

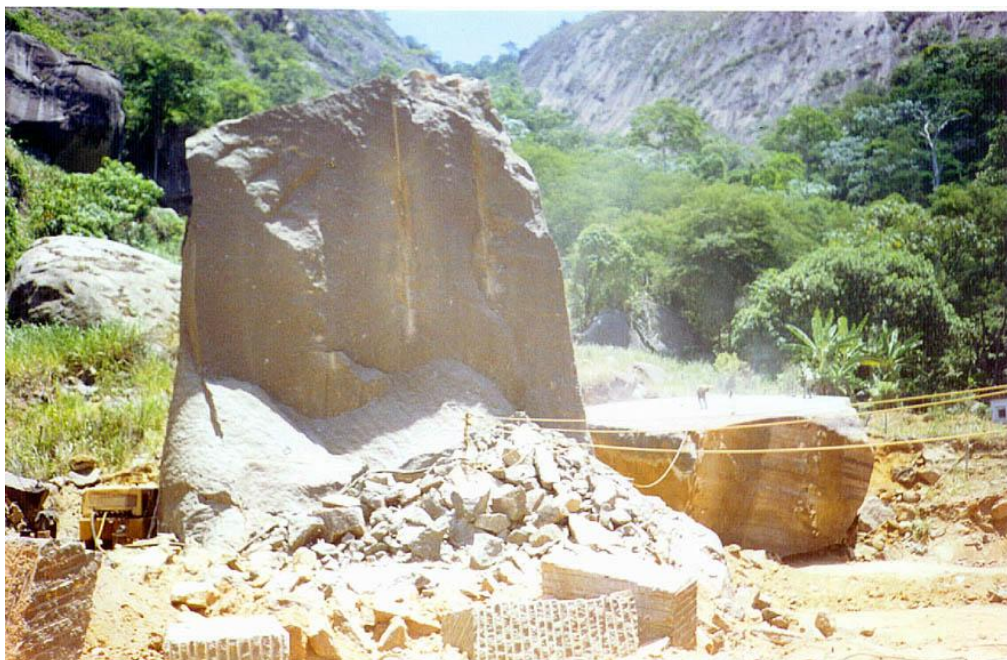


O Emprego da Argamassa Expansiva Fract.Ag na Extração de Rochas Ornamentais

A crescente aplicação mercadológica dos produtos lapídeos tem sido responsável, nos últimos anos, pelo rápido progresso da atividade de extração das rochas ornamentais, através da utilização de técnicas modernas de produção, motivadas pela necessidade de melhoria da qualidade do produto (blocos), valorização da proteção ambiental, melhoria das condições do ambiente de trabalho, e, sobretudo, pelo aspecto econômico.

No que se refere as tecnologias de corte, verifica-se, por exemplo, o crescente emprego do fio diamantado nas pedreiras de materiais calcários (mármore) e de materiais silicáticos (granitos e quartzitos), realizando progressos notáveis, com substituição progressiva das tecnologias dominantes no passado recente.

Todavia, ainda é comum o emprego de tecnologias que muitas vezes comprometem a integridade físico-mecânica da rocha, provocando o aparecimento de fraturas secundárias, como é o caso da utilização de maçarico (flame-jet) e de cordel detonante (acessório de detonação usado, em algumas situações, imerso em água no interior dos furos). Cortes irregulares também são gerados, com grande frequência, quando emprega-se a pólvora negra (explosivo deflagrante) nos desmontes de volumes primários de rocha.



Pedreira de matacão apresentando grande perda de material, em função da irregularidade dos cortes realizados com pólvora negra.

Esses tipos de problemas resultam numa diminuição drástica da taxa de recuperação das pedreiras, ou seja, um menor volume de blocos produzidos para um mesmo volume de rocha desmontada.



Nos materiais onde é expressamente proibida a utilização de explosivos e/ou acessórios de detonação (granitos verdes, por exemplo), que comprovadamente danificam a integridade física da rocha, normalmente utiliza-se cunhas de pressão nos cortes primários.

