 MPa

<b>Granito</b>			
Altura do bocal (mm)	3	10	25
Velocidade 10 mm/s	1,33	1,51	4,17
Velocidade 25 mm/s	0,99	1,46	3,09
Velocidade 50 mm/s	0,87	1,07	2,34
Velocidade 75 mm/s	0,65	1,01	2,07
Média	0,96	1,26	2,92
<b>Mármore</b>			
Velocidade 10 mm/s	1,33	2,48	3,95
Velocidade 25 mm/s	1,64	2,17	4,00
Velocidade 50 mm/s	1,27	1,73	3,05
Velocidade 75 mm/s	1,51	1,89	2,33
Média	1,44	2,07	3,33

Na tabela 2 são apresentados os resultados obtidos da profundidade da ranhura no topo nos 24 ensaios, sendo 12 no granito e 12 no mármore.

Tabela 2 — Valores obtidos (em mm) profundidade da ranhura à 70 MPa

<b>Granito</b>			
Altura do bocal (mm)	3	10	25
Velocidade 10 mm/s	4,67	<b>3,95</b>	4,28
Velocidade 25 mm/s	2,20	1,85	1,62
Velocidade 50 mm/s	1,03	0,90	0,84
Velocidade 75 mm/s	0,68	<b>0,72</b>	0,58
<b>Mármore</b>			
Velocidade 10 mm/s	10,36	8,44	6,93
Velocidade 25 mm/s	4,82	4,15	2,87
Velocidade 50 mm/s	2,65	2,02	1,65
Velocidade 75 mm/s	1,85	1,46	1,20

Destacamos na Tabela 2, em negrito, dois valores que deveriam na teoria dar um valor maior do que aquele dado. Isto ocorreu devido a composição mineralógica do granito. O mesmo ocorre mais adiante na Tabela 4.

A seguir são mostradas as figuras com a comparação feita nas tabelas anteriores.

As Tabelas 3 e 4 mostram os resultados obtidos para a largura e a profundidade da ranhura, respectivamente, nos testes com pressão de 140 MPa.

Tabela 3 — Valores obtidos (em mm) da largura da ranhura à 140 MPa.

<b>Granito</b>			
Altura do bocal (mm)	3	10	25
Velocidade 10 mm/s	2,45	2,42	3,96
Velocidade 25 mm/s	1,73	2,22	3,10
Velocidade 50 mm/s	1,53	1,86	3,01
Velocidade 75 mm/s	1,41	1,49	2,76
Média	1,78	1,99	3,20
<b>Mármore</b>			
Velocidade 10 mm/s	1,35	2,26	3,01
Velocidade 25 mm/s	1,35	2,60	3,21
Velocidade 50 mm/s	1,35	2,72	2,76
Velocidade 75 mm/s	1,35	2,45	2,62
Média	1,35	2,50	2,90

Tabela 4 — Valores (em mm) da profundidade da ranhura à 140 MPa.

<b>Granito</b>			
Altura do bocal (mm)	3	10	25
Velocidade 10 mm/s	12,83	11,67	9,47
Velocidade 25 mm/s	7,23	<b>3,86</b>	4,28
Velocidade 50 mm/s	3,37	<b>3,46</b>	2,38
Velocidade 75 mm/s	2,84	2,00	1,79
<b>Mármore</b>			
Velocidade 10 mm/s	17,90	14,36	12,31
Velocidade 25 mm/s	9,09	6,98	5,42
Velocidade 50 mm/s	5,09	4,10	2,99
Velocidade 75 mm/s	3,00	3,26	2,39

## 4.2 Ensaios posteriores

A seguir apresentaremos a segunda etapa de ensaios de ranhuras múltiplas. Tanto para o granito como para o mármore, os ensaios foram realizados com uma altura do bocal de 3 mm, pressão de 70 MPa, utilizando granada de 80# como abrasivo.

### 4.2.1 Granito Vermelho Capão Bonito

Na figura 29 são mostrados os desenhos executados no software da máquina de jato d'água. Foi utilizada uma placa de granito Vermelho Capão Bonito de 400 x 400 mm. Ela foi dividida em 4 partes, e em cada uma delas foi utilizada uma velocidade diferente: na primeira parte foi utilizada a velocidade de 10 mm/s; na segunda, 25 mm/s; na terceira, 50 mm/s; na quarta, 75 mm/s. As linhas rosas indicam onde a máquina fez a gravação; as linhas pretas são onde o bocal apenas se deslocou; as linhas azuis indicam o tamanho dos desenhos e, finalmente, as linhas marrons indicam a divisão das 4 partes.

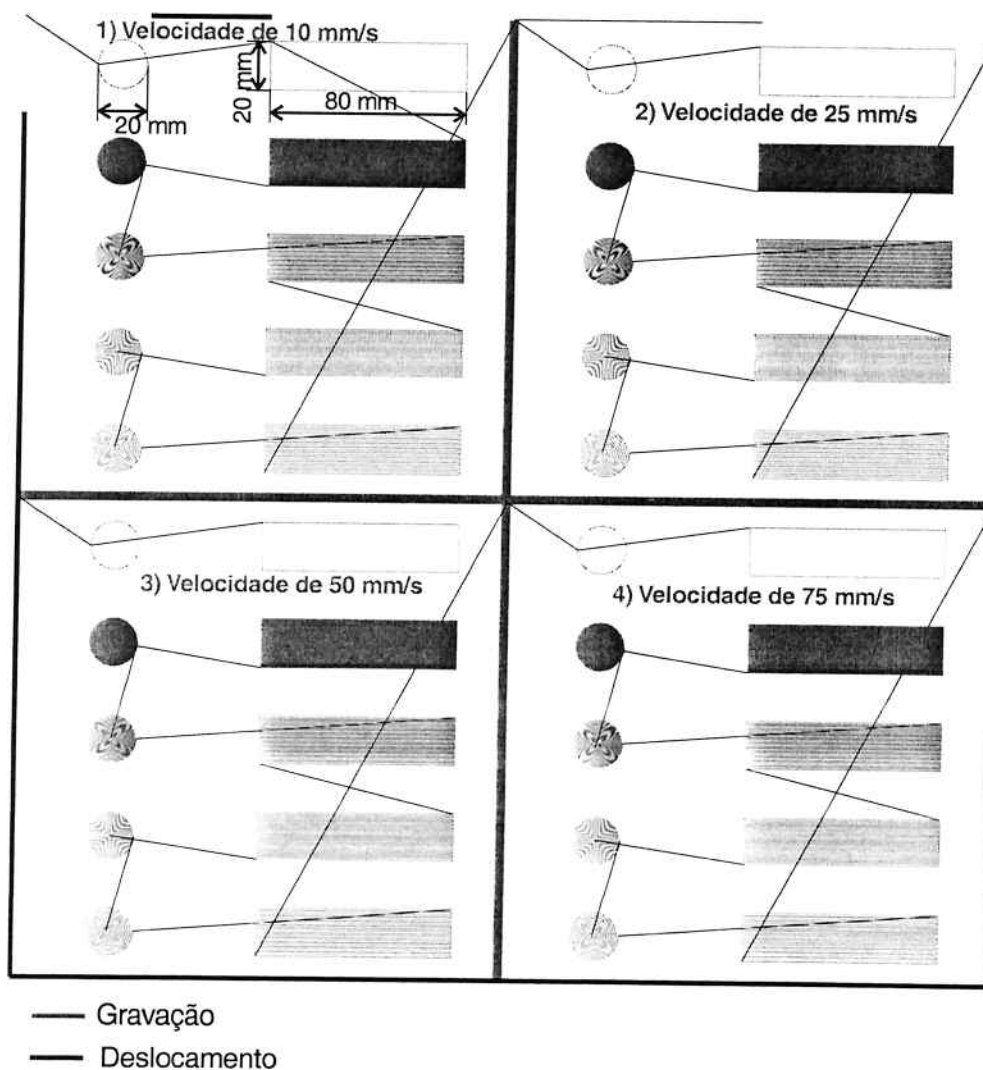


Figura 29 — Desenho feito no AutoCAD da máquina de corte por jato de água.

Na Figura 30 há um detalhamento da gravação feita em uma placa de granito. Esta operação foi realizada 4 vezes com diferentes velocidades de translação do bocal. Os números indicam a trajetória feita pela máquina, as linhas rosas indicam a gravação feita pela máquina. O bocal se desloca pelo segmento de reta número 1, chegando ao número 2, onde realiza uma volta completa de gravação no círculo, saindo do mesmo ponto onde começou a gravação e, seguindo pelo número 3, começa uma nova gravação no número 4, onde também faz um volta completa e pára de gravar no mesmo ponto onde começou e, assim, segue para o número 5, o qual é apenas um deslocamento do bocal. Finalmente, inicia uma nova gravação no número 6, onde começa um vaivém com um espaçamento de 0,25 mm. O número 7 é apenas um deslocamento da máquina até o número 8, onde é feita uma gravação em um círculo, começando no centro e caminhando em uma espiral com espaçamento de 0,25 mm. O número 9 é apenas um deslocamento do bocal. A partir do número 10, todo o ciclo se repete, com espaçamentos das linhas paralelas e das espirais diferentes, como podemos ver melhor detalhado nas figuras 31 e 32.

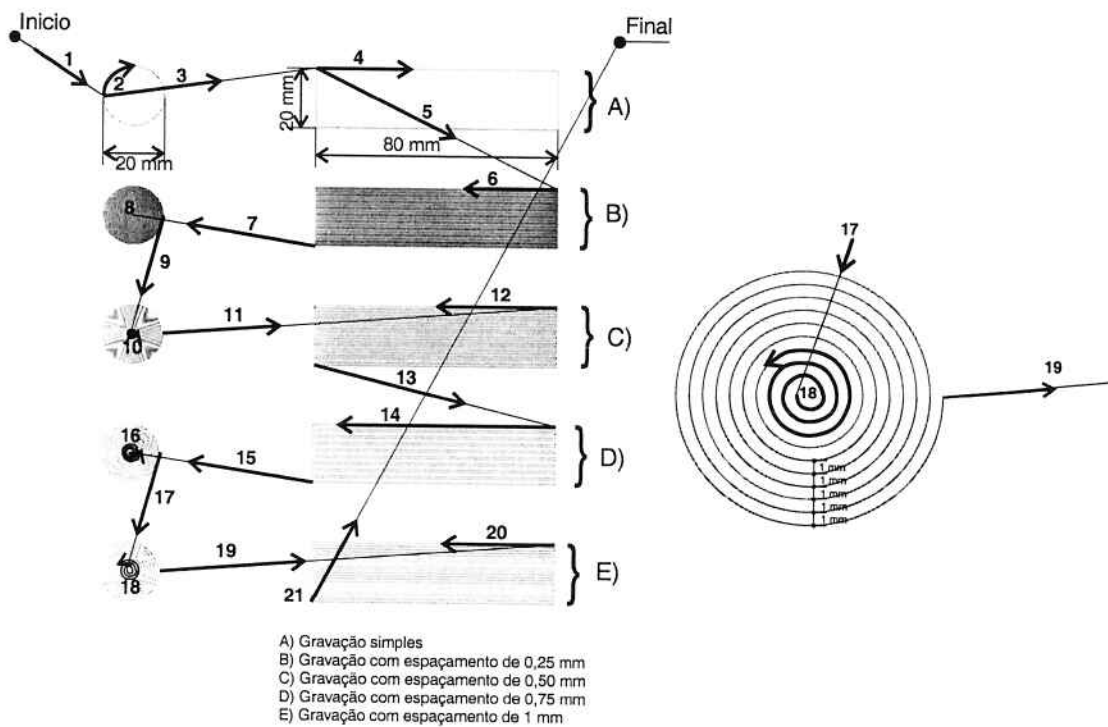


Figura 30 — Detalhe do desenho feito no AutoCAD da máquina de corte por jato de água.

Figura 31 — Detalhe da parte E da figura 46, que corresponde ao espaçamento de 1 mm.

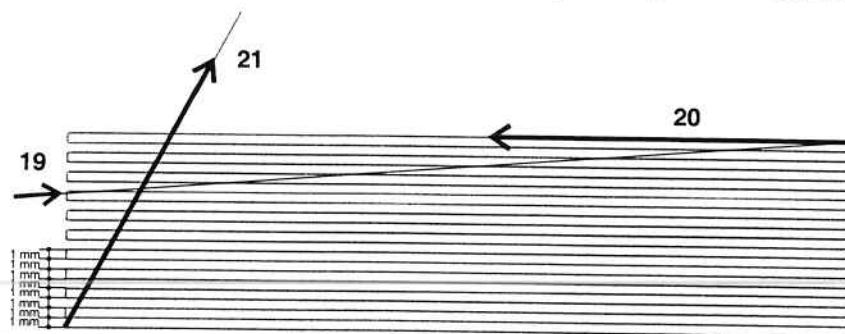


Figura 32 — Detalhe da parte E da figura 30, que corresponde ao espaçamento de 1 mm.

A figura 33 mostra os ensaios executados com velocidade de 10 mm/s, onde foram consumidos 8,9 kg de granada. O tempo de execução foi de 30 minutos, e a distância total percorrida pelo bocal foi de 16,6 m. Na figura 34, os ensaios foram executados com velocidade de 25 mm/s. Foram consumidos 3,4 kg de granada. O tempo de execução foi de 12,65 minutos, e o bocal se deslocou 16,6 m.

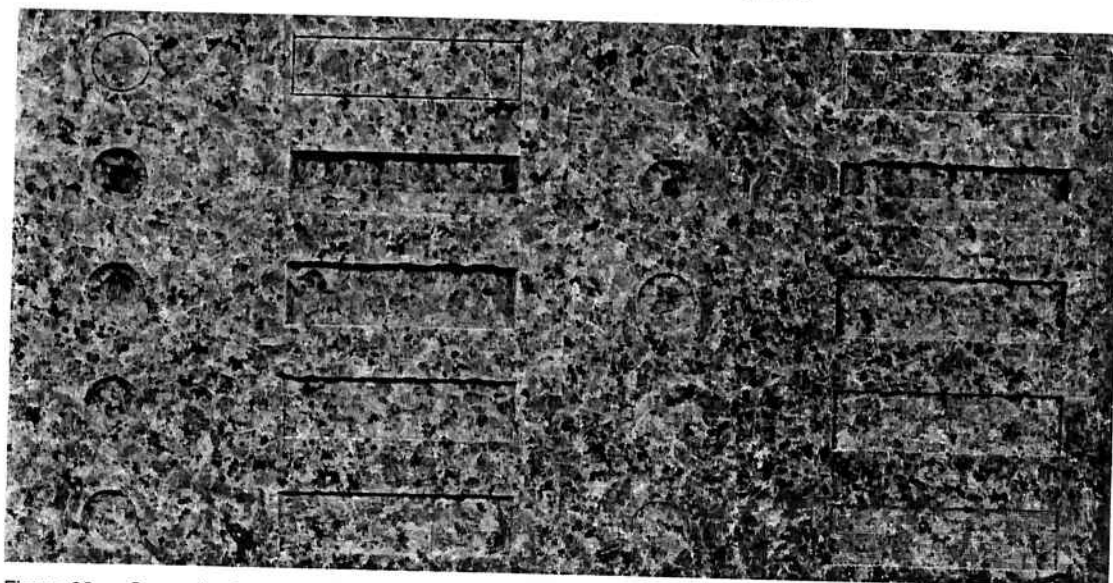


Figura 33 — Gravação de ranhuras múltiplas com 10 mm/s

Figura 34 — Gravação de ranhuras múltiplas com 25 mm/s

Na figura 35, os ensaios foram executados com uma velocidade de 50 mm/s. Foram consumidos 1,8 kg de granada. O tempo de execução foi de 7,44 minutos. Novamente, o bocal se deslocou 16,6 m. Na figura 36, os ensaios foram feitos com uma velocidade de 75 mm/s. Foram consumidos 1,4 kg de granada. O tempo de execução foi de 6,54 minutos. O bocal percorreu 17,4 m. Podemos notar um aumento de 0,8 m no percurso, devido às linhas marrons indicadas na figura 29. Cada lado mede 0,4 m.

