

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

ISSN 0104-0553

BT/PMI/157

**Jato de Água Abrasivo para Corte
e Gravação de Materiais Friáveis**

Wildor Theodoro Hennies
Carlos Tadeu Lauand
Guillermo Ruperto Martín Cortés



São Paulo - 2002

FICHA CATALOGRÁFICA

Hennies, Wildor Theodoro

Jato de água abrasivo para corte e gravação de materiais friáveis / W.T. Hennies, C.T. Lauand, G.R. Martín Cortés. – São Paulo : EPUSP, 2002.

18 p. – (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Minas, BT/PMI/157)

1. Corte por jato de água 2. Rochas ornamentais I. Lauand, Carlos Tadeu II. Martín Cortés, Guillermo Ruperto III. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas IV. Título V. Série

ISSN 0104-0553

CDU 622.234.5
553.5

**ESCOLA POLITÉCNICA DA USP
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS E DE PETRÓLEO**

BOLETIM TÉCNICO

**JATO DE ÁGUA ABRASIVO PARA CORTE E
GRAVAÇÃO DE MATERIAIS FRIÁVEIS**

**WILDOR THEODORO HENNIES
CARLOS TADEU LAUAND
GUILLERMO RUPERTO MARTÍN CORTÉS**

**São Paulo
2002**

JATO DE ÁGUA ABRASIVO PARA CORTE E GRAVAÇÃO DE MATERIAIS FRIÁVEIS

ÍNDICE

RESUMO

"ABSTRACT"

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	EQUIPAMENTO DE CORTE DE JATO DE ÁGUA	2
2.1.	Bomba de alta pressão de água	3
2.2.	Sistema de controle	4
2.3.	Sistema de coleta	4
2.4.	Sistemas Auxiliares	5
3.	PROJETO DE CORTE DE MATERIAL CERÂMICO.....	6
3.1.	Etapas do Projeto e aspectos iniciais	6
3.2.	O desenho ("Layout")	7
3.3.	O caminho ("Order")	10
3.4.	A manufatura ("make")	11
3.5.	Problemas práticos e suas soluções	14
3.6.	Custos e Desempenho	15
4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS E AGRADECIMENTOS	16
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	17

JATO DE ÁGUA ABRASIVO PARA CORTE E GRAVAÇÃO DE MATERIAIS FRIÁVEIS

RESUMO

Avançada tecnologia de jatos abrasivos de alta velocidade foi usada com sucesso para corte de ladrilhos cerâmicos. Esta técnica permite o corte de peças de complexos contornos, não só de cerâmicas, mas também de outros materiais duros, como rochas. Primeiro é necessário fazer um desenho do contorno em programa de computador (CAD). O equipamento adquirido pela EPUSP, com apoio FAPESP, transforma o desenho num arquivo manipulável (CAM), que corta este contorno. É possível realizar projetos de pisos artísticos elaborados constituídos de ladrilhos. No artigo são feitas considerações fundamentais da tecnologia de corte e gravação por ultra-alta pressão e resultado de aplicação em ladrilhos cerâmicos e rochas, feitos no sistema.

Palavras chave:

- 1) Corte por jato de água abrasivo
- 2) Gravação por jato de água abrasivo
- 3) Gravação de rocha ornamental
- 4) Corte de ladrilhos de cerâmica
- 5) Custos operacionais

ABRASIVE WATER JET FOR CUTTING AND ETCHING OF BRITTLE MATERIAL S

ABSTRACT

Advanced water jet technology was used with success to cut ceramic and dimension stone tiles. This technique allows preparing parts with complex boundary lines, not only of ceramic, but also of other hard materials, as rocks. The first stage consists in making the part drawing to be cut at computer software (CAD). The EPUSP acquired equipment, with financial support of FAPESP, transforms this drawing in a manufacturing archive (CAM), which cut on the machine the drawn geometry. It is possible to create fine artistic floor designs composed by tiles. In this article there are presented some basic considerations about the ultra-high pressure cutting and etching technology and results of the application to cut ceramic tiles in the existing system.

1. INTRODUÇÃO

Na introdução são feitas considerações sobre os fundamentos da avançada tecnologia dos jatos de ultra-alta pressão, (acima de 2041 bar) segundo WJTA (1994), para então apresentar a descrição de equipamento adquirido, e, finalmente parte prática, de projeto criativo de uma calçada com ladrilhos cerâmicos, cujos motivos foram cortados, e experiência adquirida durante o trabalho de confecção.

Jatos de água de alta pressão são usados em muitas aplicações na indústria. Uma utilização especial consiste no uso da avançada tecnologia para corte de materiais com o jato de água. Neste processo de corte, a água é comprimida por uma bomba até pressões que podem atingir atualmente até 400 MPa ou mais, então esta água flui, através de tubulação de parede espessa até um bocal. Neste bocal que é constituído de uma jóia (rubi, safira ou mesmo diamante), cujo orifício tem diâmetro é inferior ao milímetro, a energia estática da água é convertida em energia cinética do jato de água. A água neste processo atinge velocidade de 800 m/s, o que corresponde a três vezes a velocidade do som, quando sai do bocal. Com esta alta energia, o jato atinge a superfície do material a ser trabalhado e penetra no mesmo. Dependendo das propriedades do material a ser cortado, o jato projeta-se através do mesmo e forma uma fenda ou ranhura, a qual é tão larga quanto o diâmetro do jato de água. Um tanque, coleta a água após a operação de corte e absorve a energia remanescente do jato de água, bem como os detritos resultantes da erosão do material alvo de corte.

O corte com jato de água de ultra-alta pressão é diferente das aplicações usuais de jatos de água de alta pressão tais como limpeza, remoção de pinturas ou demolição. Para cortar um material, o jato de água, que atua como uma faca ou lâmina de serra, precisa ser ligado e desligado para cada contorno a ser cortado. Portanto, este processo requer diferentes equipamentos.

Comparado com procedimentos de corte convencional de materiais planos, o corte por jato de água de alta pressão tem algumas vantagens características que são:

- a) Nenhuma deformação do material durante o processo de corte;
- b) Nenhuma influência térmica sobre o material;
- c) Nenhuma poeira;
- d) Ranhura estreita;
- e) Perda mínima de material durante o corte;
- f) Ferramenta de corte de fácil manipulação;
- g) Integração da ferramenta de corte nas máquinas de produção;
- h) Cortes em três dimensões;
- i) Início de corte em qualquer ponto da superfície do material,
- j) Uma única ferramenta para elaborar qualquer forma de corte, e,
- k) Rápida e alta reprodutibilidade de peças idênticas.

Pela adição de abrasivos ao jato de água, o desempenho do jato de água de corte pode ser consideravelmente melhorado. Os abrasivos podem ser suspensos na água antes que ela seja pressurizada. Esta suspensão precisa passar por todo o sistema de alta pressão até atingir a cabeça de corte e o bocal em si. Isto causa problemas de grande desgaste em todo o sistema, quando a pressão for elevada. As aplicações comerciais deste processo, conhecido como corte por jato de água abrasivo de suspensão (ASJC - Sigla inglesa para "Abrasive Suspension waterJet Cutting"), são por isso limitados a poucas centenas de bar (30 MPa) (Mendes et al., 2000). O método mais comum é o processo de corte por jato de água abrasivo (AWJC - Sigla inglesa para "Abrasive Water Jet Cutting"), onde os abrasivos são misturados com a água após ela ter deixado o bocal. A alta velocidade de até 800 m/s da água desenvolve um vácuo em uma câmara de mistura onde o mesmo passa. O vácuo é suficientemente intenso para sugar os abrasivos de uma tubulação para dentro da câmara na corrente de água que a atravessa. As partículas de abrasivo são então movidas pelo jato de água, e aceleradas a velocidade de 600 m/s. A água e os abrasivos são focalizados por um bocal secundário na saída da câmara de mistura, antes do meio de corte atingir o alvo. O corte por jato de água abrasivo preferencialmente pode ser usado para materiais duros e mesmo friável, e ele vem aumentando consideravelmente o escopo das aplicações de corte por jato de água.

