

**CAPÍTULO**

---

---

**5**

---

# **OPERAÇÕES DE LAVRA EM PEDREIRAS**

Jair Carlos Koppe

Engenheiro de Minas e Geólogo/UFRGS, D.Sc. em  
Ciências/UFRGS, Professor Titular do DEMIN/UFRGS.

João Felipe Coimbra Leite Costa

Engenheiro de Minas/UFRGS, PhD em Geoestatística/University  
of Queensland, Professor Associado do DEMIN/UFRGS.





## 1. INTRODUÇÃO

Desde a Idade da Pedra, o homem vem utilizando rochas para o seu desenvolvimento e à medida que o homem foi se tornando sedentário e passou a fase de urbanização, as rochas passaram a ter enorme importância, sendo utilizadas nos mais variados tipos de construções. No início, as técnicas de uso das rochas eram extremamente rudimentares e com os avanços tecnológicos ocorreram grandes melhorias nos processos de lavra nas pedreiras. Ainda hoje, grandes quantidades de rochas britadas são utilizadas na construção de edifícios, casas, estradas e outras obras civis.

Esse capítulo apresenta os principais procedimentos nas operações de lavra em pedreiras, enfocando a preparação e decapeamento das rochas, a perfuração do maciço rochoso para carregamento dos explosivos, os principais conceitos e sugestões de projeto para o desmonte da rocha com explosivos, o carregamento e o transporte do minério desmontado para a planta de britagem.

## 2. PREPARAÇÃO E DECAPEAMENTO

A preparação do terreno para início das operações de lavra, em uma pedreira, constitui uma fase bastante delicada para o bom andamento dos futuros trabalhos de desmonte da rocha. Nessa fase, é importante se preservar parte do solo removido para posterior recuperação da área degradada pela lavra. Dessa forma, é recomendável que seja reservada uma área para estocagem de solo durante o planejamento das operações.

As espessuras das coberturas de solo residual, bem como o desenvolvimento dos horizontes do solo, variam muito de região para região, dependendo das condições climáticas e de relevo. Em alguns locais, espessas coberturas de solo requerem um manejo mais apropriado nas operações de decapeamento. Em outros, a pequena espessura e às vezes inexistência do solo, facilitam as operações iniciais.

Os equipamentos que são normalmente utilizados no processo de decapeamento em pedreiras incluem: tratores de esteira, carregadeiras frontais, escavadeiras e caminhões.

A remoção do solo residual ou outro material de cobertura da rocha gera, em geral, uma superfície irregular que dificulta as primeiras operações de perfuração e desmonte. Recomenda-se que seja feita uma limpeza da superfície removendo todos fragmentos de rocha, para que não fiquem materiais disponíveis para ultralançamentos.

### 3. PERFURAÇÃO

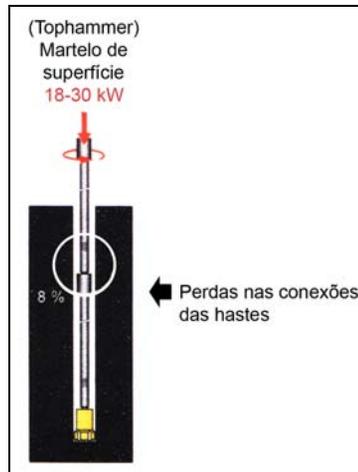
As operações de perfuração do maciço rochoso na lavra de pedreiras são de extrema importância para o sucesso do desmonte da rocha. A correta execução da perfuração, assegurando que os furos efetivamente sejam desenvolvidos segundo o plano de fogo, mantendo a malha estabelecida, a correta inclinação e retilinidade são condições essenciais para garantir que os objetivos do desmonte sejam alcançados.

Diversas técnicas de perfuração são empregadas nas pedreiras, variando muito no porte dos equipamentos, mas, de um modo geral, no Brasil ainda são adotados, na maioria das operações, equipamentos de pequeno a médio porte. Na indústria de produção de brita é utilizado principalmente o método de perfuração de rochas à percussão. As mais importantes variações dessa técnica compreendem os sistemas: percussão *down-the-hole* (DTH) ou perfuração de fundo de furo, percussão *tophammer* ou perfuração com martelo de superfície e perfuração pelo sistema COPROD (método desenvolvido pela Atlas Copco). Além da perfuração por percussão, podem ser utilizados métodos roto-percussivos incluindo perfuração por trituração e rotação, por corte e rotação e por rotação e abrasão (perfuração adiamantada). Essas últimas técnicas são muito menos utilizadas e a perfuração adiamantada tem uso basicamente na exploração dos maciços rochosos.

Na perfuração por percussão a energia de impacto é transmitida da perfuratriz para a rocha por meio dos botões ou insertos de metal duro. A perfuração *down-the-hole* é caracterizada pelo martelo percussor posicionado imediatamente atrás da coroa de perfuração (Figura 1). A aplicação da energia de impacto de 18 a 25 kW é transferida diretamente do martelo a coroa (bit) de perfuração ou seja, o pistão da perfuratriz trabalha diretamente sobre o bit (metal duro utilizado para corte ou quebra da rocha). À medida que o furo vai avançando, o martelo vai descendo juntamente com a coroa. Quando o martelo impacta a coroa de perfuração, a energia cinética é transformada em uma onda de percussão. O martelo *down-the-hole* é acionado pneumáticamente.

Figura 1 – Perfuração *down-the-hole*.