Percutir cunhas manualmente à marreta pode demorar horas de operação ou, às vezes, dias para a execução de um corte, dependendo do tipo de rocha, da altura do corte e direção de ruptura (“verso”, “segundo” ou “contra”). Este tipo de operação envolve excessivo esforço físico dos trabalhadores; atrasos na produção; baixa produtividade; comprometimento da qualidade das superfícies cortadas; elevado custo com perfuração, em função dos pequenos espaçamentos praticados.

Para a maior competitividade de qualquer setor industrial é importante a busca constante da racionalização do seu processo produtivo, e isto se dá através do emprego de ferramentas mais desenvolvidas tecnologicamente.

No Brasil desde 1997, vem sendo utilizada uma tecnologia alternativa no desmonte de rochas ornamentais. Trata-se do agente expansivo **Fract.Ag**, aplicado no interior dos furos, que funciona através de reação química, quando misturado com uma quantidade exata de água, promovendo a ruptura da rocha num plano pré-definido.

A utilização racional da argamassa expansiva **Fract.Ag** tem permitido desenvolver técnicas de trabalho modernas e inovadoras, seja em *maciços rochosos*, *capas* ou em *matacões*, seja em materiais de elevado valor mercadológico ou materiais com preços mais modestos, mostrando-se viável economicamente.

Este estudo tem o objetivo de informar os resultados obtidos, através do acompanhamento da utilização da argamassa expansiva **Fract.Ag** em pedreiras do estado do Espírito Santo, Bahia, Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro avaliando-se a relação custo / benefício proporcionada pelo seu emprego.

O Que é o Agente Expansivo Fract.Ag

Trata-se de um produto em pó com composição química definida em função da temperatura ambiente, e que, antes do uso, deve ser misturado com água, na proporção especificada pelo fabricante. Inserida nos furos, esta argamassa expansiva **Fract.Ag** irá expandir-se liberando espetaculares quantidades de energia, de modo progressivo e gradual, promovendo a ruptura da rocha ao longo da linha de furos.

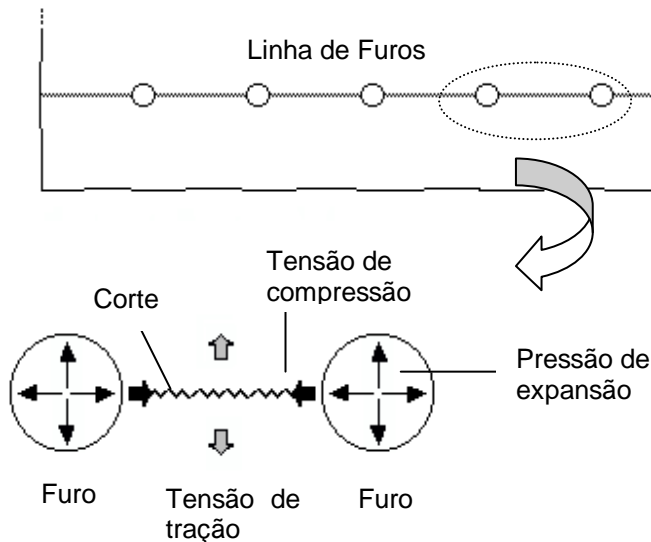
Além do corte de rochas, o campo de aplicação da argamassa expansiva **Fract.Ag** tem sido praticamente ilimitado, com utilização nos mais diversos tipos de demolições (corpos rochosos em áreas urbanas, todos os tipos de concreto, fundações, pilastras, escavações diversas), principalmente quando o uso de explosivos não é recomendável por questões de segurança.