2. EQUIPAMENTO DE CORTE DE JATO DE ÁGUA

Para o corte com jato de água ou de água e abrasivo de alta pressão um sistema foi adquirido em 1999 nos Estados Unidos e instalado no Laboratório de Mecânica de Rochas do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Lauand et al., 2000a). O sistema é da marca OMAX e o modelo é o de uma mesa XY 2652A. Este sistema permite a partir de chapas dos mais variados materiais cortar peças com contornos dos mais complexos.

Como todo sistema de corte bidimensional, o equipamento é composto por vários componentes que são os seguintes (Figura 1):

- 1) Bomba de alta pressão;
- 2) Sistema de controle (computador);
- 3) Sistema de coleta (tanque de detritos); e,
- 4) Componentes auxiliares.

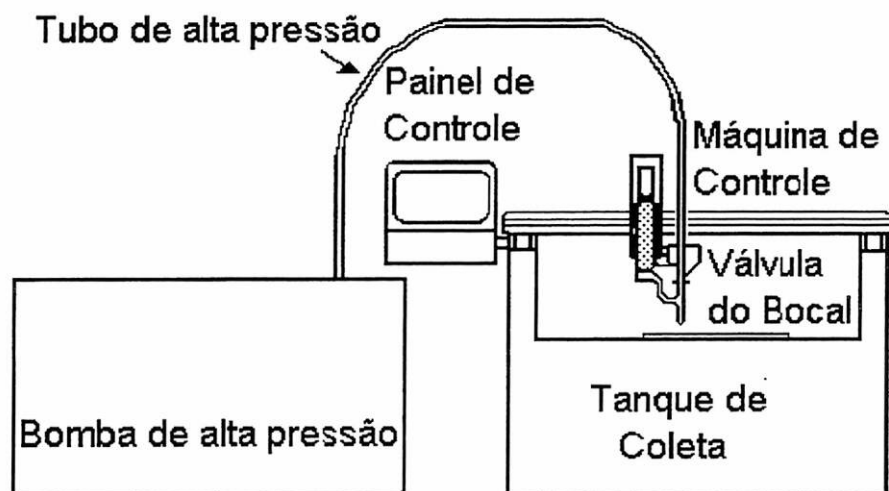


Figura 1 Componentes típicos de uma unidade de corte de jato de água.

2.1. Bomba de alta pressão de água

A água é pressurizada em uma bomba de alta pressão. Através de tubulação de parede espessa, a água flui para a válvula do bocal, que forma a ferramenta de corte. O bocal está integrado numa válvula abre/fecha, que controla o jato de água.

O item chave do sistema de alta pressão é a sua bomba. Esta bomba pode ser uma bomba de pistão ou com intensificador. No caso do sistema adquirido uma bomba com três pistões acionados por um motor elétrico de 17,5 kW, geram uma pressão da ordem de 300 MPa na tubulação de alta pressão.

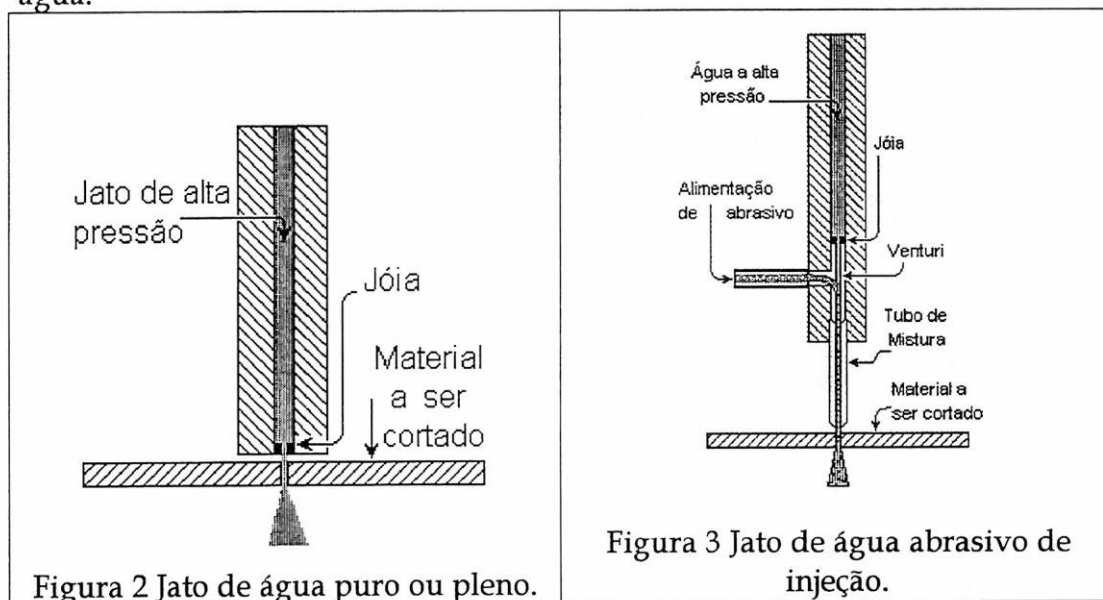
A descarga de água dos pistões da bomba de alta pressão é direcionada para uma tubulação feita com aço inoxidável que liga a bomba com o bocal de corte. Com o objetivo de compensar o movimento do bocal de corte na mesa XY, parte do trajeto da tubulação é flexível antes de atingir o bocal.

O bocal de corte é integrado numa válvula abre/fecha. Esta válvula é controlada por um atuador pneumático. O atuador inicia ou para o jato de água como requerido pelo processo de corte. O bocal de corte pode ser de dois tipos: bocal de jato d'água plena e bocal de jato d'água abrasivo.

No bocal de jato d'água plena (Figura 2) apenas o orifício da jóia com diâmetro de 0,36 mm de diâmetro de safira ou rubi está colocada na saída do mesmo.

No bocal de jato d'água abrasivo (Figura 3) a mesma jóia localizada mais acima cria um jato, que seria o bocal primário. Este jato é dirigido para um segundo bocal de material cerâmico com cerca de 10 cm de comprimento e diâmetro interno de 0,76 mm chamado de tubo de mistura. Na parte superior ele é cônico

criando uma câmara de mistura onde tem acesso o abrasivo. O jato de água passando pela câmara cria um vácuo (efeito de tubo de Venturi) suga e mistura as partículas de abrasivo com água. O abrasivo armazenado num silo, tem sua alimentação feita pela mesma válvula pneumática que liga/desliga o jato de água.