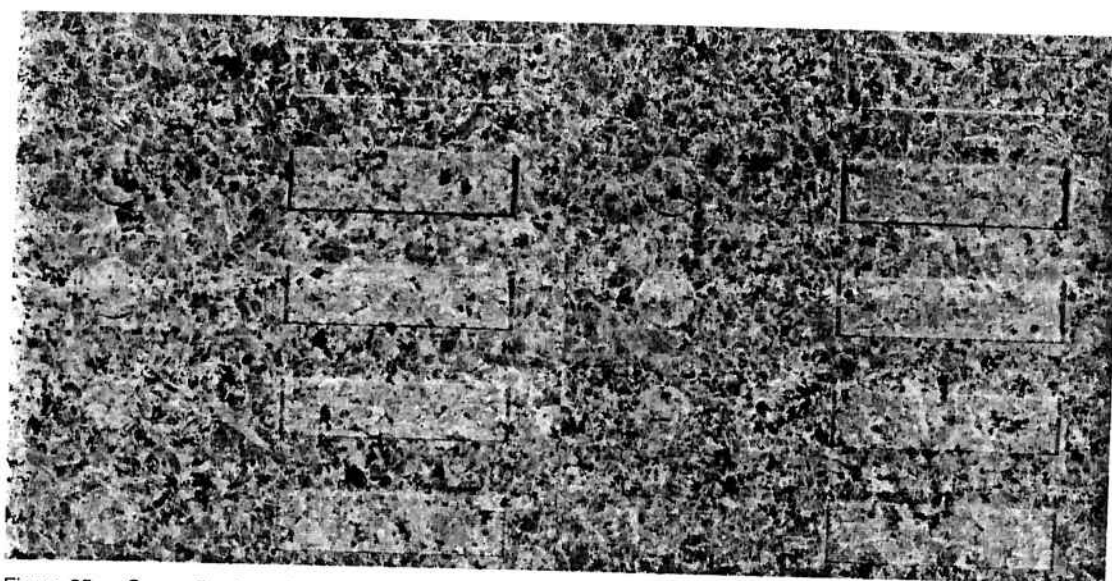


Figura 35 — Gravação de ranhuras múltiplas com 50 mm/s

Figura 36 — Gravação de ranhuras múltiplas com 75 mm/s.

Estes ensaios ajudaram a definir alguns parâmetros que foram usados na gravação final do granito:

1) Descartou-se por completo um espaçamento muito pequeno (da ordem de 0,25 mm e 0,50 mm) com velocidades muito baixas (10 mm/s e 25 mm/s), pois estes formam na placa de granito um degrau na parte gravada, como mostrado a seguir nas figuras 37 e 38.

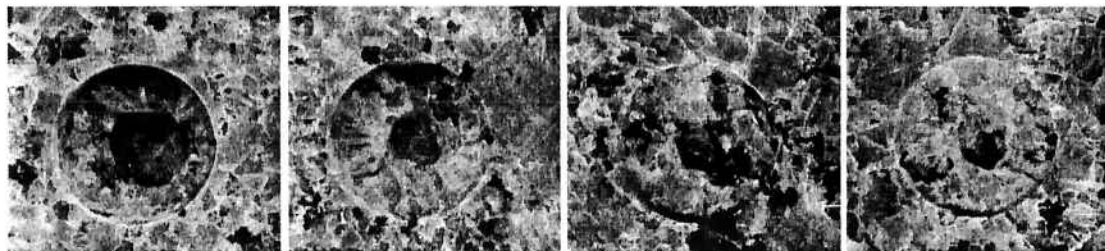


Figura 37 — Detalhe da gravação de ranhuras múltiplas feitas com uma velocidade de 10 mm/s e um espaçamento na primeira gravação de 0,25 mm e na segunda de 0,5 mm.



Figura 38 — Detalhe da gravação de ranhuras múltiplas feitas com uma velocidade de 25 mm/s e um espaçamento de gravação de 0,25 mm.

2) Percebeu-se que os círculos feitos pelo método da espiral formam um orifício central, principalmente nos espaçamentos de 0,25 e 0,50 mm, em todas as velocidades sem exceção. Decidiu-se executar os círculos pelo método vaivém.



1) 2) 3) 4)  
Figura 39 — Detalhamento da gravação de ranhuras múltiplas com espaçamento de 0,25 mm, onde se nota o orifício formado pela gravação. 1) velocidade de 10 mm/s; 2) velocidade de 25 mm/s; 3) velocidade de 50 mm/s; 4) velocidade de 75 mm/s;

#### 4.2.2 Mármore Branco Campos do Jordão

Na figura 40 são mostrados os desenhos feitos no software da máquina. Foi utilizada uma placa de mármore Branco Campos do Jordão de 400 x 300 mm. Ela foi dividida em três partes, e em cada uma delas foi utilizada uma velocidade diferente. Na primeira parte foi utilizada a velocidade de 25 mm/s, na segunda, 50 mm/s e na terceira 75 mm/s. Descartou-se a velocidade de 10 mm/s, a qual, por ser de alta energia, acabaria por cortar a placa de mármore. As linhas rosas indicam onde a máquina fez a gravação. As linhas pretas são onde o bocal apenas se deslocou. As linhas azuis indicam o tamanho dos desenhos. As linhas marrons indicam a divisão das três partes.

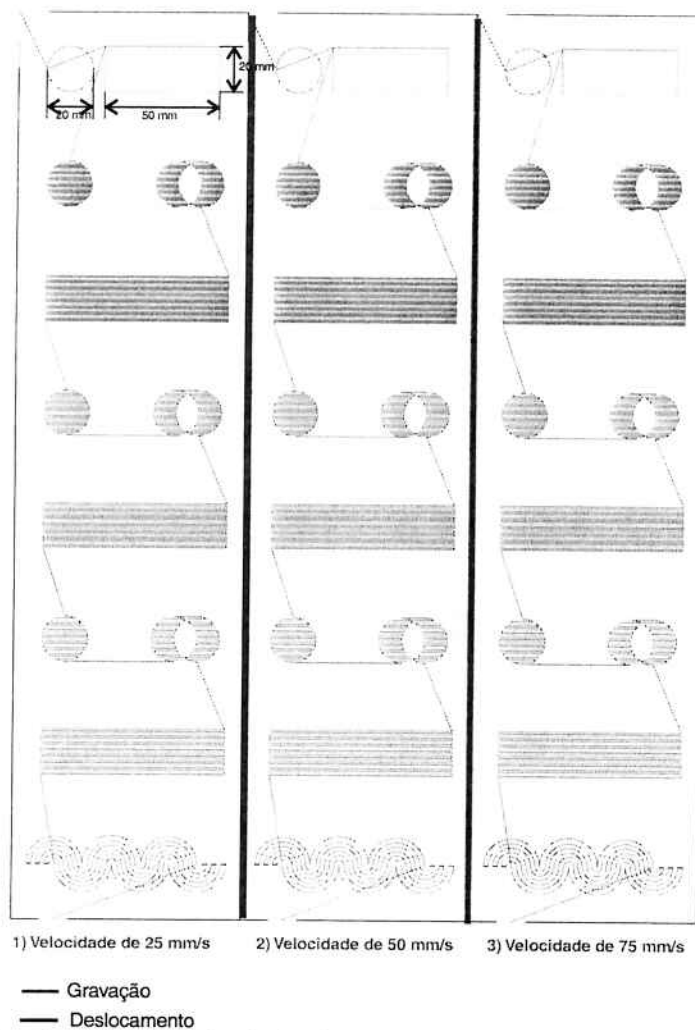


Figura 40 — Desenho feito no AutoCAD da máquina de corte por jato de água.

Na Figura 41 há um detalhamento da gravação feita em uma placa de mármore. Esta operação foi realizada três vezes com diferentes velocidades de translação do bocal. Os números indicam a trajetória feita pela máquina, como explicado anteriormente. As linhas rosas indicam a gravação feita pela máquina. O bocal segue pelo segmento número 1 atingindo o número 2, onde realiza uma volta completa de gravação no círculo, saindo no mesmo ponto em que começou a gravação. Seguindo pelo número 3, começa uma nova gravação no número 4, onde também faz um volta completa e pára de gravar no mesmo ponto que começou. Segue, assim, para o número 5, que é apenas um deslocamento do bocal. Inicia, então, uma nova gravação na linha rosa. No número 6, começa um vaivém com um espaçamento de 0,5 mm, terminando a gravação no número 7, que é apenas um deslocamento do bocal até o número 8. Neste ponto é feita uma gravação pelo método vaivém com um espaçamento de 0,5 mm até o segmento 9, onde há um pequeno deslocamento até o número 10. Neste, recomeça um vaivém com espaçamento de 0,5 mm. O número 11 é um deslocamento do bocal até o número 12, onde se começa outra gravação com o mesmo espaçamento anterior de 0,5 mm. Do número 13 até o número 15, tudo se repete (de acordo com os passos do número 6 até o número 12), com exceção do espaçamento, que é de 0,75 mm. O mesmo ocorre do número 16 ao número 18, onde o espaçamento agora é de 1 mm. No número 19 são desenhadas várias curvas com um espaçamento de 2 mm.

Na figura 42, podemos ver em detalhe os segmentos 16, 17, 18, 19 e 20, correspondentes ao espaçamento de 1 mm nas letras F e G, e um espaçamento de 2 mm na letra H.

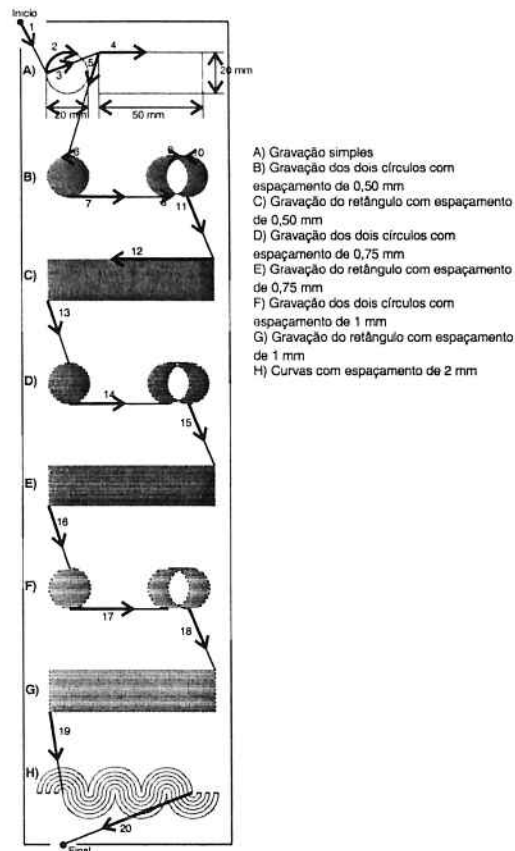


Figura 41 — Detalhe do desenho feito no AutoCAD da máquina de corte por jato de água.

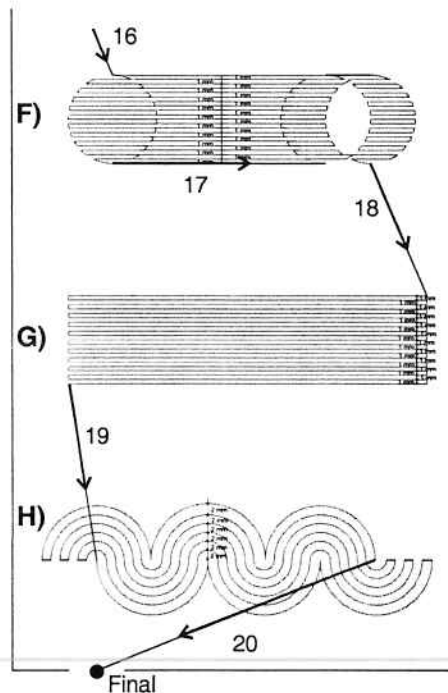


Figura 42 — Detalhe da figura 41, que corresponde à parte F e G com espaçamento de 1 mm, e H com espaçamento de 2 mm.

A figura 43 mostra os ensaios feitos com velocidade 25 mm/s, onde foram consumidos 2,5 kg de granada. O tempo de execução foi de 10,9 minutos. O bocal percorreu 11,5 m. A figura 44 mostra os ensaios feitos com velocidade 50 mm/s, onde foram consumidos 1,4 kg de granada. O tempo de execução foi de 6,72 minutos. O bocal percorreu 11,5 m. Na figura 45, os ensaios foram feitos com uma velocidade de 75 mm/s. Foram consumidos 1,2 kg de granada. O tempo de execução foi de 6,35 minutos. O bocal percorreu 12,3 m. Podemos notar um aumento na gravação da ordem de 0,8 m. São as linhas marrons indicadas no figura 40. Cada linha marrom mede 0,4 m.

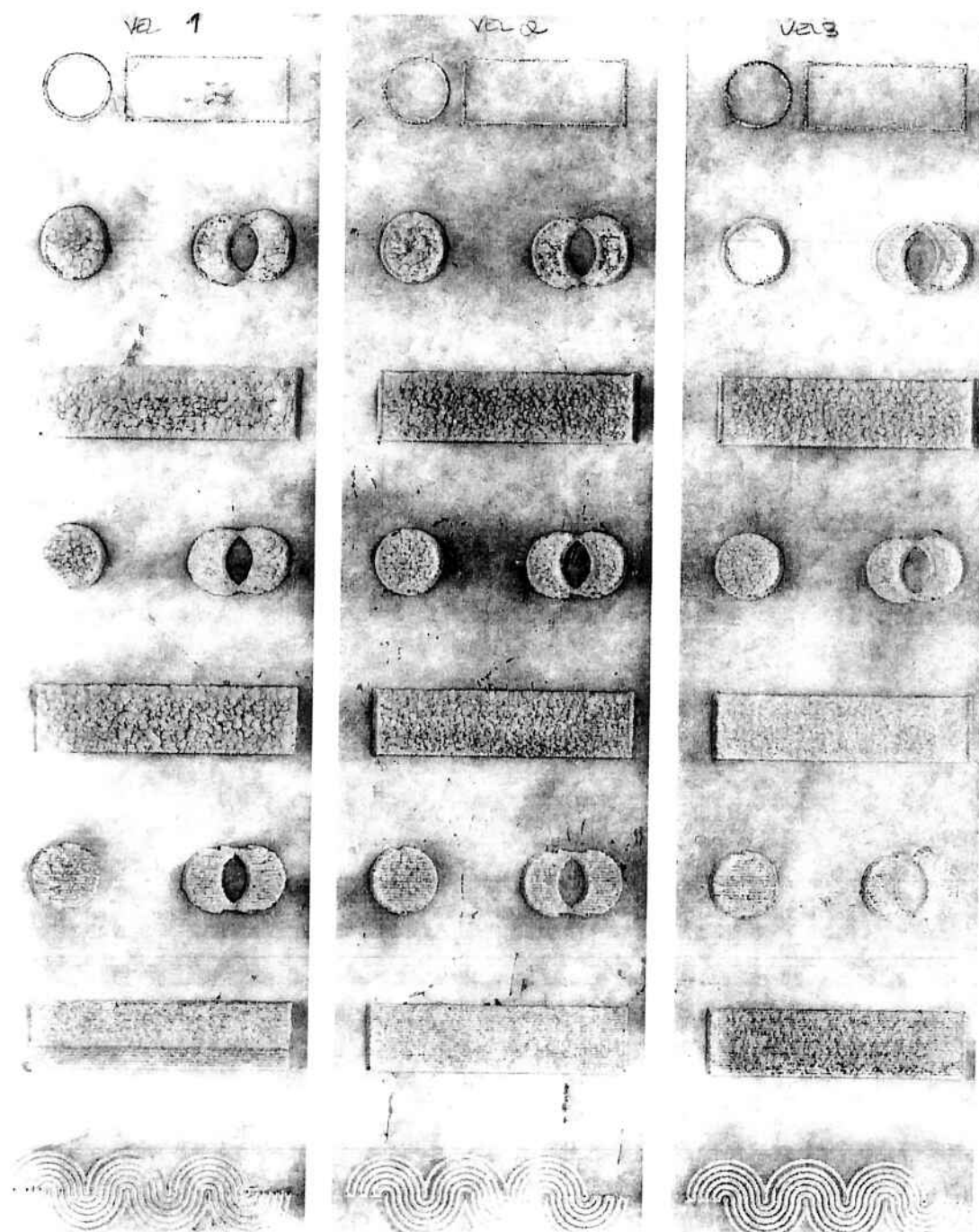


Figura 43 — Gravação de ranhuras múltiplas com 25 mm/s

Figura 44 — Gravação de ranhuras múltiplas com 50 mm/s

Figura 45 — Gravação de ranhuras múltiplas com 75 mm/s.