Mecanismo de Ruptura / Tempo de Reação

A resistência à tração das rochas é menor que a sua resistência a compressão, variando numa faixa de 10% a 40%, de acordo com as características tecnológicas do material. A argamassa expansiva **Fract.Ag** aplicada ao longo de furos alinhados e devidamente espaçados, exerce nas paredes dos furos uma pressão de expansão, em todas as direções, agindo como um esforço compressivo.



As forças dessa compressão induzem reações de tensões trativas, no plano perpendicular àquelas forças compressivas atuantes no plano dos furos, promovendo, desta maneira, a ruptura da rocha por tração (veja ilustração a seguir).



Mecanismo de Ruptura

Uma grande parte dos granitos exibem resistências à tração na ordem de 150 kg/cm². A pressão de expansão exercida pela argamassa expansiva **Fract.Ag** é de 800 kg/cm², determinada experimentalmente para tempos de reação entre 1,5 e 3 horas, com temperaturas próximas a 20°C. Essa fabulosa pressão obtida demonstra o poder de ruptura do agente expansivo **Fract.Ag**.

A pressão de expansão varia sensivelmente com o tempo de reação e com a temperatura que se encontra a rocha. Com tempos de reação mais longos, podendo alcançar vários dias, a pressão de expansão pode chegar a valores consideravelmente superiores a 800 kg/cm². Para temperaturas elevadas alcança-se determinados resultados em tempos mais breves; com temperaturas mais baixas, alcançam-se os mesmos resultados em tempos mais longos, ou resultados mais modestos para um mesmo tempo.

O tempo de reação, para geração de um corte, varia em função da temperatura ambiente, do espaçamento dos furos, das características petrológicas e mecânicas da rocha, além do seu aspecto textural, e da quantidade de argamassa expansiva **Fract.Ag** à ser utilizada.

O tempo ideal para obtenção dos cortes, para liberação de pranchas (bancadas altas) ou de filões (bancadas baixas), deve estar em conformidade com o ritmo de produção da empresa e com o variável espaçamento *dos furos* e *quantidade de argamassa* usada, que devem estar devidamente equacionadas.

Como Calcular a Quantidade de Argamassa Expansiva a Ser Usada

Como exemplo, indicamos o cálculo a seguir, que é feito normalmente para os primeiros testes com argamassa expansiva **Fract.Ag** em uma pedra, servindo como um referencial para que a empresa passe a otimizar, a cada corte, o emprego da tecnologia, equacionando o tempo de ruptura do material com as variáveis citadas no item anterior.



- **Superfície a ser cortada (S)**

$S = H_f$ (altura média dos furos, em metros) x C_p (comprimento da parede, em metros)

$$S = 7,2 \times 9,0 = 64,8 \text{ m}^2$$

- **Resistência à tração da rocha (Rt)**

$R_t = 150 \text{ kg/cm}^2$ (aproximadamente para um determinado tipo de granito)

- **Resistência inicial da parede (Fi)**

$F_i = S \text{ (m}^2\text{)} \times R_t \text{ (kg/cm}^2\text{)} \times 10.000$

$$F_i = 64,8 \times 150 \times 10.000 = 97.200.000 \text{ kg}$$

- **Diminuição da resistência devido à furação (Ff)**

$F_f = N_f$ (número de furos) x H_f (m) x D (diâmetro médio dos furos, em cm) x R_t (kg/cm²) x 100

$$F_f = 89 \times 7,20 \times 3,6 \times 150 \times 100 = 34.603.200 \text{ kg}$$

Obs.: O número de furos realizados é função do atual afastamento adotado na empresa.

- **Resistência da Parede (Fp)**

$F_p = F_i - F_f$

$$F_p = 97.200.000 \text{ kg} - 34.603.200 \text{ kg} = 62.596.800 \text{ kg}$$

- **Força exercida pela argamassa expansiva em cada furo**

$F_a = D$ (cm) x H_f (m) x $800 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \times 100$

$$F_a = 3,6 \text{ cm} \times 7,2 \times 800 \times 100 = 2.073.600 \text{ kg}$$

Obs.: 800 kg/cm^2 é a pressão exercida pela argamassa para que o corte ocorra entre 8 e 12 horas.