2.2 Sistema de controle

A válvula do bocal bem como o próprio bocal de safira está fixado num sistema de controle. Este sistema é designado de mesa XY capaz de mover a cabeça de corte de tal forma sobre a peça em trabalho precisamente para que determinado contorno desejado possa ser atingido. O sistema de controle neste caso é bidimensional. O sistema adquirido na OMAX tem a viabilidade de cortar peças ou chapas de até 66 cm de largura (26 polegadas) por 132 cm de comprimento (52 polegadas) por isso, o modelo é designado de 2652A. Dependendo da aplicação, a precisão do sistema de movimentação pode ser da dimensão da faixa do diâmetro do jato de água ou maior. Uma precisão típica absoluta do sistema de movimentação é de $\pm 0,2$ mm. A reprodutibilidade é sempre algo melhor que este valor. A velocidade de translação do sistema precisa ser ajustada para uma razoável faixa, para atender o corte de diferentes tipos e espessuras de materiais com um desempenho e qualidade ótimos. Portanto, todo o gerenciamento do sistema é feito através de um computador que utiliza um programa para controlar todo o conjunto e a abertura e fechamento de válvulas de alimentação de abrasivos ou jato de água. O sistema é bastante simples de operar.

2.3 Sistema de coleta

Oposto ao bocal que é vertical, abaixo da peça em trabalho, existe um sistema de coleta. O sistema de coleta alivia a energia remanescente do jato de água

após a operação de corte. Adicionalmente, o sistema de coleta reduz consideravelmente o nível de ruído, que é desenvolvido pelo jato de água quando ele atravessa o ar. Adotando-se o método de cortar o material abaixo da água diminuí-se o ruído do sistema. Uma solução padrão do sistema de coleta é um tanque preenchido com água. O sistema de coleta neste caso também forma a mesa de corte onde a peça em trabalho é colocada. Corte com abrasivos requer um revestimento resistente ao desgaste do tanque de coleta. Ele pode também ser preenchido com barras de aço ou pedras além da água. O tanque dispõe em sua parte superior uma série de chapas de aço (folhas de flandres) encaixadas lateralmente e espaçadas entre si de 25 mm, formando uma grelha. De tempos em tempos, estas chapas precisam ser viradas, e, finalmente substituídas, especialmente quando se corta com abrasivos, porque elas também são cortadas em parte pelo jato de água.

2.4. Sistemas Auxiliares

O processo de corte por jato de água pode ser suportado por diversos sistemas os quais elevam seu desempenho e tempo de vida dos componentes, simplificam o manuseio, ou são requeridos para obedecer a condições legais ambientais.

A água usada para corte, deve ser cuidadosa-mente tratada para reduzir a atividade química. Portanto um sistema de destilação foi instalado no Módulo de jato abrasivo instalado. Unidades de filtros são requeridas para remover sólidos da água de alimentação para aumentar a vida dos elementos de alta pressão e pistões bem como a vida de bocais.

Como os abrasivos e os resíduos do corte são coletados no sistema do tanque, o coletor precisa ser limpo freqüentemente. Isto requer a parada da máquina de corte resultando em uma perda de tempo de produção. Instalação de um sistema de manuseio de no fundo do tanque de coleta, pode remover automaticamente os sólidos do tanque. Como os sólidos precisam ser elevados acima do nível de água do tanque, um sistema de desaguamento de sólidos deve ser previsto e faz o manuseio dos resíduos mais fácil. O nível do tanque de coleta é controlado por uma alavanca no painel de controle. A água que deixa o tanque não está totalmente livre de sólidos. Por isso, um ciclone pode ser usado para remover os sólidos remanescentes da água antes que a mesma seja conduzido ao sistema de esgotos.

Quando se corta com abrasivos, a razão de fluxo de abrasivos é controlada por uma válvula pneumática por ar comprimido fornecido por um compressor.

O desempenho do corte é influenciado por diversos parâmetros. Os mais importantes parâmetros de corte são a pressão de operação e a razão de fluxo da água. Estes dois parâmetros representam o desempenho do sistema. Para a

maioria dos materiais, um crescimento linear da velocidade de corte com pressão crescente pode ser esperado. O mesmo efeito é observado quando a razão do fluxo de água a pressão constante é aumentada.

A pressão de operação do sistema adquirido é da ordem de 290 MPa (42.000 psi). O fluxo de água é da ordem de 4 l/min. O abrasivo utilizado no sistema é granada na granulação de 80 malhas.

3. PROJETO DE CORTE DE MATERIAL CERÂMICO

3.1 Etapas do Projeto e aspectos iniciais

Fundamentalmente, na prática três são as etapas de realização ou fabricação de uma peça. A parte inicial é realizar um desenho em escala da peça. O que pode ser feito no próprio software que acompanha o sistema, ou num programa CAD qualquer. Este desenho cria um arquivo com extensão .DXF (Programa "Layout").

A segunda etapa constitui a ordenação do corte a ser realizado, isto é, linhas adicionais são acrescentadas para definir a rota ou percurso do bocal. Portanto a ordenação é uma seqüência lógica de movimentos para posicionamento do bocal, incluindo-se deslocamentos sem corte e início e fim de corte das várias linhas de múltiplos pontos do desenho CAD. Portanto, um arquivo com extensão .ORD e mesmo nome do de extensão .DXF é gerado (Programa "Order").

A terceira e última etapa é a realização automática do corte da peça. São fornecidos ao computador dados adicionais sobre a espessura e natureza do material alvo a ser cortado e através do arquivo com extensão .ORD o equipamento transforma estes em dados CNC ("Computer Numeric Control"), que automaticamente faz a movimentação do bocal de confecção (Programa "Make").

O computador e o sistema de controle por barra de deslocamento preciso do bocal, estão devidamente protegidos dos abrasivos, da água e umidade. As barras guias, por isso, estão encapsuladas e são feitas de material resistente.

Na indústria de rochas ornamentais e pisos cerâmicos, o corte por jato de água abrasivo iniciou uma nova era de manufatura de revestimentos, mosaicos ou padrões que não são formados pelas geometrias restritas de um quadrado, um retângulo, um triângulo, ou ainda hexágono. O jato de água torna possível cortar com facilidade qualquer padrão ou contorno a partir de ladrilhos, chapas ou blocos.

Um padrão, por exemplo, pode ser cortado de ladrilhos com cores diversas

sendo um projeto específico. Usando se ladrilhos de cores distintas, diversos motivos são selecionados para compor o conjunto. Depois de feito o corte, as peças podem ser combinadas de modo diverso, como mostrado na figura 4. Como a ranhura aberta é milimétrica uma quantidade mínima de material é perdida.

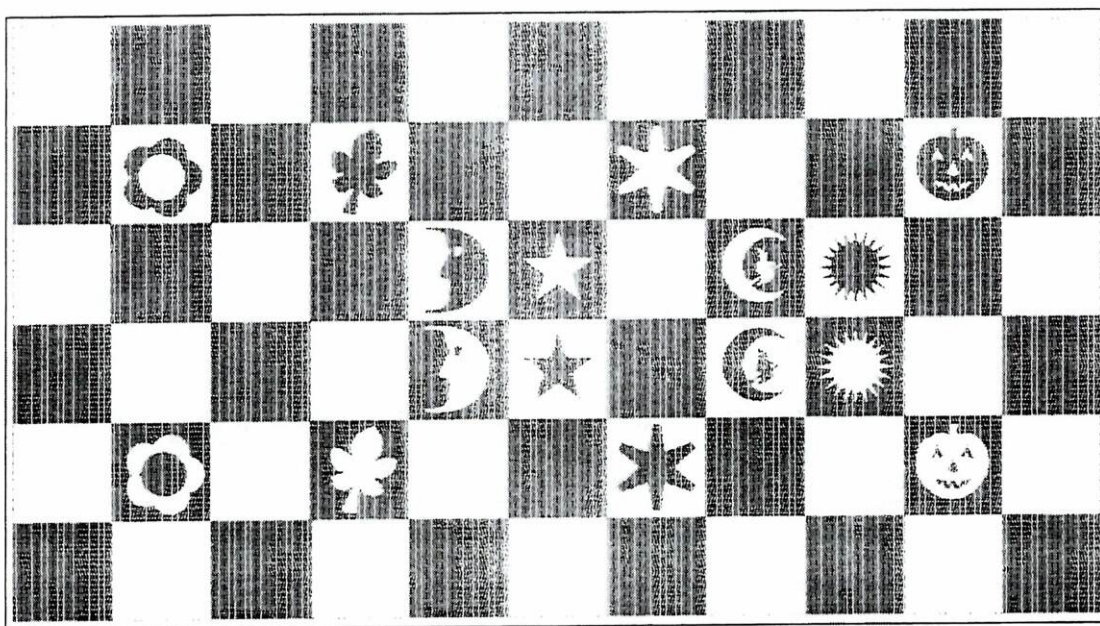


Figura 4 Combinação de ladrilhos de duas cores para formação de piso.