A técnica do *tophammer* ou martelo de superfície é caracterizada pela percussão do martelo fora do furo no topo do conjunto de hastes de perfuração, cuja energia de impacto, 18 a 30 kW, é transferida para a coroa de perfuração pelo conjunto de hastes (Figura 2). Perdas de 6 a 8% de energia ocorrem durante a transferência de energia causada por atrito nas conexões das hastes. Perdas adicionais podem ocorrer por atrito entre as hastes e as paredes do furo. Com o aumento da profundidade do furo, na comparação com o método *down-the-hole*, há uma perda da performance do equipamento.

Figura 2 – Perfuração do tipo *tophammer*.

O sistema COPROD consiste de uma combinação de hastes de impacto com tubos de perfuração. As hastes de impacto transferem energia unicamente à coroa de perfuração, enquanto que os tubos de perfuração conduzem a força de impulsão e o torque rotacional (Figura 3). A peça terminal da coroa de perfuração permite que a energia de impacto gerada pela ação de percussão seja transferida por meio das hastes de impacto na forma de ondas de percussão diretamente à coroa de perfuração no fundo do furo. A energia de impacto aplicada é da ordem de 18 a 40 kW e os furos têm diâmetro maior do que 90 milímetros.

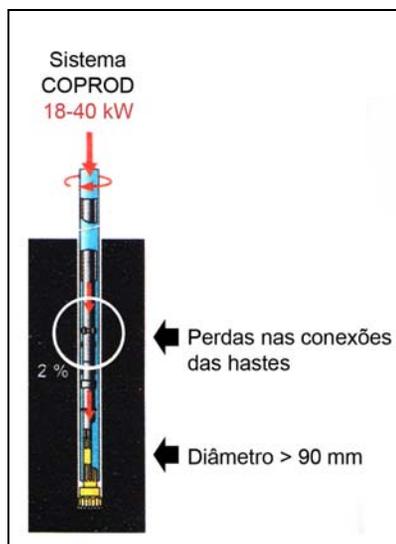


Figura 3 – Sistema de perfuração COPROD.

A Tabela 1 mostra uma comparação entre os diferentes métodos de perfuração utilizada nas operações de lavra em pedreiras modernas.

Tabela 1 – Comparação entre os métodos de perfuração para operações em pedreiras com altura de bancada de 20 m (Fernberg, 2005).

Método de perfuração	Martelo de superfície	<i>Down-the-hole</i>	COPROD
Diâmetro do furo, mm	76-127	85-165	105-165
Taxa de penetração	Boa	Regular	Muito boa
Retilidade do furo	Regular	Muito boa	Muito boa
Profundidade do furo	Regular	Muito boa	Muito boa
Produção t/m/turno	Boa	Regular	Muito boa
Consumo combustível/m	Bom	Regular	Bom

Muitas vezes, durante a perfuração ocorrem desvios da furação devidos a diversos fatores, entre eles o uso inadequado dos equipamentos e as condicionantes geológicas do terreno, refletidas especialmente por materiais de diferentes durezas ou outras circunstâncias como presença de fraturas, zonas de cisalhamento e diferentes estratos. Esses desvios podem gerar problemas, posteriormente, durante a detonação dos explosivos no desmonte, podendo provocar excesso de vibrações no terreno e ultra-lançamentos que podem ser perigosos para os empregados, os equipamentos e para a vizinhança da pedreira.

Os principais erros e desvios que podem ocorrer durante a perfuração compreendem (Kerber *et al.*, 2007): desvios do furo para frente ou para trás da face da bancada, desvios laterais, desvio na inclinação ou azimute do furo, comprimento errado do furo e perdas de furo (Figura 4).

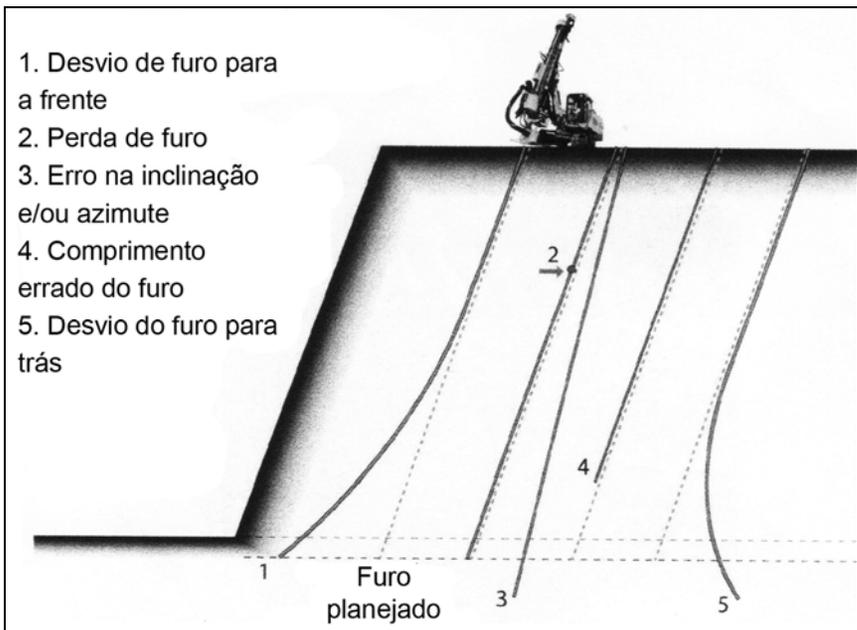


Figura 4 – Principais erros que ocorrem durante o desenvolvimento das operações de perfuração.