### 4.3 Ensaio da gravação final

Para a execução da figura 46, foram necessárias três gravações e um corte. A primeira gravação, feita com velocidade de 10 mm/s, está indica com a cor azul. A segunda foi realizada com velocidade de 50 mm/s e está indica na cor verde. A terceira e última foi realizada a uma velocidade de 75 mm/s e está indica na cor rosa. O corte foi feito indicando a maquinabilidade do granito (322) e sua espessura (20 mm). Todos as gravações e o corte foram realizados com pressão de 140 MPa e altura do bocal de 3 mm. Foram consumidos 14,4 kg granada (120#). O percurso total do bocal foi de 80 m.

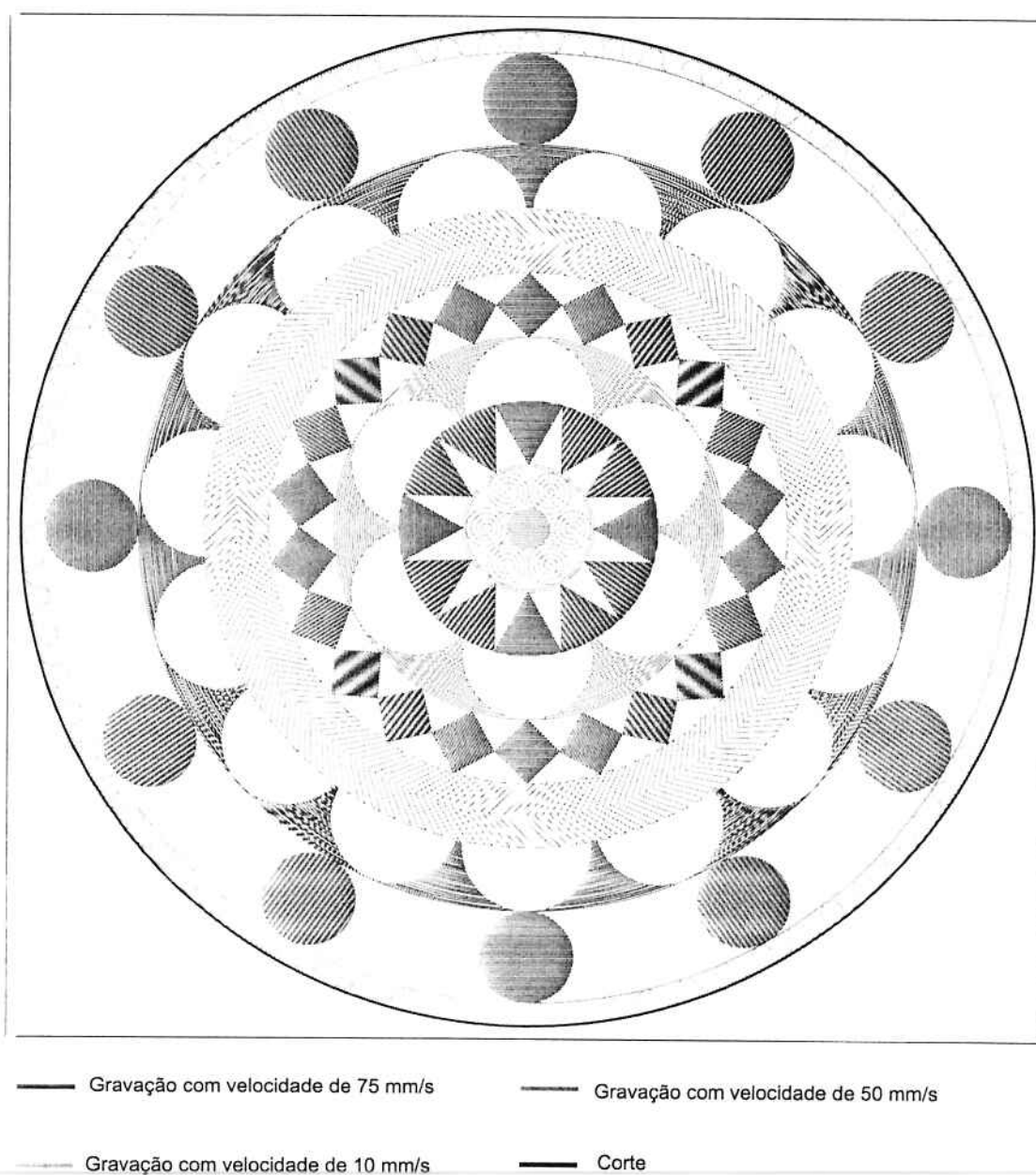


Figura 46 — Desenho do baixo relevo gravado numa placa de granito Vermelho Capão Bonito

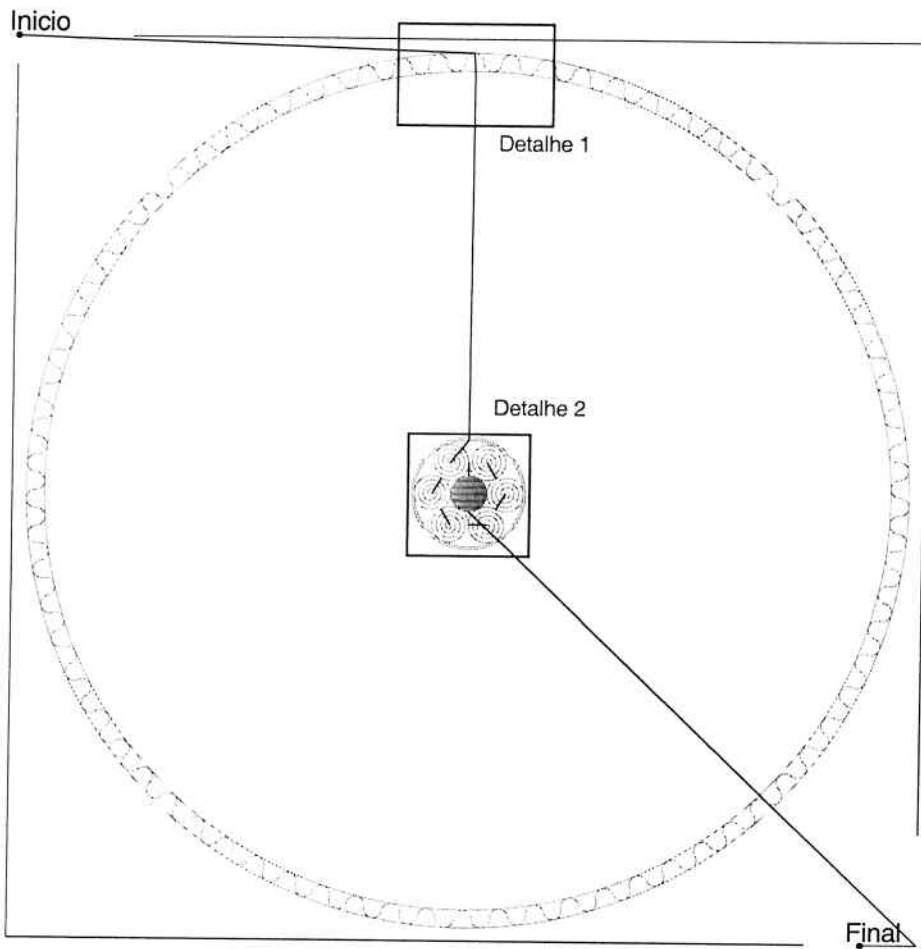


Figura 47 — Desenho do baixo relevo com velocidade de 10 mm/s.

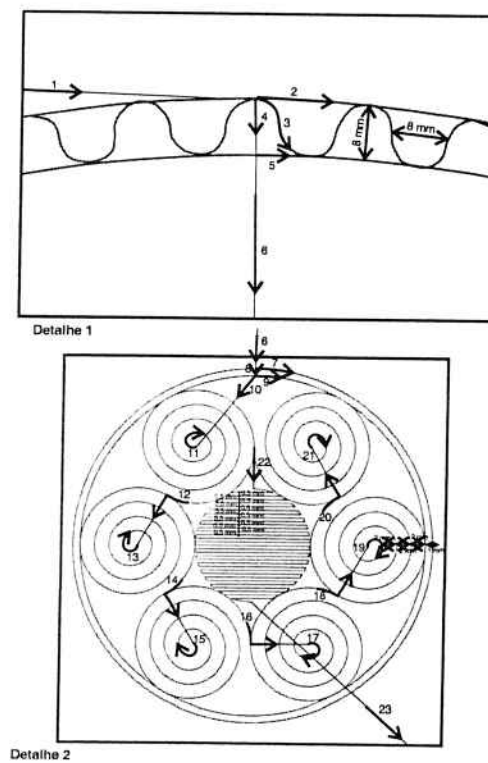


Figura 48 — Detalhe da figura 47, desenho do baixo relevo com velocidade de 10 mm/s.

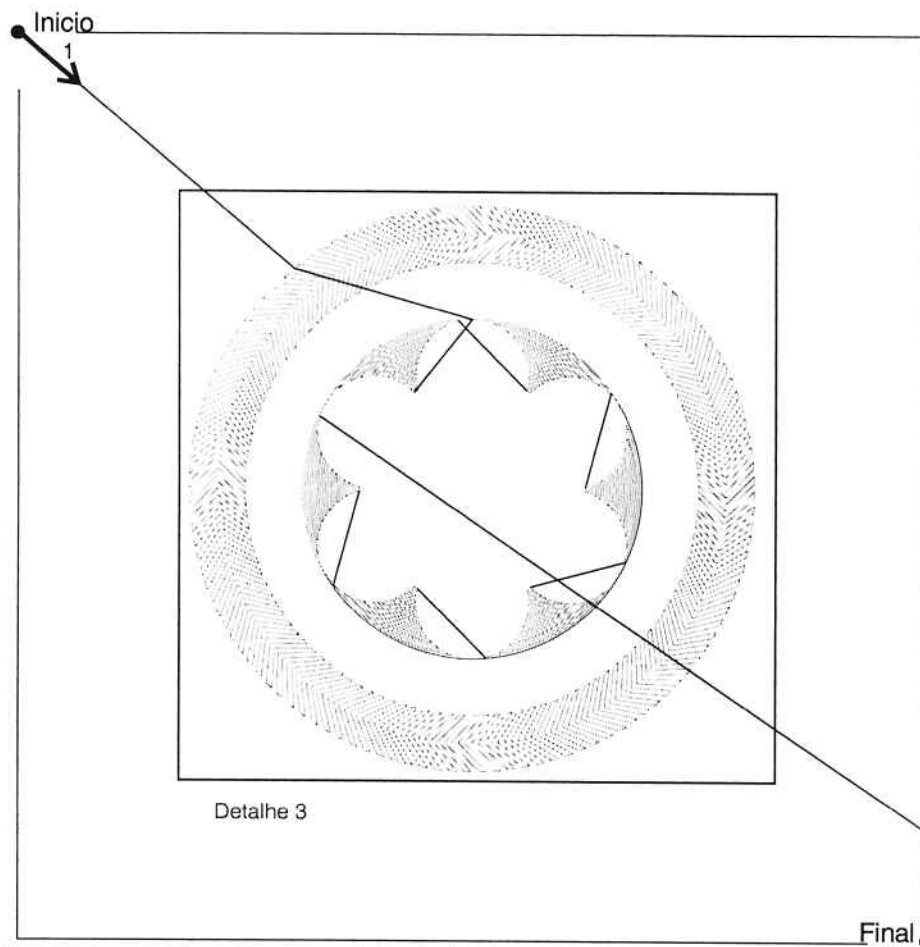
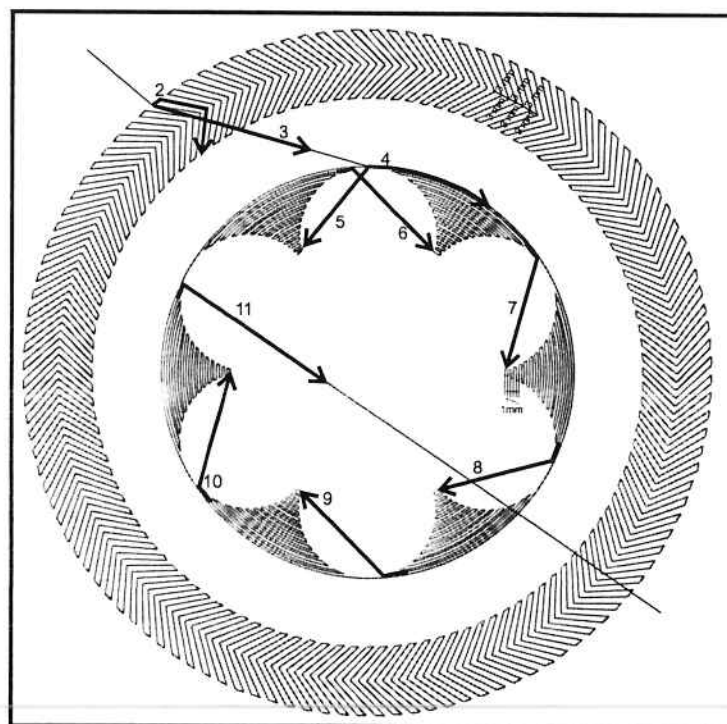


Figura 49 — Desenho do baixo relevo com velocidade de 50 mm/s.



Detalhe 3

Figura 50 — Detalhe 3 da figura 49, do desenho do baixo relevo com velocidade de 50 mm/s.