Portanto, nesta figura 4, foi projetado o corte de 8 diferentes contornos ou motivos de ladrilhos e como cada qual destes motivos precisa ser recortado em duas cores obtemos 16 ladrilhos em que cada par de desenhos representa um motivo. Assim, os 16 ladrilhos foram distribuídos na calçada que ao todo continha 66 ladrilhos. O espaço coberto era de 2 metros de largura por 3,70 de comprimento e ladrilhos cerâmicos quadrados antiderrapantes de 33 cm de lado, foram adquiridos nas cores areia e bege. Portanto, a área coberta tem 7,40 metros quadrados.

3.2. O desenho ("Layout")

A primeira etapa, como referido acima, constituiu criar o desenho dos oito motivos da calçada acima apresentada usando o programa “Layout” do programa de computador ou um programa CAD. Estes desenhos foram a abóbora, a estrela1, a estrela2, a folha, a flor, a lua, a lua e bruxa e o sol.

A figura 5, mostra a tela do programa “Layout” com o detalhe do desenho da linha de múltiplos pontos (polilinha) na tela para um dos motivos, o do desenho da abóbora.. No fundo negro da tela existe uma rede branca que nos indica a escala do desenho, pois suas retas estão espaçadas de 25,4 mm (1 polegada). As retas de cor verde, que envolvem a abóbora representam o limite do ladrilho de 330 mm.

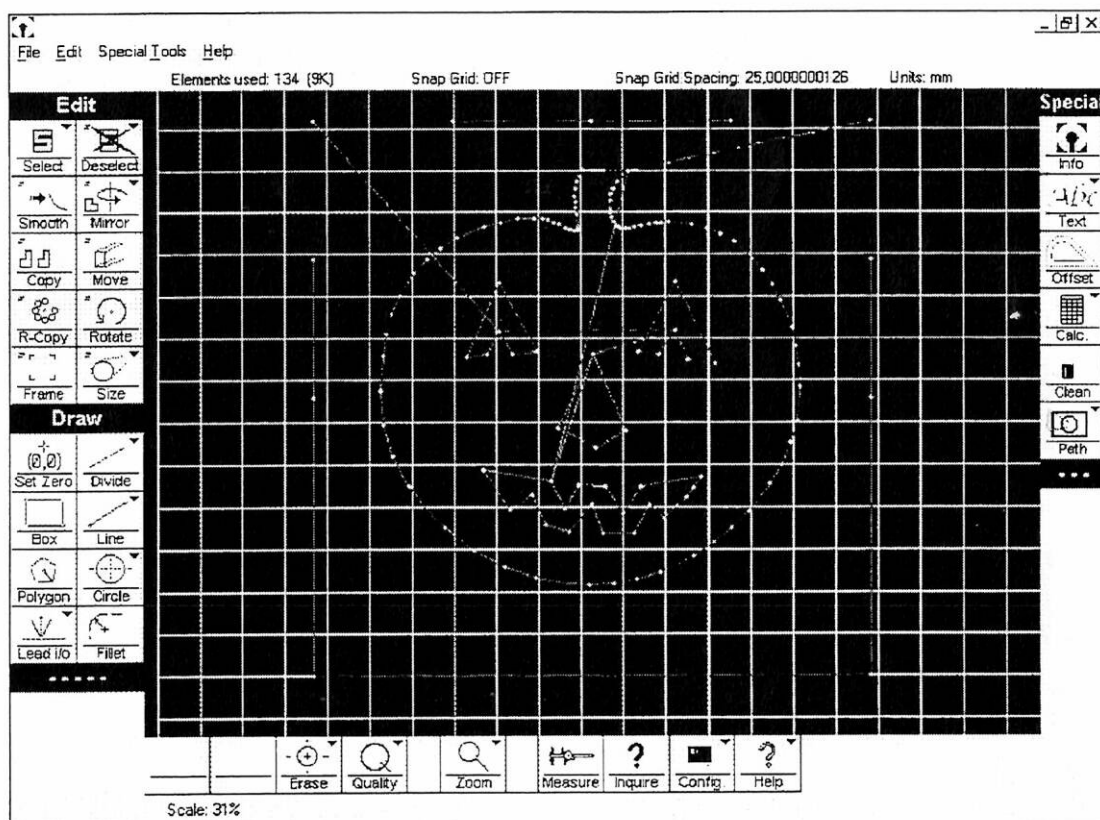


Figura 5 – Tela do programa “Layout” com o desenho da abóbora.

Na figura 6, é mostrado um detalhe da linha de múltiplos pontos do caule da abóbora. A linha ao ser desenhada tem inicialmente uma cor verde. Um conjunto de linhas que conformam o contorno da peça a ser cortada é selecionado.

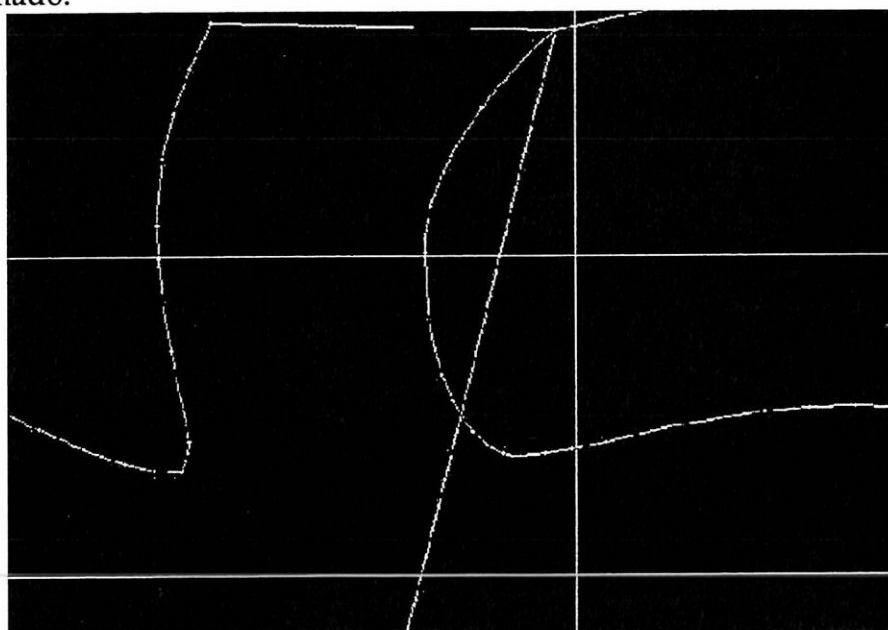


Figura 6 – Detalhe do caule da abóbora.