Os desvios da furação que ocorrem para frente da face da bancada podem diminuir sensivelmente o afastamento projetado, o que pode acarretar ultralançamento. Ocorrendo o desvio para trás da face da bancada, a tendência é de aumentar-se o afastamento, criando áreas que não estarão sob o efeito da

energia dos explosivos daqueles furos, podendo ocasionar formação de repé (saliências rochosas no pé da bancada), fragmentação inadequada e excesso de vibrações no terreno. Desvios laterais modificam a relação de espaçamento planejado, redundando em problemas na fragmentação do material.

Erros na inclinação ou azimute do furo podem levar a perfuração inadequada do comprimento de um furo e modificar as relações de afastamento entre furos projetadas no plano de fogo. Quando ocorre um aumento da subfuração, a tendência é gerar uma maior vibração no terreno devido ao confinamento dos explosivos. Ao contrário, caso o furo não atinja a profundidade planejada, poderá surgir repé na praça de trabalho.

#### **4. DESMONTE COM EXPLOSIVOS**

O desmonte de rocha em pedreiras é realizado tradicionalmente por meio de explosivos. Embora vários problemas de ordem ambiental, tais como ruído, ultralanchamentos e vibrações transmitidas à vizinhança, a utilização intensa de explosivos, no desmonte em pedreiras, está associado à eficiência da técnica e aos custos envolvidos, muito menores do que no desmonte mecânico.

O planejamento do desmonte, com utilização de explosivos, é influenciado por diversos fatores, os quais necessitam de controle para que os objetivos pretendidos do desmonte sejam efetivamente alcançados. A escolha do método e dos equipamentos de perfuração, a distribuição, o diâmetro e profundidade dos furos, o tipo de explosivo a ser utilizado e a qualificação da equipe de desmonte são, por exemplo, fatores relevantes para o sucesso do desmonte, mas, as condições geológicas têm papel fundamental e sempre devem ser consideradas no projeto.

Para uma melhor compreensão dos aspectos que envolvem o desmonte de rochas, com utilização de explosivos, é necessário o entendimento dos processos envolvidos na fragmentação da rocha. A fragmentação inicia com a detonação do explosivo e a partir desse momento ocorre uma interação da ação do explosivo com a rocha (Figura 5). O tipo do explosivo, a geometria da furação imposta ao maciço rochoso, o padrão de iniciação da detonação e as características do maciço rochoso são responsáveis pela fragmentação e formação da pilha desmontada. A detonação do explosivo promove uma liberação de enorme quantidade de energia na forma de calor e pressão de gases de forma rápida e violenta. Diversas teorias desenvolvidas nos últimos

anos procuram explicar o mecanismo envolvido nos processos de fragmentação, sendo que as principais são: reflexão, expansão de gases, ruptura flexural, ondas de tração e expansão de gases, ondas de tração, expansão de gases e ondas de tração/defeitos, nucleação, torque e crateramento (Olofsson, 1989).

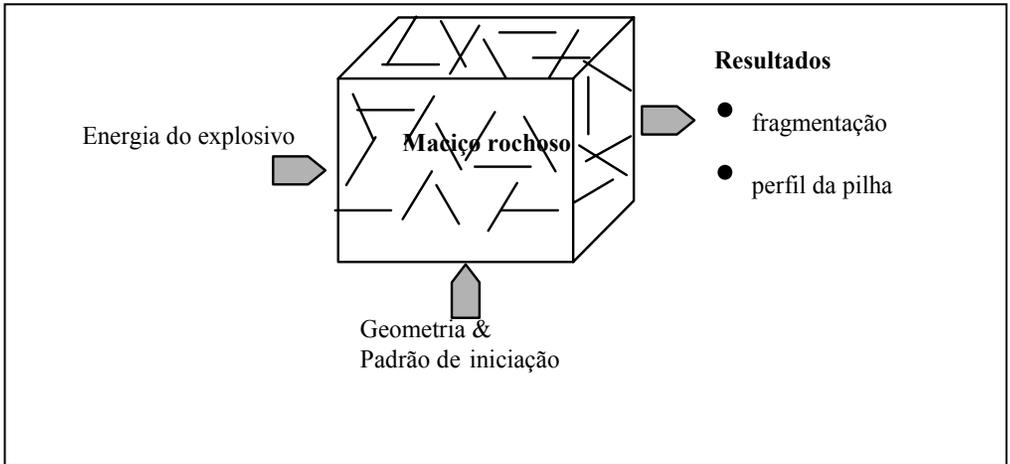


Figura 5 – Interação do explosivo com o maciço rochoso.

Resumidamente, o processo envolvido, a partir da detonação do explosivo, compreende inicialmente uma forte compressão do maciço rochoso, por uma onda de choque que se propaga pela rocha com velocidades no intervalo de 2.000-7.000 m/s, dependendo do tipo de rocha e explosivo utilizado. Essa onda de compressão provoca microfissuras no entorno do furo carregado com explosivos, dando início ao processo de fraturamento da rocha. Na sequência, a onda de choque pode sofrer reflexões a partir de superfícies livres (face da bancada ou planos de descontinuidade existentes na rocha). A onda de compressão é, então, transformada em ondas de tração e cisalhamento, aumentando o processo de fraturamento (Figura 6). Observa-se o alargamento do furo pela onda compressional, com o aparecimento de fraturas radiais. As ondas de tração geradas pela reflexão das ondas de choque, nas superfícies livres, induzem a continuidade do fraturamento da rocha e o deslocamento (*spalling*) na face da bancada (Scott *et al.*, 1996). A seguir, grandes volumes de gás são liberados, penetrando e expandindo as fissuras existentes. O gás pode promover, também, o lançamento da rocha no sentido da face da bancada e o mecanismo de ruptura flexural (Figura 7).