- **Número de furos onde se coloca a argamassa expansiva (Nr)**

$N_r = F_p / F_a$

$$N_r = 62.596.800 / 2.073.600 = 30 \text{ furos}$$

- **Cálculo da quantidade de argamassa necessária (Q)**

$Q = N_r \times H_f \times RLC$

$$Q = 30 \text{ furos} \times 7,2 \text{ m.l.} \times 1,6 \text{ kg/m.l.} = 345 \text{ kg}$$

Obs.: RLC é o consumo médio aproximado de argamassa, por metro linear, para determinados diâmetros de furos (ver tabela a seguir):

Ø em mm	30	32	34	38	40
RLC (kg/m.l.)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0

Preparação e Aplicação da Argamassa Expansiva Fract.Ag

Para preparação da argamassa expansiva **Fract.Ag** é necessário apenas um recipiente, com capacidade suficiente para misturar uma quantidade de 10 a 15 kg do produto com água, na proporção de 30% em peso, ou seja, 1,5 litro de água para cada saco de 5 kg dissolvidos. O produto deve ser adicionado sempre sob agitação, alcançando-se uma pasta cremosa, fluida e homogênea, sem grumos. Óleo, graxa ou substâncias orgânicas devem estar ausentes no recipiente e na água de mistura.



Aplicação da argamassa expansiva **Fract.Ag** na lavra de maciço rochoso.

O carregamento deve ser realizado logo após a preparação da mistura, com os furos limpos e assoprados, livre de água e sujeiras. Se a rocha for muito porosa ou a temperatura estiver muito alta, deve-se umedecer os furos para que a reação de expansão ocorra normalmente. Os furos não devem ser tamponados e, somente em caso de chuva, devem ser cobertos com material impermeável.

Nos cortes de levante (furos horizontais) têm-se usado a argamassa expansiva **Fract.Ag** encartuchada, com os cartuchos nas dimensões 250 mm x 220 mm (diâmetro x comprimento, respectivamente) e peso médio de 200 gramas. Para serem aplicados, os cartuchos devem ser mergulhados em água limpa, por aproximadamente 2 minutos, para que absorvam a água necessária à reação, o que acontece logo que a água do recipiente parar de borbulhar. Em seguida devem ser introduzidos nos furos, um por vez, pressionando-os com bastão, até que fiquem completamente compactados dentro dos furos.

Acompanhamentos Realizados

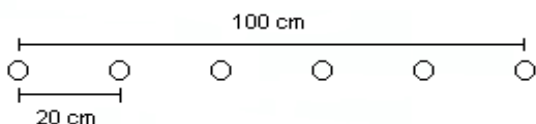
O número de empresas que estão adotando esta “nova” tecnologia de corte, como uma ferramenta rotineira em seus trabalhos de lavra, é bastante expressivo. Fazemos neste item a análise custo / benefício de quatro pedreiras, dentre várias acompanhadas, onde procuramos mostrar que, em situações distintas, no que se refere a métodos de lavra e tipos de materiais, a viabilidade econômica da argamassa expansiva **Fract.Ag** é evidente, bem como evidenciamos os benefícios gerados com a segurança dos trabalhadores, tornando mais fácil, inclusive, a árdua tarefa de se extrair blocos.



