

MAURÍCIO DE CARVALHO FERNANDES

O DESMONTE CUIDADOSO DE ROCHAS NA LAVRA DE MINAS

SÃO PAULO

2011

MAURÍCIO DE CARVALHO FERNANDES

O DESMONTE CUIDADOSO DE ROCHAS NA LAVRA DE MINAS

Trabalho de Formatura de Engenharia de Minas do curso de graduação do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, orientado pelo Professor Doutor Lineu Azuaga Ayres da Silva.

SÃO PAULO

2011

TF-2011
F391dL
2271017

M2011s

DEDALUS - Acervo - EPMI



31700009062

FICHA CATALOGRÁFICA

Fernandes, Mauricio de Carvalho
O desmonte cuidadoso de rochas na lavra de minas / M.C.
Fernandes. -- São Paulo, 2011.
20 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de
Petróleo.

1. Desmonte de rochas (Metodologia; Técnicas; Controle)
2. Explosivos de baixa potência I. Universidade de São Paulo.
Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e de
Petróleo II. t.

*À minha família, minha namorada e
meus amigos que durante toda
minha vida me ajudaram em
minhas conquistas e sucessos.*

Agradecimentos

Agradeço inicialmente a Deus por ter me dado vida e ter permitido que tudo isso se realizasse. Sem Ele nada seria possível.

Agradeço também ao meu professor e orientador, Prof. Dr. Lineu Azuaga Ayres da Silva que me ajudou a elaborar este trabalho.

Um agradecimento especial à minha namorada Mária Priskinová que durante esses anos esteve sempre ao meu lado, me apoiando e fazendo parte da minha vida.

Por fim e não menos importante, agradeço à minha família que é a base da minha vida, que sempre esteve comigo nos mais diversos momentos de minha história e que me deu educação e estímulo para chegar até aqui.

Resumo

Este trabalho apresenta uma revisão bibliográfica de alguns métodos de desmonte cuidadoso na lavra de minas, com comentários sobre o corte de rochas ornamentais. São avaliados aqui as características da rocha, tipos de explosivos e dos parâmetros para realizar um desmonte cuidadoso com qualidade e visando o melhor custo-benefício em um empreendimento mineiro. São considerados durante o desenvolvimento do trabalho valores usuais praticados no mercado dos diversos parâmetros estudados e são apresentados fórmulas e gráficos para ilustrar as afirmações aqui descritas. Desta forma é possível optar pelo melhor método de desmonte cuidadoso em diversos tipos de minas e como otimizá-lo.

Abstract

This report shows a bibliographical revision of a few methods of contour blasting in mining, also including comments about exploitation of dimension stones. The rock characteristics, types of explosives and the parameters to proceed in the contour blasting are evaluated to provide quality improvement while searching for the best cost-benefit in a mine enterprise. During the development of this work common values of the studied parameters in the daily work are considered and graphics and equations are added to illustrate the statements here described. This way it is possible to choose the best method of contour blasting in many kinds of mines and the way how to optimize it.

Sumário

1. Introdução	2
2. O desmonte cuidadoso.....	4
2.1 Desmonte tipo <i>Pre-splitting</i>	6
2.2 Desmonte tipo <i>Cushion Blasting</i>.....	7
2.3 Desmonte tipo <i>Line Drilling</i>	7
3. Características dos explosivos	8
4. Geometria do plano de fogo para <i>Pre-splitting</i> e <i>Cushion Blasting</i>.....	11
4.1 Diâmetro e Ângulo do Furo.....	12
4.2 Afastamento, Espaçamento e Profundidade dos furos	13
4.3 Razão de carga linear.....	16
4.4 Tempo de espera e sequencias de iniciação.....	18
5. Conclusão.....	20
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21

1. Introdução

O desmonte cuidadoso de rochas é um tema que merece ênfase no setor de mineração pois sua não realização influencia toda a cadeia de produção de uma mineradora e pode comprometer a segurança da mina, o desenvolvimento da lavra e até mesmo no tratamento posterior do minério desmontado, reduzindo os custos do beneficiamento quando aplicado de forma correta. É um processo mais caro que o desmonte convencional, mas seus custos de implementação e utilização são justificados pelos benefícios que promove em todo o processo de lavra. O preço da energia gasta no desmonte é ínfimo quando comparado ao preço de cominuir o minério na usina de tratamento, sendo assim interessante promover um desmonte de melhor qualidade para que o lucro da empresa seja maximizado.