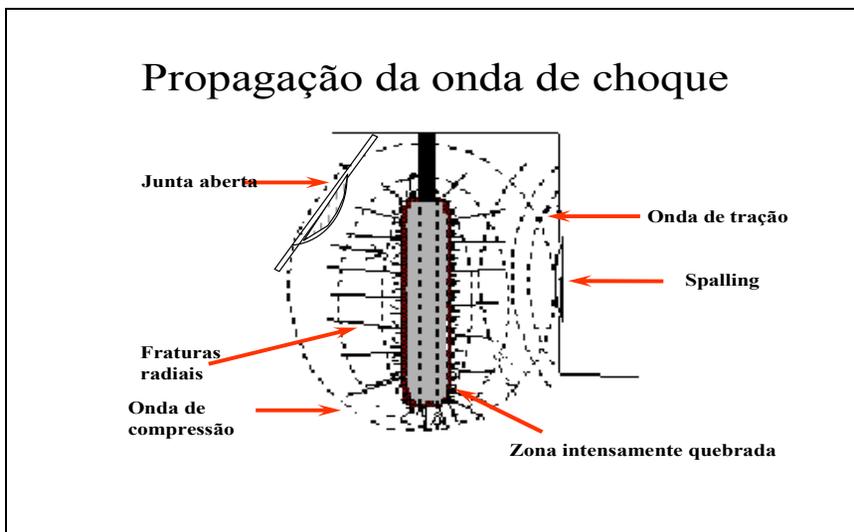


Figura 6 – Propagação da onda de choque no maciço rochoso.  
(Modificado de Scott *et al.*, 1996).

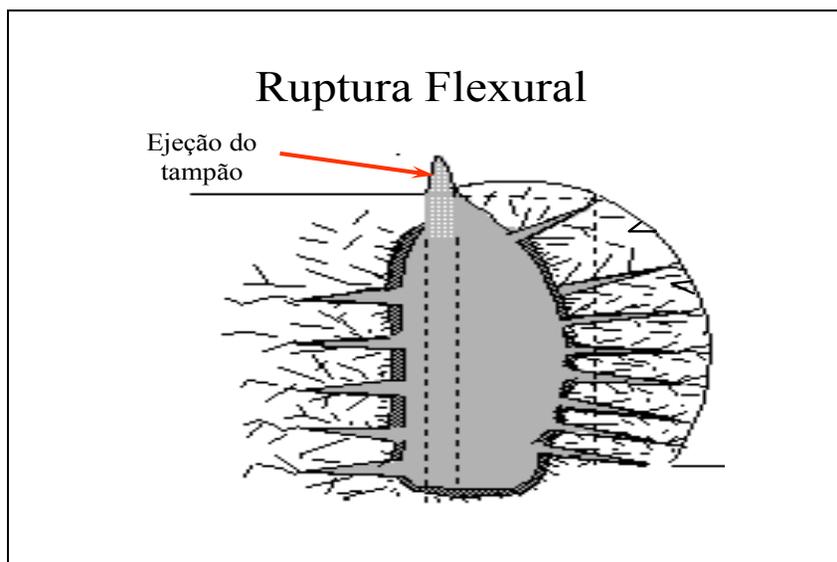


Figura 7 – Ruptura flexural da bancada promovida pela expansão dos gases promovendo o lançamento do material para frente da bancada.  
(Modificado de Scott *et al.*, 1996).

O desmonte de rochas em pedreiras segue o método de bancadas simples ou múltiplas, dependendo do porte e condicionamento topográfico e geológico do maciço rochoso. De um modo geral, no Brasil as lavras em pedreiras são desenvolvidas em encostas e, poucas, são configuradas na forma de cavas (*open pit*). O método de bancadas é o método mais comum para desmontes com utilização de explosivos. A organização dos furos paralelos a faces livres, permite uma fácil fragmentação do maciço rochoso tornando, dessa forma, o método de bancadas em um dos métodos mais fáceis, eficientes e econômicos de desmonte.

Para uma melhor compreensão do desmonte em bancadas (Figura 8) é necessário, inicialmente, estabelecer-se uma nomenclatura identificando todos os elementos do projeto de desmonte ou do, também, chamado plano de fogo. Esses elementos estão ilustrados nas (Figuras 9 e 10).