Quando isto é feito, as linhas tomam a cor amarela, e pode-se então colocar uma cor específica neste contorno a ser cortado, que pode ter cinco qualidades, que vão da cor vermelha, menor qualidade e maior velocidade de corte, até azul, melhor qualidade e velocidade de corte mínimo. A cor lilás, usada para o corte da abóbora representa uma qualidade intermediária, com velocidade média.

Um corte liso requer uma velocidade de corte mais lenta que um corte rugoso. Um aumento na velocidade de corte também aumenta o arco da frente de corte do jato de água (vide figura 7). Este efeito também pode ser observado nos processos de corte por chama e plasma. Aumentar a velocidade de propagação aumenta conseqüentemente o arco do corte. Ao mesmo tempo, menos energia está presente na saída do corte e o jato de água inicia a oscilar na direção do corte e normal a esta direção. Ambos efeitos são responsáveis pelo dramático decréscimo na qualidade do corte em direção a saída do corte. O arco é também responsável que a ranhura se torna mais estreita na saída do corte. Diminuindo a velocidade de propagação na maioria dos materiais propaga este efeito ao redor, o que significa, que, quando a velocidade de corte é suficientemente lenta, a ranhura decresce em direção a saída. Um aumento na distância de afastamento do bocal diminui o desempenho do corte, especialmente a velocidade de corte bem como a qualidade do corte.

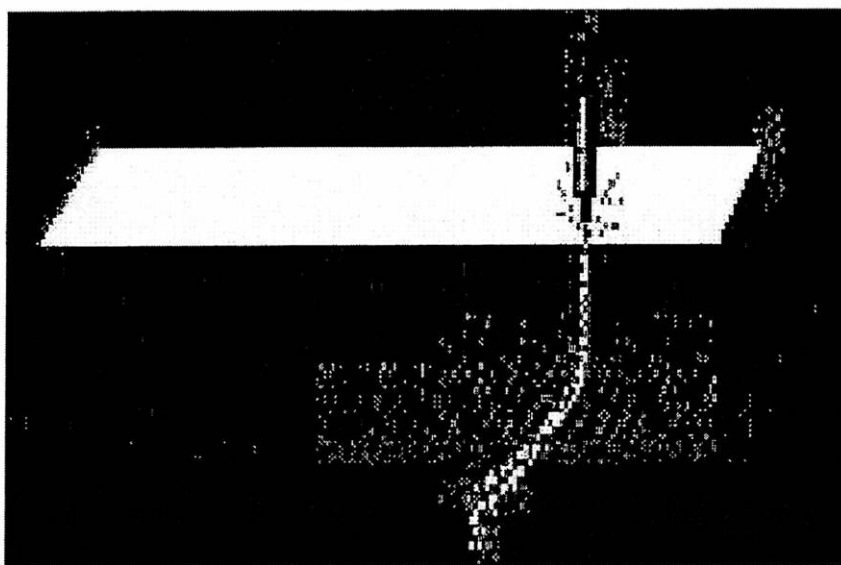


Figura 7 – Frente de corte do jato.

Em adição a isso, existem mais alguns parâmetros que influem no desempenho do corte. Um aumento na quantidade de abrasivo aumenta a velocidade de corte. É interessante, que isto só sucede até determinada quantidade de abrasivo adicionado. Quando a quantidade de abrasivo é aumentada além deste ponto, a velocidade de corte se reduz novamente. A razão pode ser encontrada na quantidade de grãos no processo de corte que começam a se atrapalhar mutuamente quando seu número é muito elevado. A velocidade de corte máximo como função da quantidade de abrasivo alimentado pode ser

observado para cada dimensão de grão. A dimensão dos grãos também influencia a velocidade de corte. Em uma alimentação constante de peso de abrasivos adicionados, a velocidade de corte aumenta quando as dimensões dos grãos diminuíram. Isto é porque o número de partículas aumenta. Quando a dimensão dos grãos é diminuída adicionalmente, a velocidade de corte decresce novamente porque agora o número de partículas se torna muito elevado. As partículas perdem uma quantidade de sua energia por colisão com outras partículas e por fricção no tubo de focalização, e menos energia está disponível para a operação de corte.

A forma dos grãos também influencia a velocidade de corte (Martín et al., 2000). O corte por jato de água abrasivo é principalmente um processo de erosão. Portanto, usando um grão afiado resulta em uma velocidade de corte mais elevada do que um grão arredondado. Grãos mais duros cortam mais rapidamente que os mais moles. Com carbureto de silício (carborundo), uma velocidade de corte pode ser atingida até de 100% mais rápida que cortando com a mesma quantidade de fragmentos de granada normais. Porém o desgaste do bocal de focalização também é muito mais elevado com carborundo que com Granada. Com o uso de Granada, uma relação ótima de custo/desempenho é atingida para a maioria dos materiais a serem cortados usando a tecnologia do jato de água abrasivo. Para materiais mais moles tais como vidros flutuantes, o uso de olivina gera um corte muito mais liso.

Realizado, o desenho pela linha de múltiplos pontos será necessário na segunda etapa do projeto ordenar estes pontos para instruir a máquina qual será a sequência dos cortes, para que o bocal siga uma rota específica para o corte da peça. Isto é o objetivo a ser descrito no item seguinte.

3.3 O caminho (“Order”)

No caso do motivo da figura 4, a abóbora existem 5 cortes a serem efetuados a saber, os dois olhos, o nariz, a boca e o contorno externo. Portanto, haverá cinco ocasiões para ligar/desligar o jato de água abrasivo para o corte da peça. Em muitos dos motivos escolhidos pode haver o caso de apenas uma linha ser cortada, portanto, o ciclo da bomba será único. Este é o caso dos motivos: lua e bruxa, sol, estrela1, estrela2 e folha. Nos casos da flor e da lua existem dois cortes, e neste caso a bomba de alta pressão será ligada e desligada por duas vezes, durante a confecção do motivo.

Para a ordenação, ou seja, gerar um arquivo de extensão .ORD, usa-se o mesmo programa “Layout”, acrescentando ao desenho realizado do arquivo de extensão .DXF linhas auxiliares verdes, que vão instruir a máquina qual o percurso ou rota que o bocal deve realizar. Nesta ordenação, há uma lógica a ser seguida, que consiste em cortar no início os furos ou contornos internos, e só a seguir o contorno externo. Isto é lógico, pois se cortamos o contorno externo

primeiro, este fica solto e não conseguimos com precisão acertar a posição das peças internas.

Na figura 5, cerca de 6 retas de cor verde foram adicionadas ao desenho da abóbora, e que são:

- 1) reta que vai do limite superior esquerdo do ladrilho até o olho direito do motivo;
- 2) reta que vai do olho direito para o olho esquerdo;
- 3) reta que vai do olho esquerdo para o nariz;
- 4) reta que vai do nariz para a boca;
- 5) reta que vai da boca para o caule da abóbora no contorno externo; e,
- 6) reta que vai do caule para o limite superior direito do ladrilho.

Desenhadas as retas auxiliares, está se apto a criar o arquivo de ordenação que instruí a máquina a confeccionar automaticamente os desenhos. Para isto, usa-se o botão caminho ("path" vide figura 5), que irá indagar o nome do arquivo .ORD a ser gerado. A seguir onde é o início da rota. Definido este ponto como o do limite superior esquerdo do ladrilho, o programa ao encontrar duas ou mais linhas em certo ponto a percorrer indaga qual o bocal deve seguir. Isto irá suceder na outra extremidade da reta de início ao pretender fazer o corte do primeiro olho.