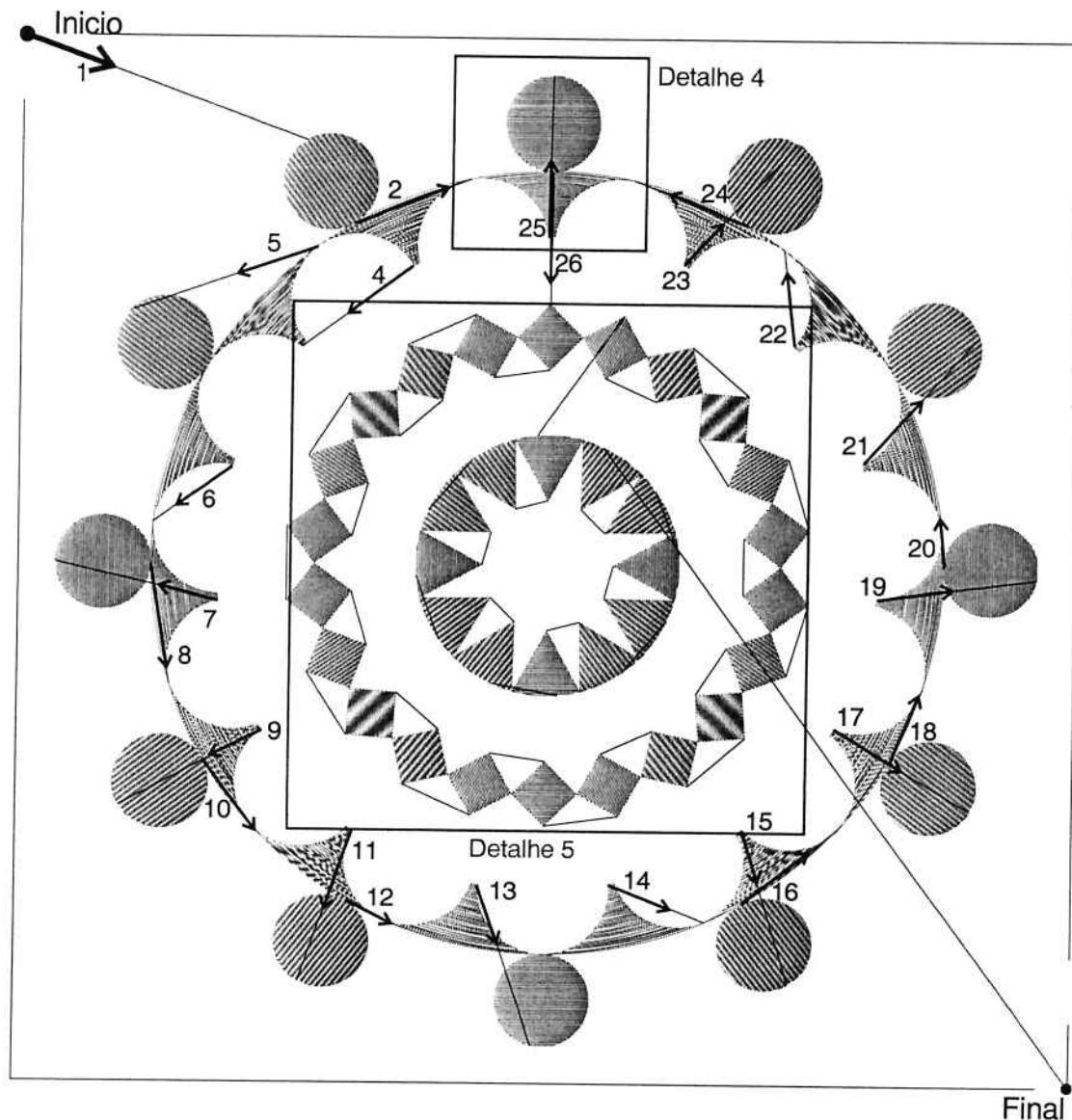
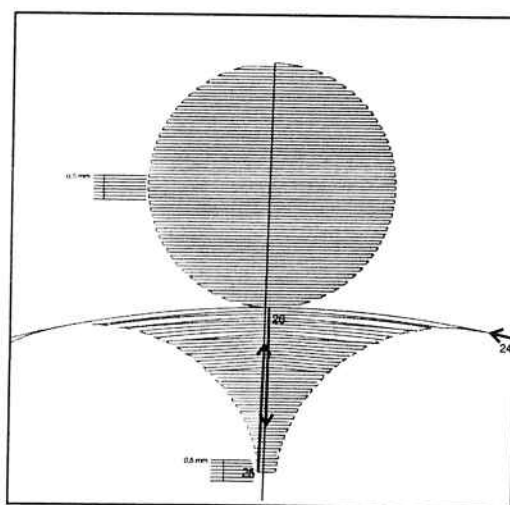
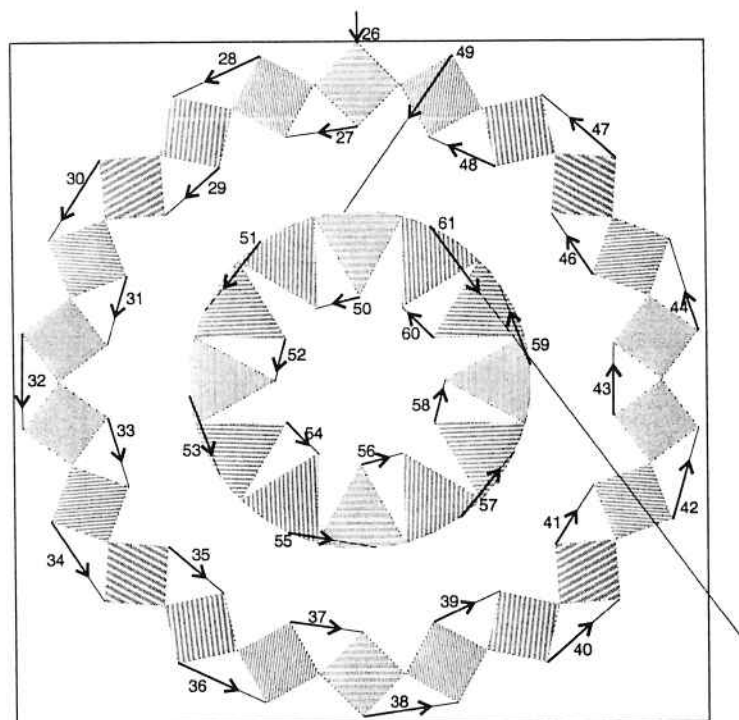


Figura 51 — Desenho do baixo relevo com velocidade de 75 mm/s.



Detalhe 4

Figura 52 — Detalhe 4 da figura 51, desenho do baixo relevo com velocidade de 75 mm/s.



Detalhe 5

Figura 53 — Detalhe 5 da figura 51, o desenho do baixo relevo com velocidade de 75 mm/s.

Finalmente, a experiência adquirida foi usada para a gravação de um baixo relevo sobre o granito Vermelho Capão Bonito, ilustrado na Figura 54.

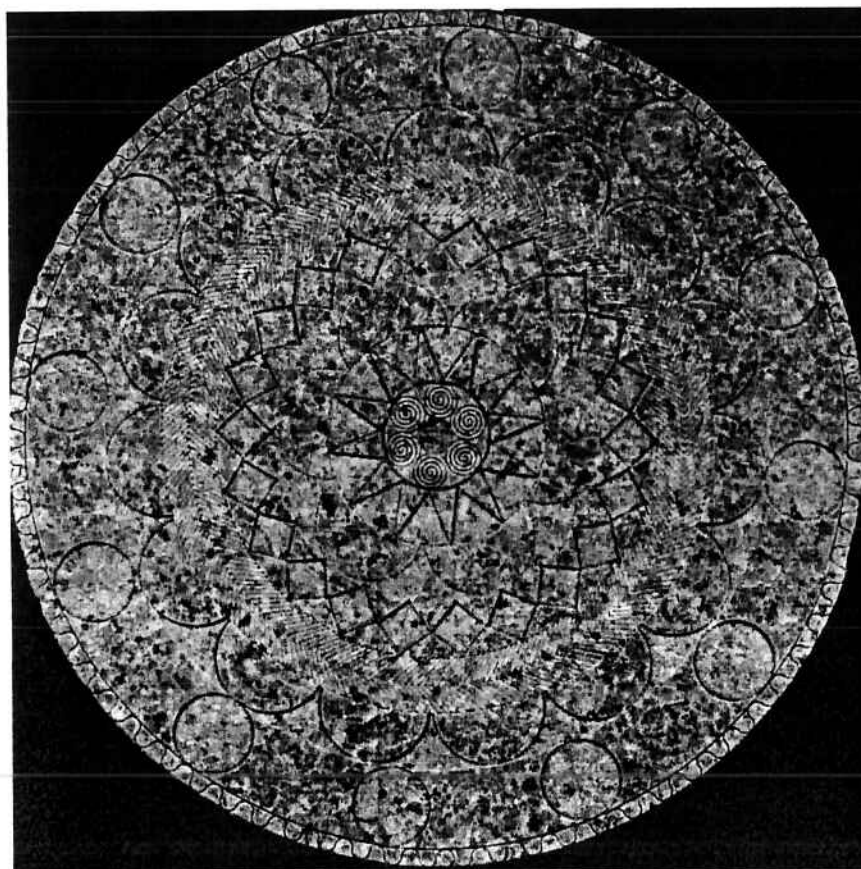


Figura 54 — Baixo relevo do granito Vermelho Capão Bonito.

#### 4.4 Problema durante a gravação



Figura 55 — Lasca no Granito Vermelho Capão Bonito.

Durante a realização dos ensaios constatou-se o aparecimento de lasca na superfície do material, no início da gravação de algumas placas, como pode ser observado na figura 55.

A solução encontrada para evitar o aparecimento destas lascas foi colar uma camada de folha adesiva sobre a superfície da placa.

### 5. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

No presente item é feita uma análise mais pormenorizada dos dados empíricos obtidos na investigação e de aspecto crítico.

A geometria de uma ranhura gerada por jato abrasivo é normalmente caracterizada por três aspectos: largura da ranhura no topo ( $b_c$ ) medida em mm, sua profundidade ( $k_c$ ) em mm e seu perfil transversal.

Laurinat et al. (1993) propuseram um modelo para gravar com os jatos d'água abrasivos. Os perfis da ranhura produzidos têm alguma forma regular, que é uma função de co-seno simples, é apropriada à sua descrição. Para gravar há uma relação da largura e uma profundidade da ranhura resultante. Usando um sistema de coordenadas cartesianas com a origem no plano de simetria do perfil da ranhura na superfície não afetada do material alvo a profundidade da ranhura ( $k_c$ ) é duas vezes sua amplitude ( $\phi$ ):

$$k_c = 2 \times \phi \quad [1]$$

e o comprimento de onda ( $\lambda$ ) é uma relação entre  $2\pi$  e a largura da ranhura ( $b_c$ ):

$$\lambda = \frac{2\pi}{b_c} \quad -\frac{b_c}{2} < x < \frac{b_c}{2} \quad [2]$$

O teste realizado, por estes autores revela que há uma relação linear entre a largura da ranhura e a altura do bocal ( $s$ ), que pode ser expressa pela seguinte equação:

$$b_c = b_1 \times s + b_0 \quad [3]$$

onde estão  $b_c$  é a largura da ranhura,  $b_1$  e  $b_0$  coeficientes que podem ser encontrados pela análise da regressão de experiências práticas para dadas alturas de bocal.

A largura da ranhura não mostra nenhuma dependência significativa da velocidade transversal. Por outro lado, a amplitude ( $\phi$ ) mostra a uma relação inversamente proporcional em relação a velocidade transversal do bocal ( $v$ ) e a altura do bocal ( $s$ ). A equação resultante para a amplitude calculada ( $\phi_{cal}$ ) é:

$$\phi_{cal} = \frac{R_E}{v(c_1 \times s + c_2)} \quad [4]$$

$R_E$  é a resistência à erosão do material alvo e os coeficientes  $c_1$  e  $c_2$  relativos ao mesmo material gravado.

### 5.1 Largura da ranhura ( $b_c$ )

A largura da ranhura ( $b_c$ ) aberta pelo jato abrasivo, cujos dados empíricos avaliados nas experiências da Tabela 1 pode ser apresentada de várias formas.

Usando-se o modelo acima resumido (Laurinat et al., 1993) a largura da ranhura ( $b_c$ ) encontrada nas análises de regressão para o granito vermelho de Capão Bonito é a seguinte:

$$b_c = 0,0924 \times s + 0,5435 \quad [5]$$

com resíduos  $R^2 = 0,7198$ .

No caso do mármore branco de Campos do Jordão a expressão resultante é a seguinte:

$$b_c = 0,0859 \times s + 1,1917 \quad [5]$$

com resíduos  $R^2 = 0,7621$

Na figura 56 os dados da tabela 1 referente ao granito mostram esta regressão, enquanto a Figura 57 mostra a equação de regressão do mármore.

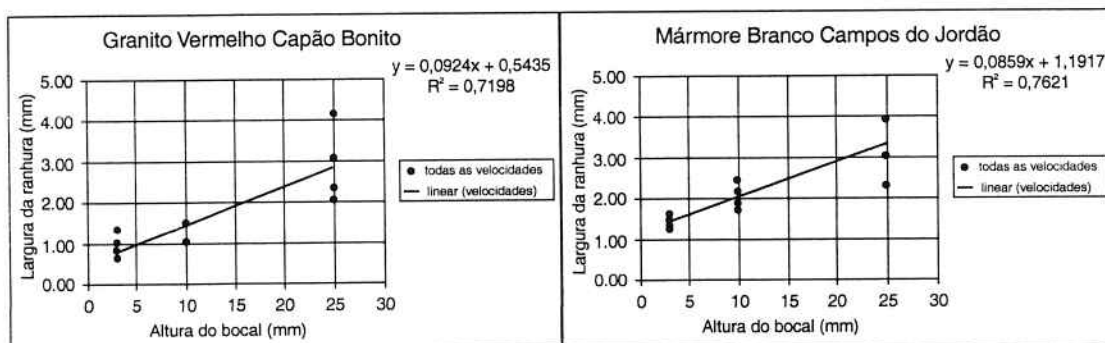


Figura 56 — Equação da regressão no Granito Vermelho Capão Bonito (70 MPa).

Figura 57 — Equação da regressão no Mármore Branco Campos do Jordão (70 MPa).

## 5.2 Profundidade da ranhura ( $k_c$ )

A profundidade da ranhura encontrada nos dois exemplos estudados foi colocada num gráfico com todos os valores determinados experimentalmente em função da velocidade de deslocamento do bocal. Disto resultaram os dois gráficos da Figuras 58 e 59, que contém as curvas de regressão que podem ser admitidas.

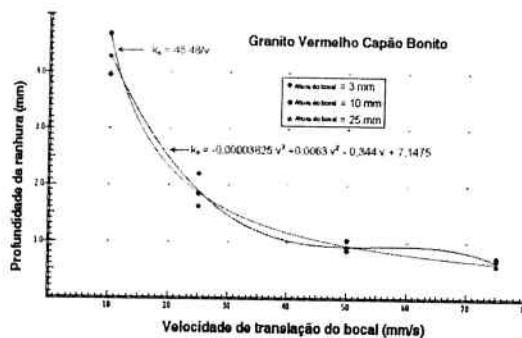


Figura 74 — Equação de regressão da profundidade da ranhura (pressão de 70 MPa)

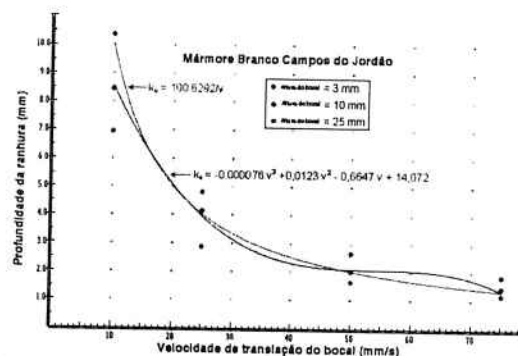


Figura 75 — Equação de regressão da profundidade da ranhura no (pressão de 70 MPa)

Observa-se que multiplicando a profundidade pela velocidade de translação do bocal chega-se a uma certa constante. Isto indica que a profundidade da ranhura pode ser prevista quando esta constante é dividida pela velocidade do bocal.