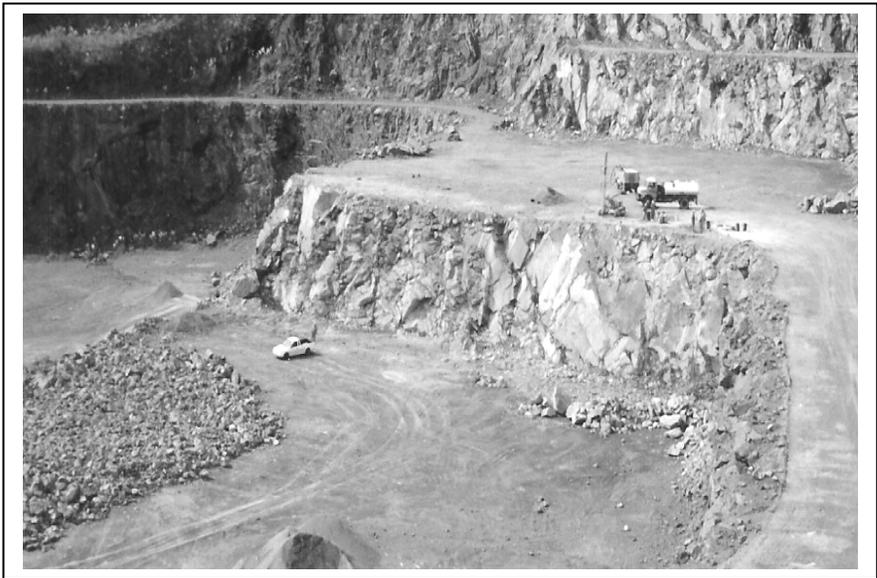


Figura 8 – Desmonte em bancadas em pedra de basalto.

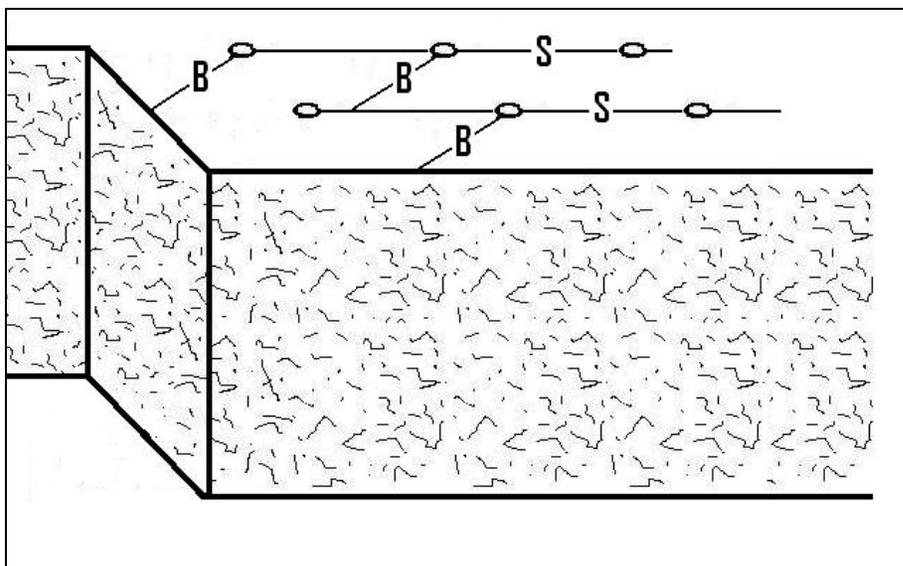


Figura 9 – Diagrama representativo de uma bancada com malha em estilo pé-de-galinha onde estão inseridos: B = afastamento (*burden*) e S = espaçamento (*spacing*).

Observam-se, na (Figura 9), os elementos geométricos que constituem a malha de perfuração do plano de fogo. O afastamento (B) ou *burden* representa a distância normal da linha de furos até a face da bancada ou a distância normal entre duas linhas de furos e o espaçamento (S) representa a distância entre furos de uma mesma linha. A malha pode ser organizada em uma configuração quadrada, retangular ou em pé-de-galinha. A razão entre o espaçamento e o afastamento (S/B) tem grande impacto no resultado da fragmentação e 1,4 pode ser considerado um valor médio satisfatório.

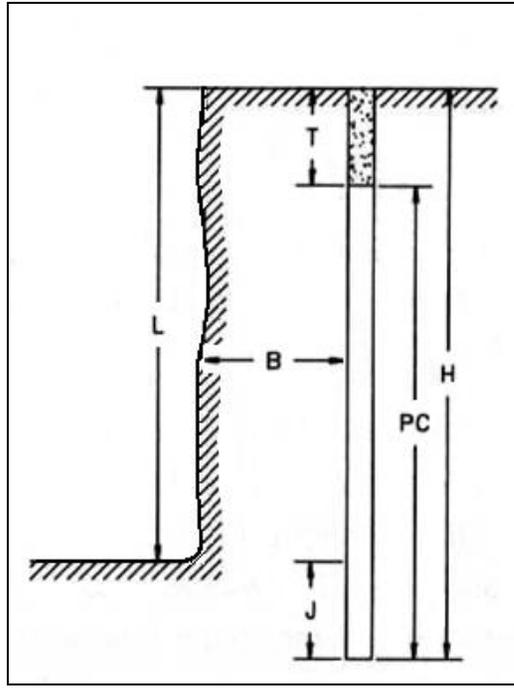


Figura 10 – Seção lateral de uma bancada com delimitação dos elementos geométricos: L = altura da bancada; B = afastamento; T = tampão; H = comprimento do furo; PC = comprimento da carga de explosivos; J = subfuração.

A Figura 10 mostra os demais elementos necessários à elaboração do plano de fogo. O tampão (T) é constituído por material inerte e tem a função de reter a energia do explosivo no furo, não permitindo que a energia se dissipe pelo topo da bancada, sem realizar a fragmentação esperada. Além disso, serve para controlar e reduzir o ultralançamento. O material utilizado no tampão deve ser granular, por exemplo, brita e o tamanho de partículas dependerá do diâmetro da furação. Pó de furação, embora muito utilizado, deve ser evitado como material do tampão. A subfuração (J) corresponde a um incremento na profundidade do furo, é utilizada muitas vezes no intuito de impedir a formação de repé na bancada.