O usuário tem a sua escolha cortar no sentido horário ou anti-horário. Ao cortar no sentido anti-horário, o sistema corta externamente a linha compensando o cerca de 0,5 mm da largura da ranhura. Caso contrário, isto é, cortando-se no sentido horário, o corte será feito sobre a linha, e com isso a peça será algo menor que a projetada. Portanto, por 5 vezes durante o trajeto o usuário define a rota a ser seguida, e atingindo a extremidade final da reta no canto superior direito do ladrilho o programa gera automaticamente o arquivo de extensão .ORD, que fez a ordenação do corte para a máquina.

Passa-se então para a confecção do motivo, que é realizado pelo programa confeccionar ("make"), que é tratado no item seguinte.

3.4 A manufatura ("make")

A terceira e última etapa do processo consiste em realizar o corte programado e devidamente ordenado do arquivo .ORD. Para isto, acionando o botão do confeccionar (vide "make") a peça desenhada aparece na tela com a questão: É a abóbora a peça a ser cortada? Respondendo afirmativamente, o programa indaga a espessura do material e a seguir a sua maquinabilidade.

Os ladrilhos de cerâmica vermelha, com acabamento nas cores areia e bege, tinham cerca de 5 mm de espessura, e adotamos para os mesmos a maquinabilidade de 635 do mármore branco.

A maquinabilidade do material que na realidade é o inverso de sua capacidade de erosão foi definida por Zeng. Na Figura 8 são apresentados os valores da maioria dos materiais de engenharia (Zeng, 1988).

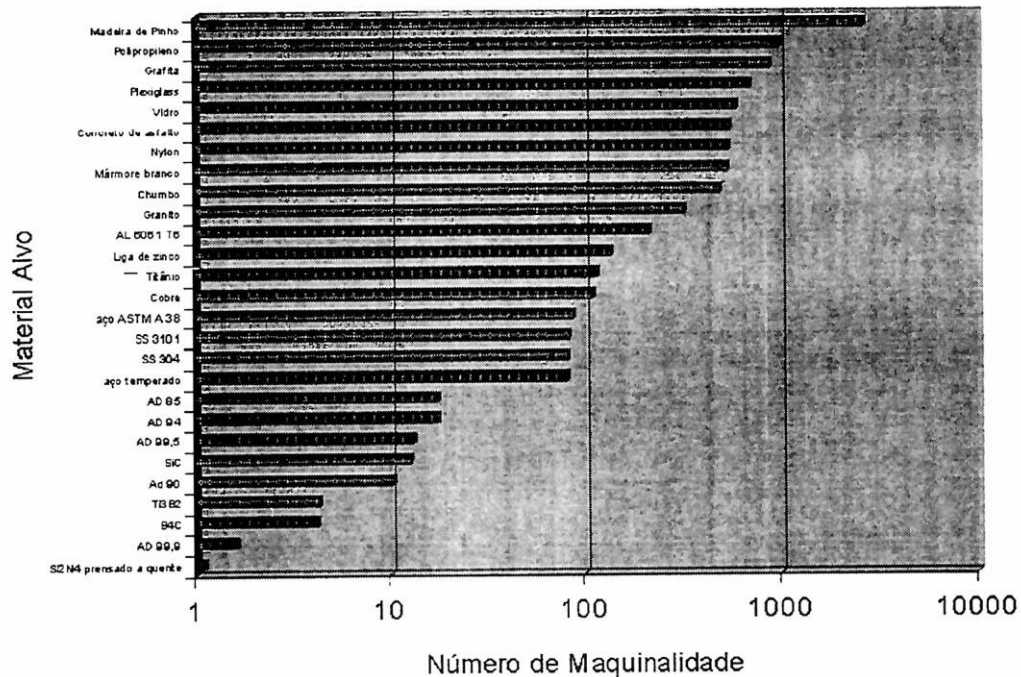


Figura 8 – Número de Maquinabilidade de Materiais de Engenharia (apud Zeng, 1998)

Feito isto, à distância de afastamento do bocal é praticamente constante da ordem de 3 mm, e definimos o número de oscilações para perfuração da peça. A máquina realiza então seus cálculos, para o corte dos motivos. Na tabela 1 estão indicados: o número de ordem, o nome do motivo a ser cortado, o tempo para a realização do corte, o comprimento da rota de corte e total, a largura e altura desta rota e a velocidade do bocal. Nas duas últimas linhas o subtotal para 8 ladrilhos e total para 16 ladrilhos estão relacionados.

Na figura 9 são mostradas, 12 fotografias dos cortes realizados em ladrilhos de cerâmicos vermelha. Nesta figura sete dos oito motivos do projeto da calçada a ser construída, estão ilustrados.

Tabela 1 – Principais características dos motivos no programa confeccionar.

Nº	Motivo	Tempo (min)	Abrasive (kg)	Nº de ciclos	Extensão do corte (mm)	Rota total (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)	Velocidade (mm/s)
1	Abóbora	2,30	0,5	5	1.611,08	2.349,26	330	274,68	20,967
2	Estrela1	1,00	0,3	1	1.251,91	1.642,37	330	307,40	28,121
3	Estrela2	1,00	0,2	1	905,70	1.350,90	330	267,12	20,573
4	Folha	1,49	0,4	1	1.208,65	1.856,51	330	283,12	17,195
5	Lua	1,12	0,3	2	959,48	1.441,64	330	283,13	23,715
6	Lua/bruxa	1,37	0,4	1	1.508,64	2.114,22	330	278,87	23,606
7	Flor	1,22	0,3	2	1.275,40	1.800,55	330	292,46	28,063
8	Sol	1,48	0,4	1	1.985,84	2.387,75	330	290,99	27,147
	Subtotal	10,98	2,8	14	10.706,70	14.943,20			23,678
	Total	21,96	5,6	28	21.412,40	29.886,40			