As constantes encontradas foi a seguinte: granito = 46,48 e no mármore = 100,9262. Portanto, uma previsão da profundidade da ranhura para o granito seria:

$$k_c = \frac{46,48}{v} \quad [6]$$

No caso do mármore a equação é a seguinte:

$$k_c = \frac{100,9262}{v} \quad [7]$$

Uma análise mais apurada dos dados mostra que a regressão feita por polinômio gera uma equação do terceiro grau em relação a velocidade na faixa de 10 a 75 mm/s usadas para gravar as rochas e as respectivas equações são as seguintes: Para o granito temos:

$$k_c = -3,83 \times 10^6 v^3 - 0,344 \times v + 7,148 \quad [8]$$

Para o mármore temos:

$$k_c = -7,63 \times 10^6 v^3 - 0,0123 \times v^2 - 0,6647 \times v + 14,072 \quad [9]$$

## 5.3 Perfil da Ranhura

O perfil da ranhura pode ser definido como a seção transversal da área aberta pela energia cinética contida na lama abrasiva do jato d'água. Tem uma dimensão que é função da profundidade e da largura do sulco. Depois das pesquisas de gravação das

rochas, e com cuidadoso exame dos perfis resultantes, que são a consequência da erosão promovida pelos jatos d'água abrasivos designados pela sigla AWJ, dois casos ideais extremos podem ser anotados, uma da energia elevada e outro da energia baixa.

No primeiro exemplo ideal, da energia elevada, a velocidade e a altura do bocal são baixas. Neste caso, a energia parece ser distribuída uniformemente ao longo de todo o feixe d'água incidente, tendo por resultado a escavação de uma ranhura que tem a forma da letra U. Neste caso da energia elevada, o jato trabalha como um grande formão plano para abrir a ranhura.

O segundo exemplo, da energia baixa é caracterizado por de distribuição da energia cinética do jato abrasivo com mais intensidade na parte central que em suas periferias. A altura do bocal e a velocidade transversal do bocal são mais elevadas. Neste caso o perfil resultante da ranhura terá a forma da letra V. O efeito resultante neste caso é aquele de uma ferramenta mais afiada atuante num ponto como uma cunha.

Na Figura 60 estão apresentados estes dois casos ideais. No caso ideal da energia elevada tem-se um perfil que tem a área da largura multiplicada pela profundidade da ranhura. Por outro lado, no exemplo da energia baixa a área do perfil é proporcional à metade do produto da largura pela profundidade da ranhura. Além disso, apresenta-se nesta figura, o modelo hoje usado da forma deste perfil que é a função de co-seno. Como pode ser visto, isto é quase equivalente ao exemplo da forma do perfil ideal da energia baixa.

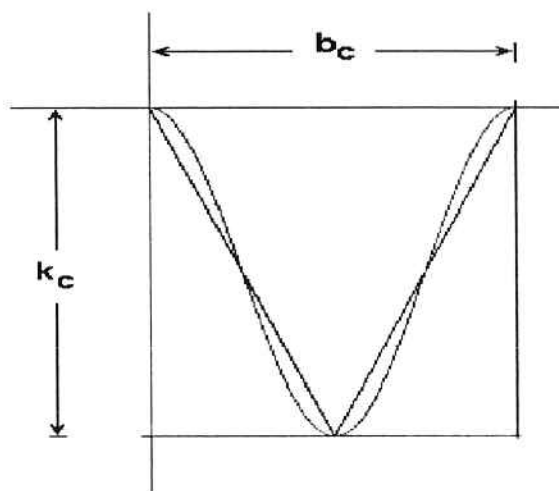


Figura 60 — O perfil da alta energia (retângulo), baixa energia (triângulo) e a função co-seno (modelo em uso).

## 5.4 Interpretação dos resultados

Na gravação de rochas, quando a altura do bocal e a velocidade de deslocamento do bocal são baixas, e a pressão da água é mais elevada, o perfil resultante gera no fundo da ranhura, um tubo circular de erosão para permitir o escape do fluido abrasivo de alta velocidade.

No exame cuidadoso do desenho destes perfis, nota-se que no granito, na menor altura do bocal (3 mm) e com velocidade de translação do bocal baixa (condições que geram um jato de alta energia), este perfil possui uma bolha ou intumescência na sua parte inferior, como que uma cavidade de perfil mais circular. Sua dimensão transversal é da ordem de grandeza da largura da ranhura, como podemos ver na figura 61.

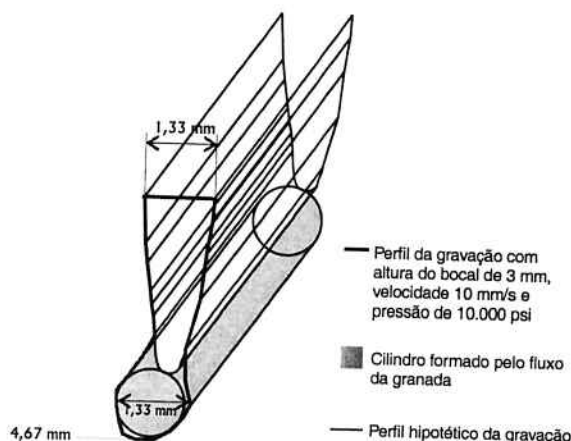


Figura 77 — Perfil com uma bolha na parte inferior do granito

Inicialmente, admitiu-se que este seria apenas um desvio eventual do comportamento deste perfil (de lei co-senoidal), conforme a literatura. Pois no granito ocorreu uma única vez na pressão de 70 MPa, com distância de afastamento de 3 mm e velocidade 10 mm/s. Na pressão de 140 MPa, ocorreu três vezes. Contudo, na rocha mais branda, o mármore, ocorreu a mesma irregularidade, tanto em velocidades baixas como médias, e com distâncias de afastamento grandes. Assim, no caso do mármore, a formação das bolhas foi verificada nas distâncias de afastamento de 3 mm e para velocidades de 10, 25 e 50 mm/s, além da velocidade de 10 mm/s com afastamento de 10 mm e 25 mm. Isso pode ser verificado nas tabelas a seguir.

Tabela 5 — Comparação da profundidade e da largura do granito Vermelho Capão Bonito

Altura do bocal	Pressão de 70 MPa		Pressão de 140 MPa	
	Profundidade / Largura	Resultado	Profundidade / Largura	Resultado
<i>Velocidade 10 mm/s</i>				
3 mm	4,67 / 1,33	<b>3,51</b>	12,83 / 2,45	<b>5,23</b>
10 mm	3,95 / 1,51	<b>2,61</b>	11,67 / 2,42	<b>4,28</b>
25 mm	4,28 / 4,17	<b>1,02</b>	9,47 / 3,96	<b>2,39</b>
<i>Velocidade 25 mm/s</i>				
3 mm	2,20 / 0,99	<b>2,22</b>	7,23 / 1,73	<b>4,17</b>
10 mm	1,85 / 1,46	<b>1,26</b>	3,86 / 2,22	<b>1,73</b>
25 mm	1,62 / 3,09	<b>0,52</b>	4,28 / 3,10	<b>1,38</b>
<i>Velocidade 50 mm/s</i>				
3 mm	1,03 / 0,87	<b>1,18</b>	3,37 / 1,53	<b>2,20</b>
10 mm	0,9 / 1,07	<b>0,84</b>	3,46 / 1,86	<b>1,86</b>
25 mm	0,84 / 2,34	<b>0,35</b>	2,38 / 3,01	<b>0,79</b>
<i>Velocidade 75 mm/s</i>				
3 mm	0,68 / 0,65	<b>1,04</b>	2,84 / 1,41	<b>2,01</b>
10 mm	0,72 / 1,01	<b>0,71</b>	2,00 / 1,49	<b>1,34</b>
25 mm	0,58 / 2,07	<b>0,28</b>	1,79 / 2,76	<b>0,64</b>

Na tabela nota-se claramente que no caso do granito ocorre o seguinte:

a) Para a relação de profundidade / largura igual ou menor do que **2,61**, as ranhuras **não** formam o duto tubular de erosão abaixo do perfil.

b) Para relação de profundidade / largura igual ou maior que **3,51**, forma-se o duto tubular de escape do jato abrasivo abaixo do perfil.

Os números indicados em vermelho na tabela são onde ocorre o tubo circular na parte inferior da ranhura.

Podemos concluir, portanto, que no caso do granito Vermelho Capão Bonito, a relação profundidade/largura é um número na faixa de 2,61 a 3,51, abaixo do qual a área de desgaste do perfil segue o modelo proposto na literatura, sendo a área proporcional a aproximadamente metade do produto da largura pela altura.

No caso desta relação ser superior ao número da faixa, a área da seção não obedece esta lei, e o fator de multiplicação do produto da largura pela altura precisa ser multiplicado por um número maior do que  $\frac{1}{2}$ .

Resumindo, podemos dizer que dos 24 perfis de ranhura examinados e abertos pelo jato d'água abrasivo, 20 podem ser interpretados como sendo aproximado da função co-seno proposta na literatura. Quatro, porém, apresentam um alargamento ou bolha na parte inferior.

Tabela 6 — Comparação da profundidade e da largura do mármore Branco Campos do Jordão

Altura do bocal	Pressão de 10.000		Pressão de 20.000	
	Profundidade / Largura	Resultado	Profundidade / Largura	Resultado
<i>Velocidade 10 mm/s</i>				
3 mm	10,36 / 1,33	<b>7,78</b>	17,9 / 1,35	<b>13,25</b>
10 mm	8,44 / 2,48	<b>3,40</b>	14,36 / 2,26	<b>6,35</b>
25 mm	6,93 / 3,95	<b>1,75</b>	12,31 / 3,01	<b>4,08</b>
<i>Velocidade 25 mm/s</i>				
3 mm	4,82 / 1,64	<b>2,93</b>	9,09 / 1,35	<b>6,66</b>
10 mm	4,15 / 2,17	<b>1,91</b>	6,98 / 2,60	<b>2,68</b>
25 mm	2,87 / 4,00	<b>0,71</b>	5,42 / 3,21	<b>1,68</b>
<i>Velocidade 50 mm/s</i>				
3 mm	2,65 / 1,27	<b>2,08</b>	5,09 / 1,35	<b>3,77</b>
10 mm	2,02 / 1,73	<b>1,16</b>	4,10 / 2,72	<b>1,50</b>
25 mm	1,65 / 3,05	<b>0,54</b>	2,99 / 2,62	<b>1,14</b>
<i>Velocidade 75 mm/s</i>				
3 mm	1,85 / 1,51	<b>1,22</b>	3,00 / 1,35	<b>2,22</b>
10 mm	1,46 / 1,89	<b>0,77</b>	3,26 / 2,45	<b>1,33</b>
25 mm	1,20 / 2,33	<b>0,56</b>	2,39 / 2,76	<b>0,86</b>

Na tabela nota-se claramente que no caso do granito ocorre o seguinte:

a) Para a relação profundidade / largura igual ou menor do que **2,22**, as ranhuras não formam o duto tubular de erosão abaixo do perfil.

b) Para relação profundidade / largura igual ou maior que **2,68**, forma-se o duto tubular de escape do jato abrasivo abaixo do perfil.

Os números indicados em vermelho na tabela são onde ocorre o tubo circular na parte inferior da ranhura.

Podemos concluir que, no caso do mármore Branco Campos do Jordão, a relação profundidade / largura está compreendida na faixa de 2,22 a 2,68, abaixo do qual a área de desgaste do perfil segue o modelo proposto na literatura, sendo a área proporcional a aproximadamente metade do produto da largura por altura.

No caso desta relação ser superior ao número da faixa, a área da seção não obedece esta lei, e o fator de multiplicação do produto da largura por altura precisa ser multiplicado por um número maior do que  $\frac{1}{2}$ .

Resumindo, podemos dizer que dos 24 perfis de ranhura examinados e abertos pelo jato d'água abrasivo, 15 podem ser interpretados como sendo aproximado da função co-seno proposta na literatura. Nove deles, porém, apresentam um alargamento ou bolha na parte inferior. Podemos notar que é o dobro do que ocorre com o granito.

Portanto:

**Granito:** profund/larg < 2,61 → modelo Laurinat

profund/larg > 3,51 → modelo corte

**Mármore:** profund/larg < 2,22 → modelo Laurinat

profund/larg > 2,68 → modelo corte

## 6. CONCLUSÕES

Pode-se resumir que o comportamento do jato d'água de alta pressão com abrasivos para gravação de rochas sugere a existência de outro modelo para explicar quando alta energia cinética é transferida para a erosão acelerada da rocha.

No caso de alta energia do fluxo abrasivo, o perfil transversal da ranhura tem uma seção transversal mais complexa, onde no fundo da mesma tende a se desenvolver um canal circular para o escape da mistura abrasiva, cuja largura é da dimensão da largura da ranhura.

Em baixa energia, a profundidade da ranhura pode ser prevista como uma relação entre uma constante e a velocidade de translação do bocal. A constante depende do material alvo a ser gravado.

A largura da ranhura depende da altura do bocal. Análises de regressão podem ser feitas para determinação empírica das constantes características para cada material a ser gravado.