Outro componente do desmonte e que tem destaque especial é o explosivo a ser utilizado. Os explosivos comerciais mais empregados no desmonte em pedreiras podem ser agrupados em duas categorias: (i) ANFO e

(ii) emulsões e blendados. O ANFO é constituído essencialmente por nitrato de amônia (AN) e óleo combustível (FO) e tem densidade em sua maioria entre 0,8 e 0,9 g/cm<sup>3</sup>. Nas emulsões, gotas microscópicas de sais oxidantes, como nitratos de amônia, sódio e cálcio, estão dispersas em uma fase contínua de óleo, formando uma mistura do tipo água no óleo. Outros elementos podem ser adicionados, na matriz da emulsão, para controlar a densidade que em geral varia de 0,7 a 1,35 g/cm<sup>3</sup>. Os blendados correspondem a misturas de ANFO e emulsões. A seleção de explosivos pode ser feita com base nas condições geológicas existentes, principalmente presença d'água, fraturas e características de resistência da rocha. Quando a água está presente, deve-se optar por emulsões e blendados. O ANFO é o explosivo mais utilizado em condições secas, devido a sua baixa performance na presença de água. O baixo custo do ANFO é responsável pela sua grande comercialização. No caso de rochas muito fraturadas, em condições secas, a preferência é, também, pelo ANFO. Quanto mais resistente for a rocha, de um modo geral, deve-se optar por um explosivo com maior densidade.

Outro conceito importante no plano de fogo é a definição da razão de carga (Rc), ou seja, a massa de explosivos necessária para fragmentar uma dada quantidade de rocha. A razão de carga é expressa usualmente em kg/m<sup>3</sup> ou kg/t. A Tabela 2 fornece uma orientação preliminar para a razão de carga, considerando alguns tipos comuns de rocha. As condições de fraturamento da rocha devem ser levadas em consideração, em geral, quanto maior o fraturamento menor a razão de carga a ser utilizada. Variações na razão de carga podem ser obtidas modificando-se as relações de afastamento e espaçamento na malha de perfuração. A fragmentação da rocha tende a aumentar com o aumento da razão de carga.

O volume de rocha fragmentado por furo (Vf) é calculado multiplicando-se o afastamento pelo espaçamento e pela altura da bancada:  $B \times S \times L = Vf$ . O volume total de rocha (Vt) desmontado é calculado multiplicando-se o número de furos (Nf) do plano de fogo pelo volume de rocha fragmentado por furo:  $Vf \times Nf = Vt$ .

Diferentes fórmulas para dimensionamento do plano de fogo são encontradas na literatura moderna sobre explosivos, destacando-se alguns como Olofsson (1989), Konya (1995) e Sen (1995). No entanto, fórmulas empíricas são ainda muito utilizadas e, de um modo geral, são de fato a melhor opção para iniciar o planejamento. As fórmulas empíricas são de fácil utilização e de simples entendimento. Apresentam-se, a seguir, fórmulas que podem ser

utilizadas preliminarmente para o projeto de desmonte de rocha com utilização de explosivos e que representam parte da experiência dos autores e combinação de fórmulas empíricas clássicas.

Tabela 2 – Razão de carga para algumas rochas considerando a sua resistência mecânica.

<b>Resistência à Compressão (Mpa)</b>	<b>Tipo de Rocha</b>	<b>Razão de Carga (kg/m<sup>3</sup>)</b>
> 150	granito, basalto	0,70
100 - 150	dolomito, xistos	0,45
50 - 100	arenitos, calcários	0,30
< 50	carvão	0,15 – 0,25

Para o início do plano de fogo, pode ser adotada uma razão de carga de 500 a 600 g/m<sup>3</sup>. Essa razão de carga assegura uma boa fragmentação de rocha, quando se utiliza a técnica de desmonte em bancadas. Deve-se observar, no entanto, qual é o objetivo do plano de fogo. Caso se necessite uma menor fragmentação da rocha, a razão de carga deve ser reduzida.

O plano de fogo pode ser iniciado definindo-se a altura da bancada, a qual depende do diâmetro de furação:

$$L \text{ (altura da bancada)} = 100 \text{ a } 120 D \text{ (diâmetro do furo).}$$

Essa altura é idealizada para os casos onde a perfuração pode ser feita de forma aceitável. Deve ser observado, também, que a altura deverá guardar uma proporção com o afastamento (B), a altura precisa ser pelo menos 4 vezes o afastamento, para se obter uma boa fragmentação. Bancadas muito baixas ocasionam vários problemas, por exemplo, fragmentação inadequada e ultralançamento.

A definição do afastamento (B) e do espaçamento (S) é feita em função do diâmetro do furo e deve guardar uma relação média entre esses fatores de 1,4 ( $S = 1,4 B$ ):

$$B \text{ (afastamento)} = 25 \text{ a } 30 D \text{ (diâmetro do furo)}$$

$$S \text{ (espaçamento)} = 35 \text{ a } 45 D \text{ (diâmetro do furo)}$$

O tampão (T) pode ser dimensionado com valores entre 0,7 a 1,3 vezes o afastamento (B), recomenda-se iniciar com:

$$T \text{ (tampão)} = B \text{ (afastamento)}$$

Caso haja preocupação com ultralançamentos, em pedreiras próximas de áreas urbanas, recomenda-se aumentar o comprimento do tampão. O tamanho do material do tampão deve ser de 1/8 do diâmetro do furo.