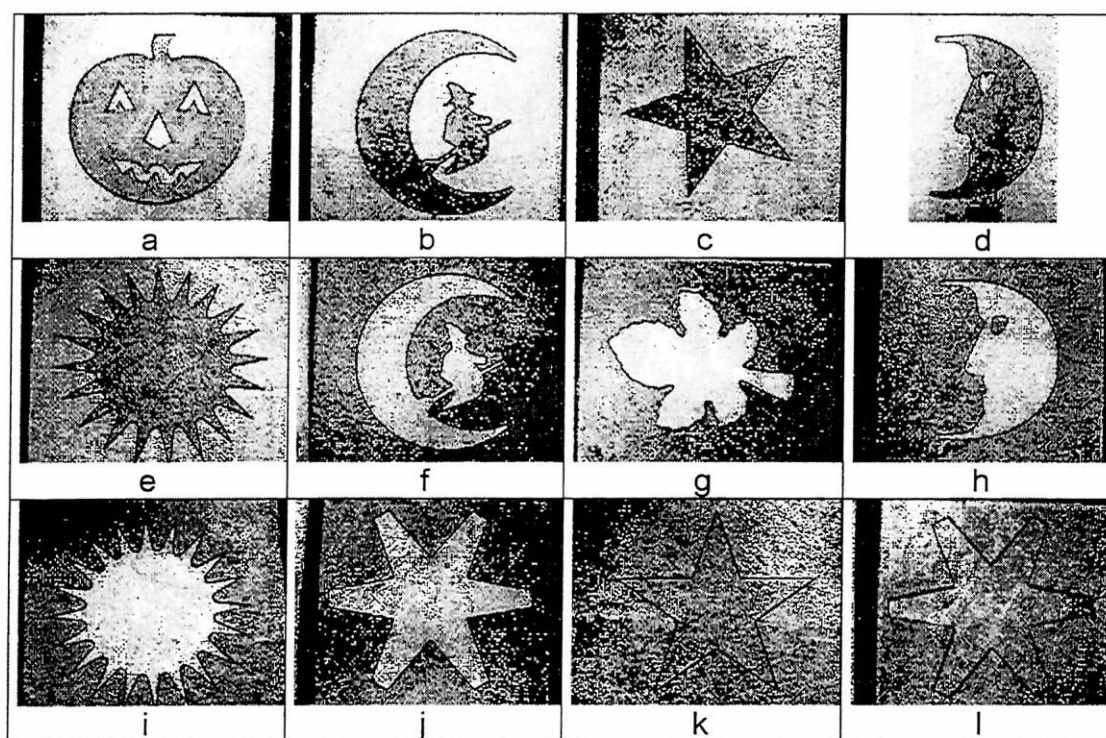


Figura 9 – Vista de sete motivos cortados pelo jato de água abrasivo.

Na maioria das fotografias, a composição final, isto é, a troca dos componentes dos dois ladrilhos foi realizada mostrando-se o desenho final. Contudo, as duas últimas fotografias 9k e 9l mostram o ladrilho recortado, com a mesma peça em seu interior para uma melhor visualização e percepção da reprodutibilidade e precisão do corte realizado no sistema.

Na figura 10 é mostrada a calçada final construída com motivos diversos no jardim, onde o projeto inicial de corte pelo jato de água abrasivo foi realizado com sucesso em ladrilhos de duas cores.

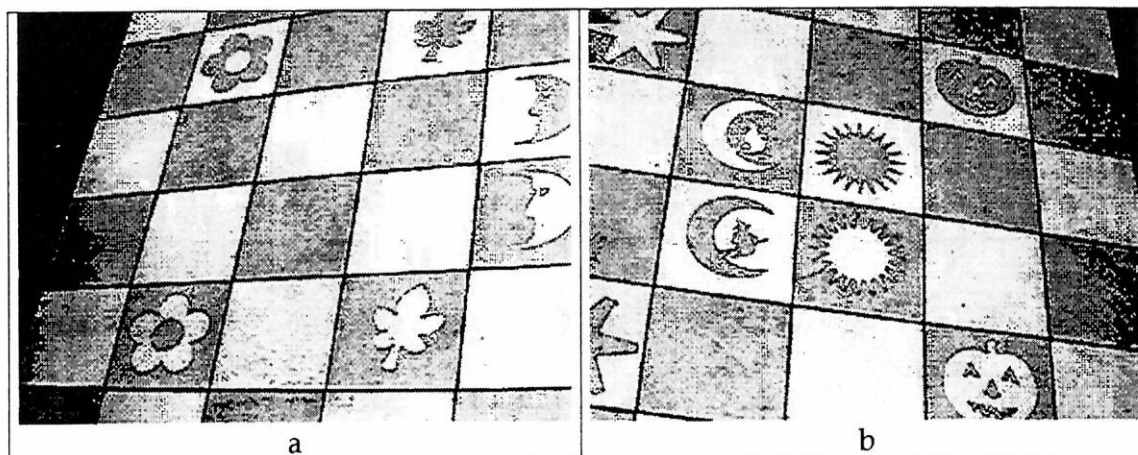


Figura 10 – Duas vistas da calçada construída com ladrilhos cortados com jato abrasivo.

3.5. Problemas práticos e suas soluções

Durante a realização do corte surgiu um problema, que está ilustrado nas três fotografias da figura 11. O aparecimento de lasca na cerâmica no início do corte. Existe uma esponja ao redor do bocal para evitar os respingos, e a lasca foi carregada com a mesma. Na foto 11a vê-se o ladrilho final cortado sem a lasca, a foto do 11b mostra o detalhe, e a foto 11c o detalhe com a lasca recolocada.

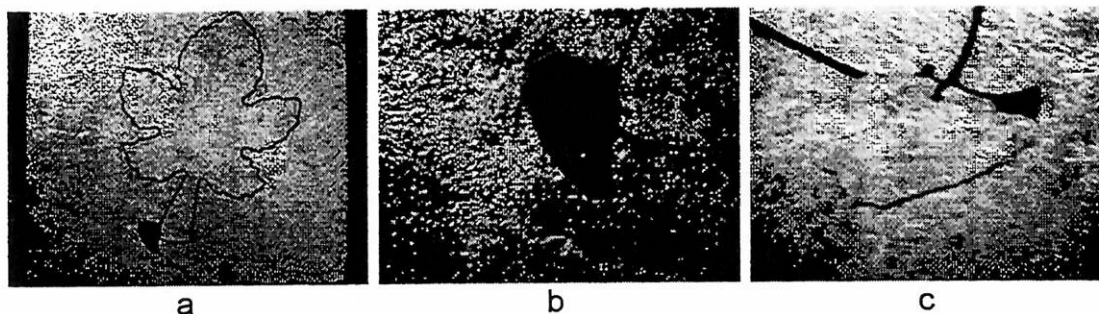


Figura 11 – Lasca de ladrilho no início do corte.

A solução encontrada para evitar o aparecimento destas lascas foi colocar fita de papel crepom sobre o ladrilho conforme mostra a figura 12, no ladrilho preparado para corte de um motivo de estrela (foto 12a) e o resultado após o corte (foto 12b).

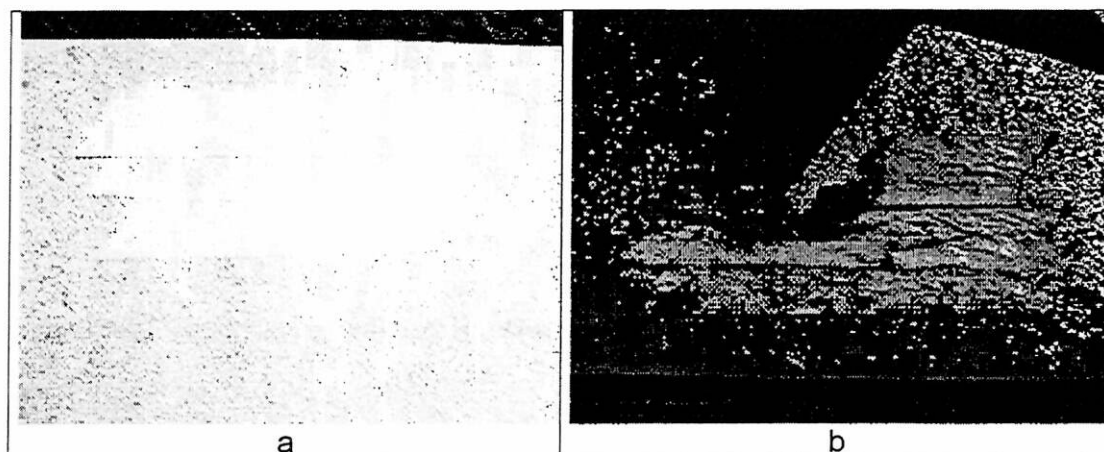


Figura 12 – Cobertura do ladrilho com fita de papel crepom.