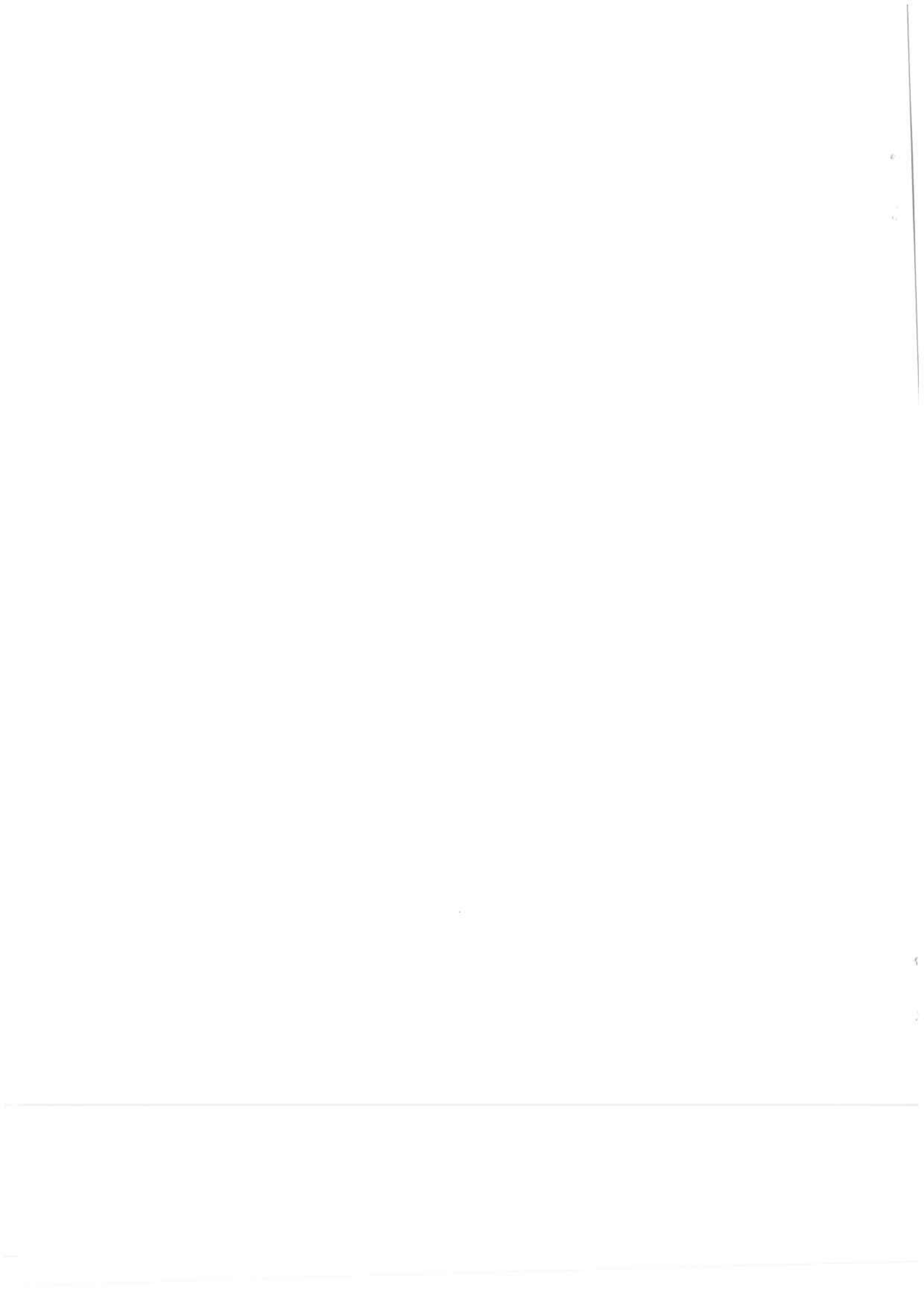
O perfil da ranhura, no caso normal de baixa energia, é o da função co-seno, que resulta com o conhecimento da largura e profundidade da ranhura.

Uma interpretação mais cuidadosa dos ensaios realizados deve auxiliar em uma definição mais acurada deste perfil.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARUSO, L. G. **Catálogo de rochas ornamentais**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1990.
- FREIST, B. et al. Abrasive jet machining of ceramic products. In: AMERICAN WATER JET CONFERENCE, 5<sup>th</sup>, St. Louis, 1989. **Proceedings**. St. Louis: The Water Jet Technology Association, 1989. p. 191-204.
- HASHISH, M. Milling with abrasive-waterjets: a preliminary investigation. In: U.S. WATER JET CONFERENCE, 4<sup>th</sup>, Berkeley, 1987. **Proceedings**. St. Louis: The Water Jet Technology Association /ASME, 1987. p. 1-10.
- HASHISH, M. Turning, milling, and drilling with abrasive water jets. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON JET CUTTING TECHNOLOGY, 9<sup>th</sup>, Cranfield, 1988. **Proceedings**. Cranfield: BHRA-Air Science Company, 1988. p. 113-131.
- HASHISH, M. Diamond film polishing with abrasive-liquid jets: an exploratory investigation. In: WINTER ANNUAL MEETING OF THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, Anaheim, 1992. **Proceedings**. New York: ASME, 1992. p. 29-41. (PED Series, v. 58).
- HASHISH, M. Controlled-depth milling techniques using abrasive-waterjets. In: ALLEN, N. G. (Ed). **Jet cutting technology: applications and opportunities**. Cranfield: BHR Publications, 1994a. p. 449-461.
- HASHISH, M. Controlled-depth milling of isograd structures with abrasiv-waterjets. In: INTERNATIONAL MECHANICAL ENGINEERING CONGRESS AND EXPOSITION, Chicago, 1994. **Proceedings**. New York: ASME, 1994b. p. 413-419. (PED Series, v. 68-1)
- HASHISH, M. Deep hole drilling in metals using abrasive-waterjets. In: GEE, C. (Ed). **Jetting technology: applications and opportunities**. Cranfield: BHR Group Publications, 1996. p. 691-708.
- HOLMQVIST, G.; ÖJMERTZ, K. M. C. Process developments and apparatus for discretized abrasive waterjet milling. In: AMERICAN WATER JET CONFERENCE, 9<sup>th</sup>, Dearborn, Michigan, 1997. **Proceedings**. Saint Louis: Water Jet Technology Association, 1997. v. 1, p. 77-91.

- KLAVUHN, J. G.; BAKER, C. B. Industrial needs survey – waterjet cutting. In: AMERICAN WATER JET CONFERENCE, 5<sup>th</sup>, St. Louis, 1989. **Proceedings**. St. Louis: The Water Jet Technology Association, 1989. Paper 26.
- LAUAND, C. T. et al. The brazilian program of high pressure water jet to cut ornamental rocks. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL ISSUES AND WASTE MANAGEMENT IN ENERGY AND MINERAL PRODUCTION, 6<sup>th</sup>, Calgary, 2000. **Proceedings**. Rotterdam: Balkema, 2000. p. 711-716.
- LAUAND, C. T. et al. Performance of water jet cutting system in dimension stone. In: 2001 WJTA AMERICAN WATERJET CONFERENCE, Minneapolis, 2001. **Proceedings**. St. Louis: WJTA, 2001. p. 449-470.
- LAURINAT, A.; LOUIS, H.; MEIER-WIECHERT, G. A model for milling with abrasive waterjet. In: AMERICAN WATER JET CONFERENCE, 7<sup>th</sup>, Seattle, 1993. **Proceedings**. St. Louis: Water Jet Technology Association, 1993. p. 119-139.
- LAURINAT, A. Abtragen mit wasserabrasivinjektorstrahlen. **VDI-Fortschritt-Berichte**, Reihe 2, n. 327, p. 1- 167, 1995.
- ZENG, J.; KING, T. J. Machinability of engineering materials in abrasive water jet machining. **International Journal of Water Jet Technology**, Gloucester, v. 2, n. 2, p. 103-110, 1995.
- ZENG, J.; MUÑOZ, J. Milling ceramics with abrasive waterjets - an experimental investigation. In: AMERICAN WATERJET CONFERENCE, 9<sup>th</sup>, Dearborn, Michigan, 1997. **Proceedings**. Saint Louis: Waterjet Technology Association, 1997. v. 1, p. 93-107.



## BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PMI/001 - Características Geométricas da Escavação Mecânica em Mineração: Exemplo de Escavadora de Caçamba de Arraste - ANTONIO STELLIN JUNIOR
- BT/PMI/002 - Prospecção Geoquímica Experimental na Ocorrência de Ouro Tapera Grande - PAULO BELJAVSKIS, HELMUT BORN
- BT/PMI/003 - Estudo de Processo de Dupla Flotação visando o Beneficiamento do Minério Carbonático de Fosfato de Jacupiranga - JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/004 - Desenvolvimento de um Equipamento Não-Convencional em Beneficiamento Mineral: A Célula Serrana de Flotação Pneumática - RICARDO NEVES DE OLIVEIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/005 - Ajuste de Modelos Empíricos de Operação de Ciclones - HOMERO DELBONI JUNIOR, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/006 - Contribuição ao Estudo dos Explosivos Permissíveis - AMILTON DOS SANTOS ALMEIDA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/007 - Contribuição ao Dimensionamento de Pilares em Minas Subterrâneas de Manganês - LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA, ANTONIO STELLIN JUNIOR
- BT/PMI/008 - Exploração Mineral: Conceitos e Papel do Estado - LUIZ AUGUSTO MILANI MARTINS, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/009 - Otimização do Projeto de Pátios de Homogeneização através do Método da Simulação Condicional - FLAVIO MOREIRA FERREIRA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/010 - Considerações Gerais sobre Desmonte de Rocha: Análise de Custo - Índice de Produtividade e Otimização da Malha de Perfuração - MARCO ANTONIO REZENDE SILVA, FERNANDO AMOS SIRIANI
- BT/PMI/011 - Aglomeração de Rejeitos de Fabricação de Brita para sua Reciclagem - ARTHUR PINTO CHAVES, BRADDLEY PAUL
- BT/PMI/012 - Método de Dimensionamento de Peneiras para a Classificação Granulométrica de Rochas ou Minérios - FERNANDO AMOS SIRIANI
- BT/PMI/013 - Processo de Beneficiamento para Obtenção de uma Carga Mineral Nobre a partir do Fosfogesso - WALTER VALERY JUNIOR, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/014 - Estudo da Carboxi-Metil-Celulose como Aglomerante para Pelotização - JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/015 - A Influência do Amido de Milho na Eficiência de Separação Apatita/Minerais de Ganga Via Processo Serrana - LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/016 - Beneficiamento de Criolita Natural - Estado da Arte - HENRIQUE KAHN, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/017 - Estudo da Variação do Índice Energético Específico -  $W_i$ , segundo a Granulometria do Ensaio, Obtida através de um Moimho de Bolas Padrão, em Circuito Fechado - MARIO SHIRO YAMAMOTO, FERNANDO AMOS SIRIANI
- BT/PMI/018 - Fluorita - FERNANDO FUJIMURA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/019 - O Aproveitamento de Recursos Minerais: Uma Proposta de Abordagem a Nível Nacional - CELSO PINTO FERRAZ, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/020 - Comparação de duas Metodologias - A de Bieniawski e a de Panek, para Dimensionamento de Tirantes em Galerias Subterrâneas de Seção Retangular em Camadas Estratificadas - NESTOR KENJI YOSHIKAWA, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/021 - Caracterização de Maciços Rochosos através de Envolvimentos de Resistência por Tratamento Estatístico utilizando Dados de Laboratório do IPT Simulando Condições Geotécnicas do Maciço - NESTOR KENJI YOSHIKAWA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/022 - Avaliação de Impactos Ambientais na Mineração de Combustíveis Fósseis Sólidos - GILDA CARNEIRO FERREIRA, ANTONIO STELLIN JUNIOR
- BT/PMI/023 - O Lado Nocivo do Elemento Quartzo no Desgaste Abrasivo de Mandíbula de Britadores - FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/024 - Conceitos Básicos de Iluminação de Minas Subterrâneas - SÉRGIO MEDICI DE ESTON, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/025 - Sistema Computadorizado para Ajuste de Balanço de Massas e Metalúrgico - ANTONIO CARLOS NUNES, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/026 - Caracterização Mineralógica/Tecnológica das Apatitas de alguns Depósitos Brasileiros de Fosfato - SARA LAIS RAHAL LENHARO, HELMUT BORN

- BT/PMI/027 - Classificação de Maciços quanto à Escarificabilidade - GUILHERME DE REZENDE TAMMERIK, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/028 - Análise Comparativa de Métodos de Amostragem de Depósitos Auríferos - FÁBIO AUGUSTO DA SILVA SALVADOR, HELMUT BORN
- BT/PMI/029 - Avaliação da Qualidade de Corpos Moedores para o Minério Fosfático de Tapira - MG - GERALDO DA SILVA MAIA, JOSÉ RENATO B. DE LIMA
- BT/PMI/030 - Contribuição ao Estudo da Cominação Inicial à Partir da Malha de Perfuração - MARCO ANTONIO REZENDE SILVA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/031 - Análises Químicas na Engenharia Mineral - GIULIANA RATTI, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/032 - Usos Industriais da Atapulga de Guadalupe (PI) - SALVADOR LUIZ MATOS DE ALMEIDA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/033 - Minerais Associados às Apatitas: Análise de sua Influência na Produção de Ácido Fosfórico e Fertilizantes Fosfatados - ROBERTO MATTIOLI SILVA, ANTÔNIO EDUARDO CLARK PERES
- BT/PMI/034 - Beneficiamento dos Caulins do Rio Capim e do Jari - ADÃO BENVINDO DA LUZ, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/035 - Dimensionamento de Suportes em Vias Subterrâneas - LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/036 - Estudos da Modelagem Matemática da Moagem com Seixos para Talco de Diversas Procedências - MARIO VALENTE POSSA, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/037 - Mecânica de Rochas Aplicada ao Dimensionamento do Sistema de Atirantamento em Minas Subterrâneas - LEONCIO TEÓFILO CARNERO CARNERO
- BT/PMI/038 - Geometria de Minas a Céu Aberto: Fator Crítico de Sucesso da Indústria Mineral - FÁBIO JOSÉ PRATI, ANTÔNIO JOSÉ NAGLE
- BT/PMI/039 - Substituição do Aço por Polímero e Compósitos na Indústria Automobilística do Brasil: Determinantes e Conseqüências para o Mercado de Minério de Ferro - WILSON TRIGUEIRO DE SOUSA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO, ANTONIO JOSÉ NAGLE
- BT/PMI/040 - Aplicação de uma Metodologia que Simule em Moinho de Laboratório Operações Contínuas de Moagem com Seixos para Talco - REGINA COELI CASSERES CARRISSO, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/041 - A Indústria Extrativa de Rochas Ornamentais no Ceará - FRANCISCO WILSON HOLLANDA VIDAL, ANTONIO STELLIN JÚNIOR
- BT/PMI/042 - A Produção de Fosfato no Brasil: Uma Apreciação Histórica das Condicionantes Envolvidas - GILDO DE A. DE SÁ C. DE ALBUQUERQUE, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/043 - Flotação em Coluna - Estado de Arte - JULIO CESAR GUEDES CORREIA, LAURINDO SALIES LEAL FILHO
- BT/PMI/044 - Purificação de Talco do Paraná por Flotação e Alveamento Químico - IVAN FALCÃO PONTES, LAURINDO SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/045 - Pequena Empresa - A Base para o Desenvolvimento da Mineração - GILSON EZEQUIEL FERREIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/046 - Máquinas de Flotação - ROGÉRIO CONTATO GUIMARÃES, ANTÔNIO EDUARDO CLARK PERES
- BT/PMI/047 - Aspectos Tecnológicos do Beneficiamento do Carvão de Candiota (RS) - ANTONIO RODRIGUES DE CAMPOS, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/048 - Efeito das Dimensões de Provetas no Dimensionamento de Espessadores - ELDON AZEVEDO MASINI, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/049 - Água no Processamento Mineral - RODICA MARIA TEODORESCU SCARLAT, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/050 - Drenagens Ácidas do Estéril Piiritoso da Mina de Urânio de Poços de Caldas: Interpretação e Implicações Ambientais - VICENTE PAULO DE SOUZA LUIS ENRIQUE SÁNCHEZ
- BT/PMI/051 - "Caracterização Tecnológica de Minérios Auríferos. Um Estudo de Caso: O Minério Primário da Jazida de Salamangone, AP." - MARIA MANUELA MAIA LÉ TASSINARI, HENRIQUE KAHN
- BT/PMI/052 - Ensino de Engenharia de Minas - WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/053 - Redistribuição de Tensões e Desenvolvimento da Zona Clástica em Túneis Circulares - FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/054 - Projeto de Barragem para Reservação de Mistos de Minerais Pesados Rejeitados pelo Beneficiamento de Cassiterita na Mina do Pitinga - MARCELO PIMENTEL DE CARVALHO, EDER DE SILVIO, LINDOLFO DE SILVIO
- BT/PMI/055 - A Segurança e a Organização do Trabalho em uma Mineração Subterrânea de Carvão da Região de Criciúma - Santa Catarina - DORIVAL BARREIROS, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/056 - Diagnóstico de Lixiviação para Minérios de Ouro - VANESSA DE MACEDO TORRES, ARTHUR PINTO CHAVES