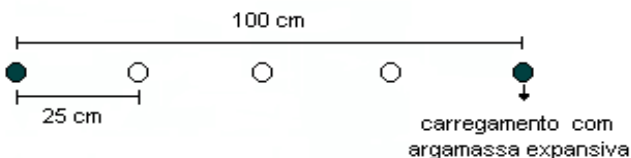
GRANASA Granitos Nacionais Ltda

- ❑ **Localização da Pedreira:** Nova Venécia – ES
 - ❑ **Material Extraído:** Amarelo Veneciano
 - ❑ **Método de Lavra:** bancadas altas
 - ❑ **Tecnologias de corte:** fio diamantado consorciado com pólvora negra no isolamento de bancadas e argamassa expansiva para obtenção de pranchas.
 - ❑ **Direção de Corte com Argamassa Expansiva Fract.Ag :** “segundo”
 - ❑ **Resultados Obtidos com o Emprego da Argamassa Expansiva Fract.Ag :**
- **Espaçamento (E)** (distância entre furos sucessivos da mesma linha):

Situação Anterior (sem argamassa expansiva): E = 20 cm



Situação Atual (com argamassa expansiva): E = 25 cm



➤ **Produtividade**

Em função no novo afastamento obtido, a empresa aumentou em 21,3% a sua capacidade de isolar volumes brutos de pranchas, para serem tombadas e esquadrejadas em blocos. Vale ressaltar que o volume de material bruto desmontado na pedreira é da ordem de 6 mil m³/mês a 8 mil m³/mês.

➤ **Taxa de Recuperação** (relação entre o volume líquido de blocos extraídos e o volume de rocha desmontada).

Manteve-se, pois não havia perdas de material na utilização de cargas explosivas, em função do eficiente plano de fogo executado pela empresa e da qualidade de perfuração desenvolvida.

➤ **Custo de Produção**

Como conseqüência da produtividade alcançada, há uma redução de 17,5% dos custos operacionais. Também significa dizer que a empresa pode optar em manter o atual nível de desmonte, reduzindo em 21,3% os custos operacionais com perfuração no isolamento das pranchas, o que implicaria na redução do número de perfuratrizes atualmente em operação. Uma posição intermediária, com remanejamento de marteleteiros para o esquadrejamento de blocos, também poderia ser adotada.



Os percentuais acima deverão ser subtraídos da diferença das participações: % custo/m³ com argamassa expansiva - % custo/m³ com pólvora negra e acessórios de detonação.

- **Razão de Carregamento - kg/m³** (consumo em kg de argamassa expansiva **Fract.Ag** por m³ de rocha extraída no corte).

No início de utilização da argamassa expansiva **Fract.Ag** na empresa, em julho de 1998, a razão de carregamento era de 2,0 kg/m³, atingindo atualmente 0,70 kg/m³, com uma relação de 0,59 metros quadrados de área cortada por metro cúbico de prancha extraída.

- **Espaçamento de Carregamento (Ec)** (distância entre furos sucessivos da mesma linha carregados com argamassa expansiva **Fract.Ag**).

De 40 cm, inicialmente, ou seja, a cada furo carregado deixava-se um furo vazio, passou para 100 cm atualmente, com E = 25 cm.

- **Tempo de Ruptura da Rocha**

24 horas, compatível com a programação de avanço das frentes de lavra.

- **Consumo de Carga Explosiva**

Redução de aproximadamente 70% do consumo de explosivo (pólvora negra) e acessórios de detonação (nonel e cordel) nos cortes para obtenção das pranchas, com grande contribuição para um ambiente de trabalho mais seguro. A meta da empresa é reduzir em 100% o uso de carga explosiva nesses cortes.

- **Serviços Auxiliares**

Eliminação da operação de “raiação” dos furos destinados ao carregamento com pólvora negra, dispensando a mão-de-obra de funcionários envolvidos com esta operação, que foram deslocados para realização de outras atividades.





Cortes sucessivos, com carregamento seqüencial das linhas de furos, na pedreira do Amarelo Veneciano.

GRAMAZINI Granitos e Mármore Thomazini Ltda

- ❑ **Localização da Pedreira:** Castelo - ES
- ❑ **Material Extraído:** Cinza Corumbá
- ❑ **Método de Lavra:** matacão
- ❑ **Tecnologias de Corte:** pólvora negra para cortes primários nos matacões e argamassa expansiva **Fract.Ag** para obtenção de pranchas dos volumes desmontados.
- ❑ **Direção de Corte com Argamassa Expansiva Fract.Ag :** “verso” e “segundo”
- ❑ **Resultados Obtidos com o Emprego da Argamassa Expansiva Fract.Ag :**

➤ **Espaçamento (E)**

Não foi alterado, mantendo-se em 30 cm.