A subfuração (J) pode ser necessária para evitar a formação de repé. Quando existem planos de descontinuidade que podem ser utilizados como base da bancada, em geral, não será necessário a subfuração. Utiliza-se a subfuração considerando-se o afastamento:

$$J \text{ (subfuração)} = B/3.$$

O comprimento do furo (H) será:

$$H = L + J \text{ em metros.}$$

O comprimento da carga de explosivos (PC):

$$PC = L + J - T \text{ em metros.}$$

Para se calcular a densidade de carga de explosivos (W), em kg/m a ser colocada em cada furo, podem ser utilizadas as tabelas de especificações dos explosivos fornecidas pelos fabricantes, ou utilizar-se a seguinte fórmula:

$$W = SGe \times D^2 / 1273 \text{ (kg/m), onde}$$

SGe = densidade do explosivo;

D = diâmetro do explosivo em mm.

A massa total de explosivos por furo (Wf) é calculada da seguinte forma:

$$Wf = PC \text{ (m)} \times W \text{ (kg/m)} \text{ em kg.}$$

A massa total de explosivos do desmonte ( $W_t$ ) é calculada multiplicando-se o número de furos ( $N_f$ ) pelo  $W_f$  ( $W_t = W_f \times N_f$ ). O volume de rocha a ser desmontado é calculado conforme formulação apresentada anteriormente. Conhecendo-se a quantidade de explosivos e o volume de rocha, pode-se calcular a razão de carga ( $R_c$ ):

$$R_c = W_f/V_f \text{ em kg/m}^3 \text{ ou } R_c = W_t/V_t \text{ em kg/m}^3.$$

A razão de carga calculada deve ser comparada com a razão de carga recomendada. Caso não esteja entre o intervalo considerado para promover uma boa fragmentação, devem-se ajustar os elementos do plano de fogo, para atingir essa meta.

A geometria da malha de perfuração pode ser organizada de diferentes formas: quadrada, retangular ou pé-de-galinha. De um modo geral, a configuração em pé-de-galinha permite uma melhor distribuição dos efeitos dos explosivos. O sequenciamento da detonação, também, é fator extremamente importante para o sucesso do desmonte de rocha. O tempo de detonação de cada furo tem implicações na fragmentação do material, no lançamento e forma da pilha de desmontado, na geração de vibrações no terreno e ruídos. Retardos muito pequenos provocam o movimento das últimas fileiras de furos, antes que ocorra o movimento de rocha correspondente ao primeiro afastamento. Isso faz com que ocorra uma menor fragmentação do material e possivelmente crie problemas de fraturamento da rocha, atrás da última linha de furos, criando problemas para a próxima detonação. O intervalo de tempo a ser adotado nos retardos, depende do afastamento efetivo e do espaçamento e deve ser calculado furo a furo e linha por linha.

A Figura 11 ilustra um exemplo de configuração de malha e sequência de detonação. A opção por uma ou outra configuração dependerá das condições de operação da pedreira e da disponibilidade de equipamentos de carregamento. Carregadeiras frontais, por exemplo, demandam pilhas baixas e podem ser mais espalhadas.

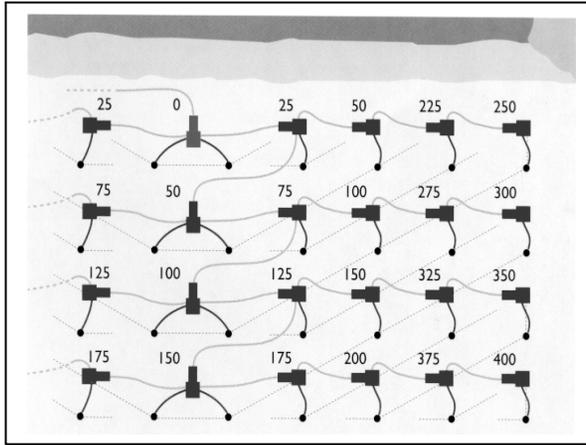


Figura 11 – Configuração de malha regular de furação e sugestão de sequenciamento de detonação.

Para ilustrar a elaboração de um plano de fogo, apresenta-se um exemplo para uma pedreira em granito com bancadas verticais de 12 m e diâmetro de furo de 100 milímetros. Nesse caso, as condições dominantes são secas, ou seja, sem água nos furos. Com base nisso, o explosivo selecionado pode ser o ANFO com cartuchos de emulsão como iniciadores (*primers*). Assume-se que a densidade geral, para o ANFO e emulsão, seja de  $0,85 \text{ g/cm}^3$ . A malha de perfuração será feita em pé-de-galinha. Os principais elementos do plano de fogo podem ser dimensionados da seguinte forma:

$$B \text{ (afastamento)} = 25 \times D \text{ (diâmetro do furo)} = 2,5 \text{ m.}$$

$$S \text{ (espaçamento)} = 35 \times D = 3,5 \text{ m.}$$

$$T \text{ (tampão)} = B = 2,5 \text{ m.}$$

$$J \text{ (subfuração)} = B/3 = 0,83 \text{ m, adota-se } 0,8 \text{ m.}$$

$$H \text{ (comprimento do furo)} = L + J = 12,8 \text{ m.}$$

$$PC \text{ (comprimento da carga de explosivo)} = H - T = 10,3 \text{ m.}$$

$$W \text{ (densidade de carga do explosivo)} = SGe \text{ (densidade do explosivo)} \times D^2/1273 \text{ (kg/m)} = 6,67 \text{ kg/m.}$$

$$Wf \text{ (massa total de explosivos por furo)} = PC \times W = 68,7 \text{ kg.}$$

$$Vf \text{ (volume de rocha fragmentado por furo)} = B \times S \times L = 105 \text{ m}^3.$$

$$Rc \text{ (razão de carga)} = Wf/Vf = 0,654 \text{ kg/m}^3.$$

Os elementos do plano de fogo assim definidos servirão para um bom início do desmonte. A otimização do desmonte poderá ser feita à medida que os parâmetros de fragmentação desejados não tenham sido alcançados.