- BT/PMI/057 - O Estado da Arte em Tratamento de Minérios de Ouro - RONALDO DE MOREIRA HORTA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/058 - Vias Subterrâneas em Rocha - Escavação por Explosivos - WILDOR THEODORO HENNIES, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/059 - Aumento da Seletividade na Separação da Fluorita/Calcita/Barita/Apatita por Flotação. Jazida de Mato Preto - PR - MONICA SPECK CASSOLA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMC/060 - Desenvolvimento de Processo para Extração de Gálio do Licor de Bayer por Resinas de Troca-Iônica de Poli (Acrilamídoxima) - WALDEMARAVRITSCHER, LAURINDODESALLES LEALFILHO
- BT/PMI/061 - Estudo de Aspectos Geomecânicos Aplicados ao Projeto de Minas Subterrâneas - EDUARDO CÉSAR SANSONE, LINEU A. AYRES DA SILVA
- BT/PMI/062 - Avaliação da Recuperação de Áreas Degradadas por Mineração na Região Metropolitana de São Paulo - OMAR YAZBEK BITAR, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/063 - Avaliação Técnica dos Processos de Cianetação/Adsorção da Mina de Fazenda Brasileiro - ÁUREA MARIA DIAS, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/064 - A Nova Configuração da Indústria de Fertilizantes Fosfatados no Brasil - YARA KULAIF, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/065 - Estudos de Flotação em Coluna com Finos de Fosfato da Ultrafertil em Escala Piloto - JOSÉ PEDRO DO NASCIMENTO, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/066 - Flotação da Apatita da Jazida de Tapira - MG - LUIZ A. F. BARROS, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO - LUIZ A. F. BARROS, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/067 - Minerais Industriais: Conceituação, Importância e Inserção na Economia - FRANCISCO REGO CHAVES FERNANDES, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/068 - Atividades Micro-Sísmicas e a Ruptura de Rochas - FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/069 - Metodologia para Caracterização Tecnológica de Matérias Primas Minerais - LÍLIA MASCARENHAS SANT'AGOSTINO, HENRIQUE KAHN
- BT/PMI/070 - Aplicação de Modelos Numéricos ao Projeto de Escavação por Explosivos de Túneis e Galerias - LUIZ CARLOS RUSILO, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/071 - O Estado da Arte da Cianetação de Minérios Auríferos - ROBERTO GOULART MADEIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/072 - Revisão da Indústria Mineral de Titânio - ANTÔNIO HELENO DE OLIVEIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/073 - Sistematização de Casos de Instabilidades em Encostas Rochosas no Município de Santos, Através de Nova Metodologia de Avaliação de Estabilidade - NESTOR KENJI YOSHIKAWA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/074 - A Minerio-Metalurgia e suas Ligações com a Geologia e suas Engenharias de Minas, Metalúrgica e Química - RICARDO ALVARES DE CAMPOS CORDEIRO, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/075 - A Redução da Umidade de Minérios de Ferro com o Emprego de Microondas - FERNANDO LEOPOLDO VON KRÜGER, ANTÔNIO EDUARDO CLARK PERES
- BT/PMI/076 - Estimção de Parâmetros do Modelo Cinético de Moagem - CLÁUDIO FERNANDES, ANTÔNIO EDUARDO CLARK PERES
- BT/PMC/077 - A Bauxita e a Indústria do Alumínio - JOSÉ CRUZ DO CARMO FLÓRES, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMC/078 - Técnicas de Tratamento de Minérios para Reciclagem de Vidro - CLEUSA CRISTINA BUENO MARTHA DE SOUZA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/079 - Comparação entre Cylpebs e Bolas na Moagem Secundária da Samarco Mineração - JOAQUIM DONIZETTI DONDA, ANTONIO EDUARDO CLARK PERES
- BT/PMI/080 - Calcários Dolomíticos da Região de Ouro Preto para usos na Metalurgia e como Rochas Ornamentais - MARCÍLIO DIAS DE CARVALHO, PAULO ROBERTO GOMES BRANDÃO
- BT/PMI/081 - Estudo de Reoxidação e Redução de Ferro Contido em Caulins - ADÃO BENVINDO DA LUZ, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/082 - Recuperação do Gálio Existente no Licor de Bayer de Poços de Caldas por Flotação Iônica. Estudo dos Coletores - ANA MARGARIDA MALHEIRO SANSÃO, LAURINDO DE SALLES LEAL
- BT/PMI/083 - Contribuição ao Conhecimento de Argilas de Cuba - GUILLERMO RUPERTO MARTIN CORTES, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/084 - Determinação da Rugosidade da Superfície de Descontinuidades Rochosas - JOSÉ MARGARIDA DA SILVA, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/085 - Serragens de Granitos para Fins Ornamentais - ANTONIO STELLIN JR

- BT/PMI/086 – Evolução Magmática e Modelo Metalogenético dos Granitos Mineralizados da Região de Pitinga, Amazonas, Brasil – SARA LAIS RAHAL LENHARO, HELMUT BORN
- BT/PMI/087 – Considerações sobre o Dimensionamento de Equipamentos de Carga e Transporte em Mineração a Céu Aberto – IESO DO COUTO COUTINHO, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO, GIORGIO FRANCESCO CESARE DE TOMI
- BT/PMI/088 – Tratamento do Minério de Transição de Cobre e Ouro de Igarapé Bahia, Carajás, PA – DACILDO RODRIGUES DE SOUZA, PAULO ROBERTO GOMES BRANDÃO
- BT/PMI/089 – Variáveis que Interferem nos Problemas Ambientais Gerados Durante os Desmontes de Rochas – VALDIR COSTA E SILVA, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/090 – Caracterização Mineralógica do Minério de Cobre e Ouro Secundário de Igarapé Bahia – LUIS RODRIGUES ARMÔA GARCIA, PAULO ROBERTO GOMES BRANDÃO
- BT/PMI/091 – O Topázio na Região de Ouro Preto: Minas do Vermelhão e Capão do Lana – JAIR MAZON JÚNIOR, HELMUT BORN
- BT/PMI/092 – A Mineralização Aurífera de Fazenda Brasileiro – BA Aspectos Geológicos e Planejamento de Lavra – MARCO ANTONIO DE MORAES SILVA, HELMUT BORN
- BT/PMI/093 – Estudo dos Mecanismos de Adsorção em Meio Ácido dos Metais Chumbo e Zinco em uma Turfa de Jacone – RJ – MARIA DIONÍSIA COSTA DOS SANTOS, LAURINDO DE SALLES LEAL
- BT/PMI/094 – Cartografia de Riscos Geológicos Associados a Escorregamentos no Município de Embu – RMSP – CÉLIA MARIA GARIBLADI, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/095 – Revisão da Teoria para Projeto de Taludes Heterogêneos em Minas a Céu Aberto – FLÁVIO MOREIRA FERREIRA, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/096 – Estratégias para Remediação de um Sítio Contaminada por Metais Pesados: Estudo de Caso – JOSÉ ÂNGELO SEBASTIÃO ARAUJO DOS ANJOS, LUIS ENRIQUE SÁNCHEZ
- BT/PMI/097 – Estudo dos Elementos Abrasivos de Fios Diamantados para a Lavra de Granitos do Ceará – FRANCISCO WILSON HOLLANDA VIDAL, ANTONIO STELLIN JÚNIOR
- BT/PMI/098 – Caracterização Mineralógica do Depósito de Terras no Complexo Alcalino – Carbonatítico de Barra do Itapirapuã (SP/PR) – Área de Detalhe I – Maria de Lourdes Lorenzi, Henrique Kahn
- BT/PMI/099 – Considerações sobre a Seleção de Equipamentos para o Transporte de Minérios – ALEXANDRE DE SANT'ANNA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/100 – Desgaste Abrasivo em Britadores de Mandíbulas – NILSON MAR BARTALINI, FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/101 – Viabilidade do Emprego de Finos de Basalto em Concreto Compactado a Rolo – KLEBER DA SILVA MENDES, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/102 – Sistema Especialista para o Processamento de Minérios de Ouro – VANESSA DE MACEDO TORRES, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/103 – Desenvolvimento de Eletrodos de Pasta de Carbono Modificados com a Resina Poliamidoxima (ES-346) para a Determinação Potenciométrica de Gálio – MARCO ROGÉRIO BARRIOS, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/104 – Desenvolvimento de Processo para o Aproveitamento do Feldspato Contido em Finos de Pedreira de Nefelina Sienito – PAULO FERNANDO ALMEIDA BRAGA, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/105 – Os Recursos Minerais e a Economia Internacional: Uma Reavaliação das Teorias – FRANCISCO REGO CHEVES FERNANDES, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/106 – Importância dos Aspectos Geológico-Geotécnicos em Obras Implantadas na Serra do Mar – Uma Metodologia de Manutenção Preventiva – ORIOVALDO CUNHA MARTINEZ, FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/107 – Lixiviação e Adsorção em Fazenda Brasileiro – CVRD: Uma Questão de Produtividade – ÁUREA MARIA DIAS GOMES, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/108 – Análise Quantitativas por Difração de Raios-X em Engenharia Mineral – Aplicação dos Métodos de Rietveld e do Padrão Interno – GABRIELA CAMPOS FRONZAGLIA, HENRIQUE KAHN
- BT/PMI/109 – Avaliação das Principais Causas de Acidentes em Barragens de Contenção de Rejeitos Devido a Fatores Geológicos e Geotécnicos – FERNANDO IVAN VÁSQUEZ ARNEZ, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/110 – Problemas Relacionados a Tensões Naturais Durante a Lavra de Rochas Ornamentais – HUGO ANTONIO MERCONCHINI VEGA, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/111 – Sistemas de Classificação na Análise da Estabilidade de Taludes em Maciços Brandos – ANDREA CRISTINA Y DF MATTOS, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/112 – Metodologia para Amostragem de Material Particulado em Suspensão (MPS) – IVO TORRES DE ALMEIDA, SERGIO MÉDICI DE ESTON
- BT/PMI/113 – Viabilização da Recuperação de Ouro de Minério Primário por Lixiviação em Pilha Mediante o uso de Britadores não Convencionais: Um Estudo de Caso: O Minério Primário da Mina de Almas-Paiol, TO – SALOMÃO SOLINO EVELIN, ARTHUR PINTO CHAVES

- BT/PMI/114 – Aplicação de Aditivos Químicos à Filtragem de Polpas de Minerais – LUIZ GUSTAVO ESTEVES PEREIRA, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/115 – Proposta de Gerenciamento Ambiental de uma Área Degradada nos Municípios de Mauá e Ribeirão Pires – Região Metropolitana de São Paulo – ÁLVARO GUTIERREZ LOPEZ, LUIZ ENRIQUE SÁNCHEZ
- BT/PMI/116 – Experiência de Gerenciamento da Reforma e Adequação de um Moinho de Bolas de 4000 HP para nova Aplicação – AROLDO DUTRA GARCIA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/117 – Efeitos da Viscosidade no Processo de Deslamagem com Microciclones em Polpa Não-Newtoniana de Rocha Fosfática – MARIO VALENTE POSSA, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/118 – Caracterização Tecnológica de Depósitos de Cromita da Província de Camagüey, República de Cuba – JULIÁN ANDRÉS MÉNDEZ GARCÉS, HENRIQUE KAHN
- BT/PMI/119 – Garimpo de Ouro no Brasil: Desafios da Legalização – MARIA LAURA TAVEIRA DA MOTA GERALDES DE CARVALHO BARRETO, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/120 – Contribuição ao Projeto de Reatores de Ácido Fosfórico para Processamento de Concentrados Apatíticos Brasileiros – ROBERTO MATTIOLI SILVA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/121 – Lixiviação em Pilhas de Minérios Oxidados de Cobre – GEYSA SANTOS DE PONTES PEREIRA, ELDON AZEVEDO MASINI
- BT/PMI/122 – Produção de Agregado como Alternativa para Produtores de Corretivo de Solo da Grande Curitiba – PLINIO CRISTIANO CAMBOIM DE OLIVEIRA, ANTÔNIO JOSÉ NAGLE
- BT/PMI/123 – A Competitividade da Mineração Nacional com Ênfase no Minério de Ferro – GILSON EZEQUIEL FERREIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/124 – Aplicação de Turfa na Recuperação de Solos de Degradados pela Mineração de Areia – JOSÉ GUILHERME FRANCHI, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/125 – Aproveitamento de Materiais Fosfáticos Marginais para a Produção de Fertilizantes Organo-Fosfatados – CARLOS ALBERTO IKEDA OBA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/126 – Abordagem Participativa na Gestão de Recursos Minerais – CARLOS C. PEITER, ROBERTO C. VILLAS BÔAS
- BT/PMI/127 – A Importância dos Condicionantes Geológicos-Geotécnicos na Recuperação de Áreas Degradadas por Lavra de Minas a Céu Aberto – RICARDO DEGUTI DE BARROS SILVA, FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/128 – Determinação de Indicadores de Impactos Ambientais Cumulativos Decorrentes da Mineração de Areia no Vale do Paraíba Através de Geoprocessamento – EDER LUIZ SANTO, LUIS HENRIQUE SÁNCHEZ
- BT/PMI/129 – Tecnologia de Corte de Rocha Ornamental com Fio Helicoidal – FERNANDO FUJIMURA, ANTONIO STELLIN JUNIOR
- BT/PMI/130 – Diagnóstico da Degradação do Meio Físico e Proposição de Medidas de Recuperação em Áreas de Mineração Abandonadas na Bacia do Guarapiranga, Região Metropolitana de São Paulo – MARIA MARTA TEIXEIRA VASCONCELOS, LUIS ENRIQUE SANCHEZ
- BT/PMI/131 – A Integração Competitiva do Setor Mineral Brasileiro no Cenário Internacional Estudo de Caso: O Setor de Aços Especiais Inoxidáveis – MANOEL RODRIGUES NEVES, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/132 – Contribuição à Implantação de um Novo Pólo de Fertilizantes no Nordeste do Brasil – GILDO DE ARAÚJO SÁ C. DE ALBUQUERQUE, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/133 – Metodologia Construtiva do Poço de Produção da Mina Fazenda Brasileiro – LEONCIO TEÓFILO CARNERO CARNERO, FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/134 – Aproveitamento de Finos Gerados nas Ferragens de Mármore e Granitos – IVAN FALCÃO PONTES, ANTÔNIO STELLIN JÚNIOR
- BT/PMI/135 – Aspectos Hidrodinâmicos na Flotação de Partículas Grossas – WENDEL JOHNSON RODRIGUES, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/136 – Aproveitamento de Rejeitos de Pedreiras de Santo Antônio de Pádua – RJ para Produção de Brita e Areia – SALVADOR LUIZ DE MATOS DE ALMEIDA, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/137 – Análise Crítica do Desenvolvimento de Processos de Cianetação em Tanques Agitados – RINALDO PEDRO NARDI, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/138 – A Utilização de Finos de Pedreira em Solo-Cimento Ensacado – EDILSON PISSATO, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/139 – Dessulfuração de Finos de Carvão de Santa Catarina por Concentradores Centrífgos – ANTÔNIO RODRIGUES DE CAMPOS, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/140 – Estereoquímica de Polissacarídeos e sua Influência na Seletividade da Separação Apatita/Calcita por Flotação Aniônica Direta – JULIO CESAR GUEDES CORREIA, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/141 – Avaliação do Desempenho Ambiental – Proposta Metodológica e Diretrizes para Aplicação em Empreendimentos Cívicos e de Mineração – FRANCISCO NOGUEIRA DE JORGE, LINDOLFO SOARES