➤ **Produtividade**

Como o espaçamento foi mantido, a produtividade na perfuração de pranchas permaneceu.

➤ **Taxa de Recuperação**

Aumento de 30%, como conseqüência da melhor regularidade da superfície de corte das pranchas (o uso de cordel gerava um superfície irregular, com perdas de material) e da eliminação de irregularidades nas quinas dos blocos, quando se usava cordel NP5 no esquadrejamento destes.

No esquadrejamento dos blocos, o cordel NP5 (cinco gramas de nitropenta por metro linear) foi substituído pelo NP3 (três gramas de nitropenta por metro linear) diminuindo o choque provocado na rocha. Esta substituição, associada à eliminação do NP 5 nas pranchas, reduziu sensivelmente o “estresse” provocado na rocha pela onda de choque, gerada nas detonações, o que permitiu uma maior regularidade das faces dos blocos, aumentando a taxa de recuperação da pedreira.

➤ **Custo de Produção**

O aumento de 30% da taxa de recuperação foi responsável pela redução de 23% do custo de produção da empresa. A partir dos preços praticados com cordel detonante e argamassa expansiva, o custo para realização de um corte com argamassa expansiva **Fract.Ag**, para a pedreira em questão, é 300% maior em relação ao cordel detonante.

Com base no exposto, consideremos o seguinte exemplo: supondo um custo de R\$ 100,00 por metro cúbico de bloco extraído (custo operacional), com utilização de carga explosiva (cordel detonante imerso em água) na obtenção de pranchas, para uma taxa de recuperação de 50%, tem-se que a participação do cordel é de 4% do custo operacional.



Substituindo-se o cordel detonante pela argamassa expansiva **Fract.Ag**, a taxa de recuperação sobe para 65% (aumento de 30%), com participação da argamassa expansiva **Fract.Ag** no custo de produção de blocos de 12,3%. Fazendo-se a diferença entre os custos envolvendo as duas ferramentas de corte, o custo com argamassa expansiva **Fract.Ag** é maior em R\$ 8,30/m³, ou 8,3%.

Entretanto, como o custo de produção foi reduzido de 23%, em função da nova taxa de recuperação obtida, teremos um novo custo operacional de R\$ 77,00/m³, que somado com 8,30/m³ é igual a R\$ 85,30/m³. Ou seja, obteve-se uma redução efetiva do custo operacional de 14,7%, para um incremento de 30% da produção de blocos.

➤ **Razão de Carregamento - kg/m³**

Encontra-se hoje em 0,83 kg/m³, para 0,42 metros quadrados de área cortada por metro cúbico de prancha extraída.

➤ **Espaçamento de Carregamento (Ec)**

O espaçamento de carregamento está hoje em 70 cm. No perfil de carregamento deixa-se um vazio de aproximadamente 2,0 metros no meio dos furos, cuja altura média é de 6,0 metros.

➤ **Tempo de Ruptura da Rocha**

20 horas, em sintonia com a programação de desmonte da pedreira.

➤ **Consumo de Carga Explosiva**

Usava-se cordel detonante NP 5, imerso em água em todos os furos, para o desdobramento das pranchas. A argamassa expansiva **Fract.Ag** eliminou 100% o emprego de cordel nesses cortes.



Superfície cortada com argamassa expansiva Fract.Ag na lavra de matacão do granito Cinza Corumbá.