## 5. CARREGAMENTO E TRANSPORTE

O carregamento e transporte em pedreiras, tradicionalmente, é feito com o sistema carregadeira frontal/caminhão (Figura 12). Outras opções de equipamentos para o carregamento incluem retroscavadeiras. A Figura 13 ilustra esquematicamente esse sistema. O transporte por caminhão vai desde a frente de lavra, até a planta de britagem e depois para o mercado consumidor.

Os crescentes aumentos no preço do petróleo, considerando-se ainda que a tendência de crescimento de preços será mantida para os próximos anos, têm feito com que os operadores de pedreiras procurem melhores práticas e tecnologias para permanecerem competitivos no mercado. O sistema de carregamento e transporte utilizado hoje, na maioria das pedreiras brasileiras, baseado no caminhão, compõe um grande fator de custo nas operações de produção de brita. O sistema de transporte por caminhões é tradicionalmente preferido pelos engenheiros de minas, devido a grande flexibilidade e mobilidade do equipamento.



Figura 12 – Sistema carregadeira frontal/caminhão usualmente empregado em pedreiras com trator dando suporte em operações auxiliares.

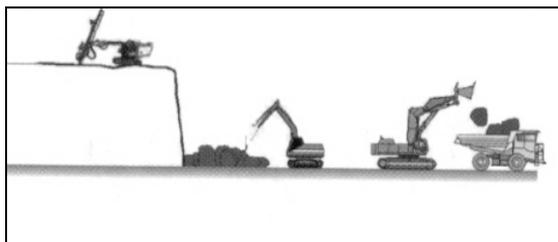


Figura 13 – Sistema de carregamento e transporte usualmente utilizado em pedreiras. Esquematização mostrando sistema escavadeira/caminhão.

Uma das possibilidades para reduzir o uso de caminhões seria a adoção de um sistema contínuo de transporte, as correias transportadoras. Esse sistema pode ser favorecido caso seja instalada uma planta de britagem móvel (Figura 14) a ser empregada nas frentes de lavra. Em 1956, o primeiro sistema de britador móvel foi instalado em uma pedreira de calcário na Alemanha (Sattarvand & Niemann-Delius, 2007). O britador permitiu ao operador da pedreira tirar vantagem de um sistema de correia transportadora, eliminando os custos de transporte por caminhões e de construção e manutenção de estradas. Desde aquela época, o número e a capacidade de plantas de britagem móveis e sistemas de correia transportadora cresceram, tornando-se uma das alternativas mais favoráveis, não apenas para pedreiras, mas, também, para grandes minas a céu aberto. Esse tipo de sistema diminuiu muito o custo com energia, no entanto, representa custos elevados de investimentos, justificando o seu uso apenas para operações que envolvam grandes volumes de minério e intenso transporte. Outra desvantagem é que nos casos de quebra de equipamento, isso implica na parada total do sistema.



Figura 14 – Planta de britagem móvel.

Outras possibilidades de uso de equipamentos, diretamente nas frentes de lavra incluem, a utilização de peneiras móveis (Figura 15) e unidades integradas com britagem e peneiras móveis (Figura 16). Esses sistemas de pequeno porte permitem britagem e/ou seleção de material na frente de lavra. A alimentação dessas plantas móveis pode ser feita com escavadeiras/carregadeiras. A sequência de transporte pode ser combinada com caminhões.



Figura 15 – Peneiras móveis utilizadas diretamente na frente de lavra.



Figura 16 – Unidade móvel compacta incluindo britagem e peneiras.  
Escavadeiras fazem o carregamento.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- FERNBERG, H. (2005). Principles of rock blasting. In: Surface Drilling, Atlas Copco, Suécia, p. 6-8.
- KERBER, R., TUDESHKI, H. e REBEHN, T. (2007). Investigation into piercing rectilinear blastholes into hard rock. In: Aggregates International, Julho/Agosto, Alemanha, p. 22-31.
- KONIA, C. J. (1995). Blast Design. Intercontinental Development, Montville, Ohio, USA, 230p.
- SATTARVAND, J. e NIEMANN-DELIUS, C. (2007). The crude oil price fluctuations and its effect on haulage system of large hard-rock open pit mines. In: Aggregates International, Julho/Agosto, Alemanha, p. 44-50.
- SCOTT, A., COCKER, A., DJORDJEVIC, N., HIGGINS, M., LA ROSA, D., SARMA, K. S. e WEDMAIER, R. (1996). Open pit blast design – Analysis and Optimisation. JKMRC Monograph Series in Mining and Mineral Processing, Queensland, Austrália, 338p.
- SEN, G. C. (1995). Blasting Technology for Mining and Civil Engineers. University of New South Wales Press Ltd, Sydney, Austrália, 146p.
- OLOFSSON, S. O. (1989). Applied Explosives Technology for Construction and Mining. Applex, Suécia, 200p.