A reciclagem dos abrasivos normalmente não é econômica porque a dimensão dos grãos é reduzida consideravelmente durante a focalização e corte. O abrasivo neste caso precisa ser separado da água, seco em um processo caro de consumo de energia, classificado, para remover os grãos finos que reduzem a velocidade de corte. Como o Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Universidade de São Paulo dispõem de um laboratório de Tratamento de Minerais, esta reciclagem é possível. Somente cerca de 40% do material é misturado com abrasivo novo para ser usado após uma classificação por peneiras.

Aumentando a velocidade do bocal e diminuindo a pressão, uma ranhura ou depressão pode ser criada ao invés de corte do material. Este sulco pode posteriormente ser preenchido com um metal ou algum cimento colorido para formar um padrão atrativo. A placa de mármore usada para assinalar o agradecimento a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo auxílio financeiro recebido e que está em nosso laboratório (vide Figura 13) é um belo exemplo deste procedimento de gravação de rocha ornamental.



Figura 13 – Placa de mármore gravada e preenchida com rejunte de ladrilho colorido.

3.6. Custos e Desempenho

Como já citado, a velocidade de corte que pode ser atingida com o jato de água, depende da espessura do material a ser cortado. É importante, principalmente para o corte com jato abrasivo, conhecer os limites econômicos da aplicação do processo.

O desempenho de um jato de água de ultra-alta pressão e o custo do corte por metro sob as seguintes condições: Pressão de operação: 320 MPa; Diâmetro do orifício: 0,3 mm; Diâmetro de foco: 0,8 mm; Tipo de abrasivo: Granada; Granulação: 80#; e, Razão de fluxo de massa de abrasivo: 400 g/min, (Peters, 1998) vai de 8 marcos para aço com 5 mm de espessura até 110 marcos na espessura de 45 mm.

Apenas para uma pressão pouco inferior de 290 MPa e as demais condições parecidas uma estimativa de custos foi feita para o corte de ladrilhos de cerâmica com 5mm de espessura revela ser da ordem de R\$ 2,75 /m de corte. Para a estimativa de custos, os itens considerados estão resumidos na Tabela 2. Na tabela foram usados elementos conhecidos, bem como avaliados no sistema, como o fluxo de abrasivos (Lauand, 2000). O custo total do corte dos motivos da calçada foi de R\$ 58,96 e o custo por metro quadrado de R\$ 7,97.

Tabela 2 – Estimativa de custo de corte de cerâmica corte por jato abrasivo.

Item	Moeda	Valor
1.- Custo de aquisição do equipamento:	US\$	120.000,00
2.- Taxa Alfandegária, Imp. Importação e ICMS	US\$	85.440,00
Total	US\$	205.440,00
Amortização 10.000 horas Custo horário	US\$	20,54
Juros anuais 20%	US\$	4,11
Custo horário de propriedade	US\$	24,65
Taxa cambial (1US\$ = 2,5 R\$)	R\$	61,62
3.- Custo de operação (por hora)		
3.1 Operador (Mão de obra)	R\$	17,00
3.2 Abrasivo	R\$	38,40
3.3 Tubo de mistura e jóia (subst. em 40 horas)	R\$	20,35
3.4 Energia (R\$ 0.25/kwh)	R\$	4,50
3.5 Manutenção da mesa	R\$	2,55
3.6 Substituição de Comp. de alta pressão	R\$	9,43
3.7 Sistema de água destilada (240 l/h)	R\$	4,80
3.8 Ar comprimido	R\$	2,35
Total do custo de operação	R\$	99,38
4.- Custo total de propr. e operação por hora	R\$	161,00
Custo por minuto	R\$	2,68
p/m de corte na espessura de 5 mm cerâmica	R\$	2,75
Custo total da calçada (21,96 min)	R\$	58,96
Custo da calçada (por metro quadrado)	R\$	7,97

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS E AGRADECIMENTOS

Na comparação entre eficiência e custos para diferentes métodos verifica-se, que os processos térmicos tem vantagens na velocidade de corte e subsequentemente nos custos do corte também. Portanto, o jato de água abrasivo somente deve ser usado se suas vantagens efetivamente trabalham.

Na indústria de rochas ornamentais e na indústria cerâmica de ladrilhos, o jato de água abrasivo tem se tornado bastante importante porque os processos de corte térmico não podem ser aplicados. Até a introdução do corte por jatos abrasivos o corte de rochas ornamentais e cerâmicas era realizado com serras e máquinas de desbaste. Com as serras circulares adiamantadas, somente cortes retilíneos eram feitos. Os contornos apenas podiam ser ajustados manualmente. O jato de água abrasivo torna possível cortar qualquer contorno em praticamente qualquer material que é usado nas indústrias de rochas ornamentais e correlatas. Mesmo materiais extremamente duros e friáveis podem ser cortados com este método a razoável velocidade.

Os AA. desejam deixar aqui expressos os seus mais profundos agradecimentos a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, sem cujo apoio muito do que foi realizado não poderia ser aqui registrado.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- LAUAND, C. T. 2000 *Determinação do fluxo de massa de abrasivos*. In: Apostila de curso de pós graduação PMI-5810 Corte não convencional de materiais HENNIES, W. T. & F. FUJIMURA Departamento de Engenharia de Minas - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo pp. 128-132.
- LAUAND, C.T.; MARTÍN C., G.R.; HENNIES, W. T.; CICCUCI, R. 2000a 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., Calgary, 2000. *Proceedings*. Calgary, 2000. p. 711-16.
- LAUAND, C.T.; MARTÍN C., G.R.; HENNIES, W. T.; CICCUCI, R. 2000b Rock Technological Parameters Useful to Water Jet Cutting Systems. In: International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, 9 Eds. G. N. Panagiotou e T.N. Athens Greece Michalakopoulos A. A. Balkema, Rotterdam p – 625-630.
- MARTÍN, C., G.R.; LAUAND, C.T.; HENNIES, W. T.; CICCUCI, R. 2000 Abrasives in Water Jet Cutting Systems. In: International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, 9 Eds. G. N. Panagiotou e T.N. Athens Greece Michalakopoulos A. A. Balkema, Rotterdam p – 641-645.
- MENDES, M.L.A.; SOARES, L.; HENNIES, W.T.; CICCUCI, R.; BORTOLUSSI A. 2000 Application of Pre Mixed Abrasive Water Jet for Maintenance of Oil and Gas Ducts In: International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, 9 Eds. G. N. Panagiotou e T.N. Athens Greece Michalakopoulos A. A. Balkema, Rotterdam p – 653-656.
- PETERS, H. 1998 Stationary jet cutting of construction engineering materials. In Momber, A (ed.) *Water Jet Application in Construction Engineering* A.A. Balkema Rotterdam p. 367-383.
- WJTA 1994 *Recommended Practices For The Use Of Manually Operated High Pressure Waterjetting Equipment*. Water Jet Technology Association, St Louis, MO, USA.
- ZENG, J. & KIM, T. 1998 Application of a brittle erosion model for abrasive waterjet cutting of asphalt concrete. In Momber, A (ed.) *Water Jet Application in Construction Engineering* A.A. Balkema Rotterdam p. 149-159.

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 Crolita 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 Moinho 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 Consequências 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 Alvejamento 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 (Acrilamidoxima) - WALDEMARA VITTSCHER, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- 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 Minero-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 - Estimativa 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 FLÔRES, 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 MARTÍN CORTÉS, 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 Jacaré – 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 Contaminado 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, WILDO 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. DE 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 – PLÍNIO 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 Centrífugos – 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 Cíveis 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, ARTHUR 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 - MÁRCIO DELCHIARO NIEBLE, FERNANDO FUJIMURA