Granitos Laranjeira Ltda

- ❑ **Localização da Pedreira:** Pancas – ES
- ❑ **Material Extraído:** Verde Bahia
- ❑ **Método de Lavra:** bancadas altas
- ❑ **Tecnologias de corte:** argamassa expansiva **Fract.Ag** consorciada com fio diamantado.
- ❑ **Direção de Corte com Argamassa Expansiva Fract.Ag :** “segundo” e “contra”
- ❑ **Resultados Obtidos com o Emprego da Argamassa Expansiva Fract.Ag :**
 - **Espaçamento (E) :**

De 10 cm, quando usava-se cunhas de pressão, passou para 30 cm com o uso da argamassa expansiva **Fract.Ag**.
 - **Produtividade**

A produtividade de desdobramento de pranchas foi aumentada em 60,5%, pelo novo afastamento obtido.
 - **Taxa de Recuperação**

Foi mantida. Entretanto, a utilização da argamassa expansiva **Fract.Ag** possibilitou o aumento da altura das bancadas, que era limitada em 4,5 metros, por utilizar cunhas de pressão, para o desdobramento das pranchas. A nova altura de bancada proporcionou um aumento de produtividade com conseqüente redução dos custos operacionais.
 - **Custo de Produção**

Pela produtividade alcançada, houve uma redução de 37,7% dos custos operacionais. Pode-se optar em manter o atual nível de desmonte, com redução de 60,5% dos custos operacionais, com perfuração, na liberação das pranchas, implicando num ajuste do número de perfuratrizes empregadas. Uma posição intermediária, com remanejamento de marteloteiros para o esquadrejamento de blocos, também pode ser adotada.

Os percentuais acima ainda deverão ser subtraídos da diferença das participações: % custo/m³ com argamassa expansiva - % custo/m³ com cunhas de pressão.
 - **Razão de Carregamento - kg/m³**

Trabalha-se hoje com uma razão de carregamento de 0,73 kg/m³, com a meta de se abaixar em 20% este valor. A relação m²/ m³ bruto extraído é de 1,0.
 - **Espaçamento de Carregamento (Ec)**

Ec = 100 cm, ou seja, a cada furo carregado deixa-se três vazios.



Corte efetuado em matacão com o uso de argamassa expansiva Fract.ag. Observar a regularidade do corte, responsável pelo aumento da taxa de recuperação da pedreira.

➤ **Tempo de Ruptura da Rocha**

04 dias, em cumprimento com a programação de produção da empresa.

➤ **Consumo de Carga Explosiva**

A empresa já não utilizava explosivos/acessórios no desmonte de rocha.



Argamassa expansiva Fract.Ag consorciada com fio diamantado na pedreira de granito Verde Bahia. A foto também ilustra o espaçamento de carregamento adotado (furos mais escuros).



Conclusões

A viabilidade técnica da argamassa expansiva **Fract.Ag** é notória e os resultados apresentados neste estudo deixam claro, também, a sua viabilidade econômica.

Portanto, podemos afirmar que a argamassa expansiva **Fract.Ag** tem proporcionado a estas e outras empresas que a utilizam, adotando um conceito de racionalidade, uma maior competitividade, tornando-as mais eficientes através da melhor utilização dos seus recursos produtivos.

Além das vantagens econômicas demonstradas, como:

- ❑ preservação da integridade físico-mecânica da rocha;
- ❑ maior regularidade das superfícies cortadas;
- ❑ maior taxa de recuperação das pedreiras, com menor geração de rejeitos;
- ❑ maior flexibilidade do processo produtivo;
- ❑ maior produtividade;
- ❑ menores custos de produção.

Esta ferramenta também proporciona maior segurança para os trabalhadores, com redução do número de acidentes de trabalho provocados pela utilização de explosivos, além de não requerer cuidados especiais para o seu transporte, armazenamento e manuseio, por se tratar de um produto não explosivo.

E por ser uma tecnologia limpa, não poluidora, age como um benefício ambiental, melhorando a imagem da empresa, que assume uma postura pró-ativa com relação a variável ambiental, possibilitando novas oportunidades de negócio.