- BT/PMI/142 – Formação de Barreira Geoquímica para o Abatimento de Drenagens Ácidas de Estéril Piritoso – VICENTE PAULO DE SOUZA, LUIS ENRIQUE SÁNCHEZ
- BT/PMI/143 – Técnicas de Preparação de Areia para uso na Construção Civil – WILLIAM WHITAKER, ARHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/144 – Inovação Tecnológica e Setores da Indústria: O Contexto da Indústria Extrativa e de Transformação Mineral – MARIA HELENA MACHADO ROCHA LIMA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/145 – Determinação e Análise Estatística dos Índices Físicos de Pedras Ornamentais Brasileiras – ANTONIO STELLIN JUNIOR, EDUARDO CESAR SANSONE, MARIA RENATA MACHADO STELLIN
- BT/PMI/146 – Avaliação de Impacto Ambiental de Projetos de Mineração n Estado de São Paulo: A Etapa de Acompanhamento – ELVIRA GABRIELA C. S. DIAS, LUIS E. SÁNCHEZ
- BT/PMI/147 – Contribuição ao Estudo do Corte de Rochas por Jato D'Água Abrasivo – CARLOS TADEU LAUAND, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/148 – Competitividade na Exploração Mineral – Um Modelo de Avaliação – JOSÉ GUEDES DE ANDRADE, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/149 – Caracterização Tecnológica do Depósito de Terras Raras de Catalão I, GO. Áreas: Córrego do Garimpo e Lagoa Seca – MARIA MANUELA MAIA LÉ TASSINARI, HENRIQUE KAHN
- BT/PMI/150 – Contribuição ao Método de Determinação do Índice de Abrasividade de Bond (A. i.) à Luz de Outros Materiais Metálicos – JOSÉ BRUNO NETO, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/151 – Fabricação de Termofosfato Utilizando Fosfogesso – REYNALDO ARBUE PINI, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/152 – Desenvolvimento de Tecnologia Eletrohidráulica Aplicada a Desmonte de Rochas em Áreas Urbanas – CARLOS MAGNO MUNIZ E SILVA, ANTONIO STELLIN JÚNIOR
- BT/PMI/153 – Novo Método de Caracterização Tecnológica para Cominuição de Minérios – ANA CAROLINA CHIEREGATI, HOMERO DELBONI JUNIOR
- BT/PMI/154 – Desenvolvimento de Processo do Projeto Rocha Sã em Pitinga, AM – EDER DE SILVIO, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/155 - Aplicação dos Finos Gerados pela Produção de Pedras Britadas Graníticas no Concreto Pré-Misturado em Substituição às Areias Naturais – LIGIA NEVES, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/156 - Técnica de Simulação Numérica de Escavação Subterrânea por Computador - MARCIO DELCHIARO NIEBLE, FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/157 - Jato de Água Abrasivo para Corte e Gravação de Materiais Friáveis – WILDOR THEODORO HENNIES, CARLOS TADEU LAUAND, GUILLERMO RUPERTO MARTÍN CORTÉS
- BT/PMI/158 – Desativação de Empreendimentos Mineiros: Estratégias para Diminuir o Passivo Ambiental – JOSÉ BAPTISTA DE OLIVEIRA JÚNIOR, LUIS ENRIQUE SÁNCHEZ
- BT/PMI/159 – Previsão de Desempenho do Circuito de Moagem SAG da MSF a Partir do Índice de Quebra – FERNANDO KARAM DELBIM, HOMERO DELBONI JUNIOR
- BT/PMI/160 – A Poluição das Águas em Mineração de Calcário – MARCIA ADRIANI JORGE SIQUEIRA, SERGIO MÉDICI DE ESTON
- BT/PMI/161 – Aplicação de Métodos Computacionais no Planejamento para Extração de Rocha Ornamental em Maciços Rochosos – MARCELO FILIPOV, FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/162 – Proposições para Investigação de Parâmetros Controladores da Contaminação do Subsolo e das Águas Subterrâneas – MARILDA TRESSOLDI, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/163 – Fundamentos Teóricos para a Análise dos Mercados de Matérias-Primas Minerais – YARA KULAIF, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/164 – Análise Comparativa do Desempenho de Ciclones com base em Simulações Prévias e Ensaios em Escala Industrial – FLÁVIO AUGUSTO PESCE STOROLLI, HOMERO DELBONI JR
- BT/PMI/165 – Flotação de Gálio a Partir do Licor de Bayer – LUIZ PAULO BARBOSA RIBEIRO, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/166 – Avaliação de Técnicas de Instrumentação para o Monitoramento de Deformações nas Escavações Subterrâneas – MOUSTAFA HAMZE GUILART, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/167 – Aplicações do Mapa de ISO-Velocidades – WILSON SIGUEMASA IRAMINA, SÉRGIO MÉDICI DE ESTON
- BT/PMI/168 – Dureza Knoop em Rochas para Revestimento: Correlação com Desgaste Abrasivo – EDUARDO BRANDAU QUITETE, HENRIQUE KAHN
- BT/PMI/169 – Aplicação de Impelidores de Alta Eficiência na Indústria Mineral – SÉRGIO PETER HAUSER, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/170 – Recuperação de Partículas Minerais Finas e Ultrafinas de Cassiterita - PRISCILA CORREIA DE FIGUEIREDO, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA

- BT/PMI/171 – Concentração de Minerais com Jigue Centrifugo Kelsey – JAIME HENRIQUE BARBOSA DA COSTA, HOMERO DELBONI JÚNIOR
- BT/PMI/172 – Caracterização Tecnológica do Carvão das Camadas Barro Branco e Bonito para Fins Energéticos na Região de Criciúma – SC – ROSIMERI VENÂNCIO REDIVO, HENRIQUE KAHN
- BT/PMI/173 – Desenvolvimento de Processo para Produção de Gálio Metálico a Partir do Licor de Bayer da Companhia Brasileira de Alumínio – CBA – WALDEMAR AVRITSCHER, ELDON AZEVEDO MASINI
- BT/PMI/174 – A Influência de Aditivos Químicos na Moagem de Minério de Nióbio – MARCUS VINICIUS PELAIS BENOTI, HOMERO DELBONI JUNIOR
- BT/PMI/175 – Considerações Sobre o Aproveitamento dos Rejeitos de Produção do Carvão Catarinense – CLAUDIO BENETON ZILLI, ELDON AZEVEDO MANSINI
- BT/PMI/176 – Contabilidade Ambiental: Ensaio de Aplicação a uma Empresa Extrativa de Carvão Mineral – SERGIO BRUCHCHEN, LUIS ENRIQUE SÁNCHEZ
- BT/PMI/177 – Análise de Parâmetros do Monitoramento Ambiental da Mina do Trevo – Siderópolis – SC – CLEUSA CREPALDI, SERGIO MÉDICI DE ESTON
- BT/PMI/178 – Avaliação da Eficiência de uma Zona Alagadiça (Wetland) no Controle dos Metais Chumbo, Cádmiu, Cobre e Zinco: O Caso da Metalurgia da Plumbum em Santo Amaro da Purificação/BA – JOSÉ ÂNGELO SEBASTIÃO ARAÚJO DOS ANJOS, LUIS ENRIQUE SÁNCHEZ
- BT/PMI/179 – Caracterização Tecnológica de Produtos de Beneficiamento de Minério de Ni-Cu-Co de Fortaleza de Minas, MG – ELIANA SATIKO MANO, HENRIQUE KAHN
- BT/PMI/180 – A Importância dos Fatores Ambientais na Reutilização de Imóveis Industriais em São Paulo – ANNA CAROLINA MARQUES AYRES DA SILVA, LUIS ENRIQUE SÁNCHEZ
- BT/PMI/181 – Medições do Material Particulado em Chaminé e das Partículas Totais em Suspensão no Ar Ambiente: O Caso da Empresa Colorminas – MARCOS BIANCHINI, SÉRGIO MÉDICI DE ESTON
- BT/PMI/182 – Implantação de Modelos de Gestão para a Segurança e Saúde no Trabalho Mineral – CRISTIANE QUEIROZ BARBEIRO LIMA, SÉRGIO MÉDICI DE ESTON
- BT/PMI/183 – Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho: Estudo de um Modelo Sistêmico para as Organizações do Setor Mineral – DORIVAL BARREIROS, SÉRGIO MÉDICI DE ESTON
- BT/PMI/184 – Contribuição ao Estudo de Ruptura de Taludes em Barragens de Contenção de Rejeitos Devido ao Desenvolvimento de Subpressões – GERSON RIBEIRO DE SOUZA JÚNIOR, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/185 – Estabilidade de Taludes: O Papel da Proteção Superficial – FÁBIO CANZIAN, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/186 – Utilização de uma Água Residuária da Extrusão de Alumínio na Neutralização de Efluentes Ácidos da Mineração de Carvão – JULIANO NATAL, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/187 – Aplicação da Realidade Virtual no Planejamento de Lavra – RICARDO CABRAL DE AZEVEDO, GIORGIO FRANCISCO CESARE DE TOMI
- BT/PMI/188 – Influência da Composição Química da Água no Desempenho da Flotação de Fluorita com Ácidos Graxos – VALMIR MACHADO, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/189 – Retrospectiva Histórica, Diagnóstico e Possibilidades da Mineração de Carvão na Região de Criciúma – SALOMÃO ROMAN DA SILVEIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/190 – Determinação e Análise Estatística de Propriedades Tecnológicas de Pedras Ornamentais Brasileiras – EDUARDO CÉSAR SANSONE, ANTONIO STELLIN JÚNIOR, MARIA RENATA STELLIN
- BT/PMI/191 – Avaliação do Emprego de Filito como Carga em Plastisol – ALCIDIO PINHEIRO RIBEIRO, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/192 – Caracterização Tecnológica e Mineralógica do Minério de Fosfato de Salitre, MG – ANDRÉ BORGES BRAZ, HENRIQUE KAHN
- BT/PMI/193 – Avaliação Econômica de Projetos de Mineração Envolvendo Decisões de Investimento sob Condições de Incerteza – JORGE LUIZ FARIA GARCIA, GIORGIO FRANCESCO CESARE DE TOMI
- BT/PMI/194 – Planejamento de Serragem de Rochas Ornamentais – MARIA RENATA MACHADO STELLIN, GIORGIO FRANCESCO CESARE DE TOMI
- BT/PMI/195 – Interação do Software de Mineração com Sistemas ERP – RENATO MASTRELA, GIORGIO FRANCESCO CESARE DE TOMI
- BT/PMI/196 – Controle de Qualidade na Lavra em Minas de Calcário para Cimento – SÍLVIA LÉDA TORRES DE FARIAS, GIORGIO FRANCESCO CESARE DE TOMI
- BT/PMI/197 – Estudo Tecnológico de Materiais Industriais (Caulim) – Caso Cubano – NAELCIO GOMES DE CARVALHO, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/198 – Métodos de Corte de Rochas com Jato de Água Abrasivo – GUILLERMO RUPERTO MARTÍN CORTÉS, WILDOR THEODORO HENNIES

- BT/PMI/199 – Caracterização Tecnológica do Fosfogesso Gerado na Produção de Ácido Fosfórico – ROSANA MARIA DE MACEDO BORGES, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/200 – Estudo da Influência da Densidade de Partículas no Desempenho de Ciclone – RAMON LINSINI FINKIE, HOMERO DELBONI JUNIOR
- BT/PMI/201 – Caracterização Tecnológica do Quartzito Friável de Itutinga. MG, com Vista à Produção de Carvão de Silício (Sic) – ARTHUR JARBAS CARDOSO DA SILVA, HENRIQUE KAHN
- BT/PMI/202 – Avaliação da Poeira de Sílica: Um Estudo de Caso em uma Pedreira na Região Metropolitana de São Paulo – GERRIT GRUENZNER, SÉRGIO MÉDICI DE ESTON
- BT/PMI/203 – Caracterização das Argilas da Bacia do Paraná, no Sul de Santa Catarina, para uso na Fabricação de Pisos Cerâmicos – MÁRCIO LUIZ GEREMIAS, HENRIQUE KANH, DOUGLAS GOUVEA
- BT/PMI/204 – Uma Leitura da Árvore de Causas no Atendimento de Demanda do Poder Judiciário: Um Fluxograma de Antecedentes – LEONIDAS RAMOS PANDAGGIS, SÉRGIO MÉDICI DE ESTON
- BT/PMI/205 – Reabilitação de Ecossistemas Degradados pela Mineração de Carvão a Céu Aberto em Santa Catarina, Brasil – ROBSON DOS SANTOS, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/206 – Uso do Geoprocessamento para a Detecção de Sítios Contaminados – CLAUDOMIRO DOS SANTOS, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/207 – Aspectos Econômicos do Fechamento de uma Mineração – ANA LUCIA SILVA TAVEIRA, LUIS ENRIQUE SÁNCHEZ
- BT/PMI/208 – Emprego de Cascalho Aluvial como Agregado em Concreto – KLEBER DA SILVA MENDES, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/209 – Caracterização Tecnológica das Areias de Subaúma (Iguape – SP) para Utilização em Concretos – MAURICIO PETTINATO LUCIO, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/210 – Uso de Finos de Pedreira no Preparo de Argamassas de Assentamento – LIZ ZANCHETTA D'AGOSTINO, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/211 – Aspectos Estereoquímicos da Interação entre Apatita e Moléculas de Amido e sua Influência na Flotação - MARISA MARTINS, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/212 – Tratamento de Efluentes Ácidos de Mina por Neutralização e Remoção de Metais – CARLYLE TORRES BEZERRA DE MENEZES, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/213 – Aplicação de *Softwares* de Mineração no Planejamento de Lavra de Pedreiras de Agregados para a Construção Civil – OSWALDO MENTA SIMONSEN NICO, GIORGIO FRANCESCO CESARE DE TOMI
- BT/PMI/214 – Comparação de Desempenho de Aglomerante Orgânico em Relação à Bentonita na Operação de Pelotização de Concentrados de Minério de Ferro Brasileiros de Diversas Procedências – SANDRA LUCIA DE MORAES, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/215 – Implantação de Controle de Qualidade na Lavra de Matérias Primas para a Indústria Refratária – Aplicação em uma Mina em Atividade – ANDERSON SOUSA SALIM, GIORGIO FRANCESCO CESARE DE TOMI
- BT/PMI/216 – Moldagem não Convencional de Corpos-de-Prova de Solos – LILZA MARA BOSCHESI MAZUQUI, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/217 – Engenharia da Qualidade na Mineração: Modelo de Controle Estatístico de Processo para Brita e Areia Industrial – AMILTON DOS SANTOS ALMEIDA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/218 – Gestão de Passivos Ambientais Associados a Escorregamentos em Rodovias: Contribuições ao Cenário Metodológico – CÉLIA MARIA GARIBALDI, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/219 – Avaliação do Programa de Proteção Respiratória em uma Mina Subterrânea de Ouro – ANTONIO VLADIMIR VIEIRA, SÉRGIO MÉDICI DE ESTON
- BT/PMI/220 – Sequenciamento Otimizado de Lavra por Blendagem para Jazidas de Calcário – DANIEL DA SILVEIRA CHAUSSON, GIORGIO FRANCESCO CESARE DE TOMI
- BT/PMI/221 – Avaliação de Barragens de Rejeitos Através de Modelos Reduzidos – FERNANDO IVAN VÁSQUEZ ARNEZ, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/222 – Desempenho Ambiental e Processo de Comunicação: Estudo de Caso nos Setores Químico e Petroquímico – LUIZ ANTONIO CHIUMMO, LUIS ENRIQUE SÁNCHEZ