Um desmonte realizado sem os devidos cuidados pode causar, além de maiores custos para a empresa, diluição do minério, aumento de finos, utilização de reforços mais caros (em casos de minas subterrâneas) ou taludes instáveis (em minas a céu aberto), vibrações excessivas, penetração de água pelo prolongamento das juntas e fraturas e, para rochas ornamentais, fraturas no minério causando desvalorização do mesmo ou até mesmo causando a perda do mineral.

Com o desmonte cuidadoso também é possível reduzir ruídos, vibrações, ultralançamentos e geração de poeiras, além de maximizar a produção sem gerar blocos fora de proporção e eventuais entupimentos dos britadores no estágio de cominuição.

Quando realizado em minas subterrâneas, o desmonte cuidadoso permite que os pilares sejam menores, promovendo maior recuperação da mina, melhor ventilação pois o atrito pelas galerias é reduzido já que há menos ranhuras e desniveis nas paredes e no chão, menor risco de danos na perfuração e de desabamentos e em minas a céu aberto, uma berma maior e a estabilidade dos taludes.

Outro benefício do desmonte cuidadoso é o fato de obter produtos com granulometria controlada, facilitando o carregamento e transporte do minério. É possível aprimorar este método utilizando dispositivos de acionamento eletrônico para promoverem uma qualidade ainda maior do desmonte.

No corte de blocos de rochas ornamentais é fundamental ter em mente que o minério não pode, de forma alguma, ter fraturas, pois qualquer tipo de trinca pode comprometer todo o bloco e reduzir bruscamente o preço do minério. São largamente extraídos com o uso de explosivos deflagrantes ou detonantes de baixa força mas outros métodos como o corte helicoidal, fio de diamante, jato de água,

argamassa expansiva ou outros métodos também são frequentemente utilizados. Não há um método específico para realizar esse desmonte mas é possível realizá-lo da forma mais eficiente sendo possível utilizar um ou mais métodos ao mesmo tempo.

Dentre as rochas ornamentais, as mais comuns são os granitos, mármores e calcários marmóreos. São extraídos em blocos ou placas e utilizados para embelezamento por sua cor, textura, brilho além de sua durabilidade.

2. O desmonte cuidadoso

O desmonte cuidadoso pode ser feitos de várias formas diferentes e dentre elas as mais comumente utilizadas com explosivos são o *pre-splitting*, *cushion blasting* e o *line-drilling*. Neste trabalho são estudados com maior ênfase o *pre-splitting* e o *cushion blasting*.

Em todos esses casos, os principais mecanismos de desmonte que podem causar uma quebra excessiva são a quebra por esmagamento e rachaduras, fragmentação e abertura de fraturas por gases, lembrando-se que, de toda a energia utilizada no desmonte, cerca de 85% ou mais é perdida e não é aproveitada para fragmentar a rocha ou liberá-la, mas para reduzir a resistência estrutural do maciço.

A quebra é dada devido à produção de ondas radiais da detonação ou deflagração do explosivo que comprimem uma determinada região do maciço, próximo ao furo de mina, promovendo trincas e rachaduras quando a tensão fornecida é maior que a tensão dinâmica de quebra da rocha. Quando as ondas atingem uma face livre, ondas de tensão refletida são geradas e fraturam a rocha por tração causando um aumento significativo de trincas. Finalmente, os gases produzidos na detonação percolam pelas trincas e terminam de fragmentar a rocha.

Quando duas cargas são detonadas simultaneamente há uma tendência de que as ondas sejam propagadas de formas iguais assim como as fraturas, colidindo em um ponto médio entre os furos, como na Figura 1. Isso produz uma tensão adicional e favorece a criação de trincas radiais em um determinado plano de fraturas. Quando os gases chegam, preenchem os vazios produzidos e quebram a rocha onde há maior quantidade de trincas. Os gases produzidos são essenciais no desmonte cuidadoso e devem permanecer entre as trincas até que dois furos adjacentes sejam atingidos. Isso é possível quando utilizados tampões adequados para que os gases não sejam lançados para fora do furo e perdidos na atmosfera.

É importante ressaltar que as propriedades mecânicas das rochas interferem muito tanto no plano de lavra quanto nos resultados do desmonte. Se um furo de mina atravessar um plano de descontinuidades haverá uma maior possibilidade de *overbreak* pois não haverá uma distribuição homogênea das quebras radiais, promovendo uma quebra excessiva em alguns pontos e quase nula em outros.

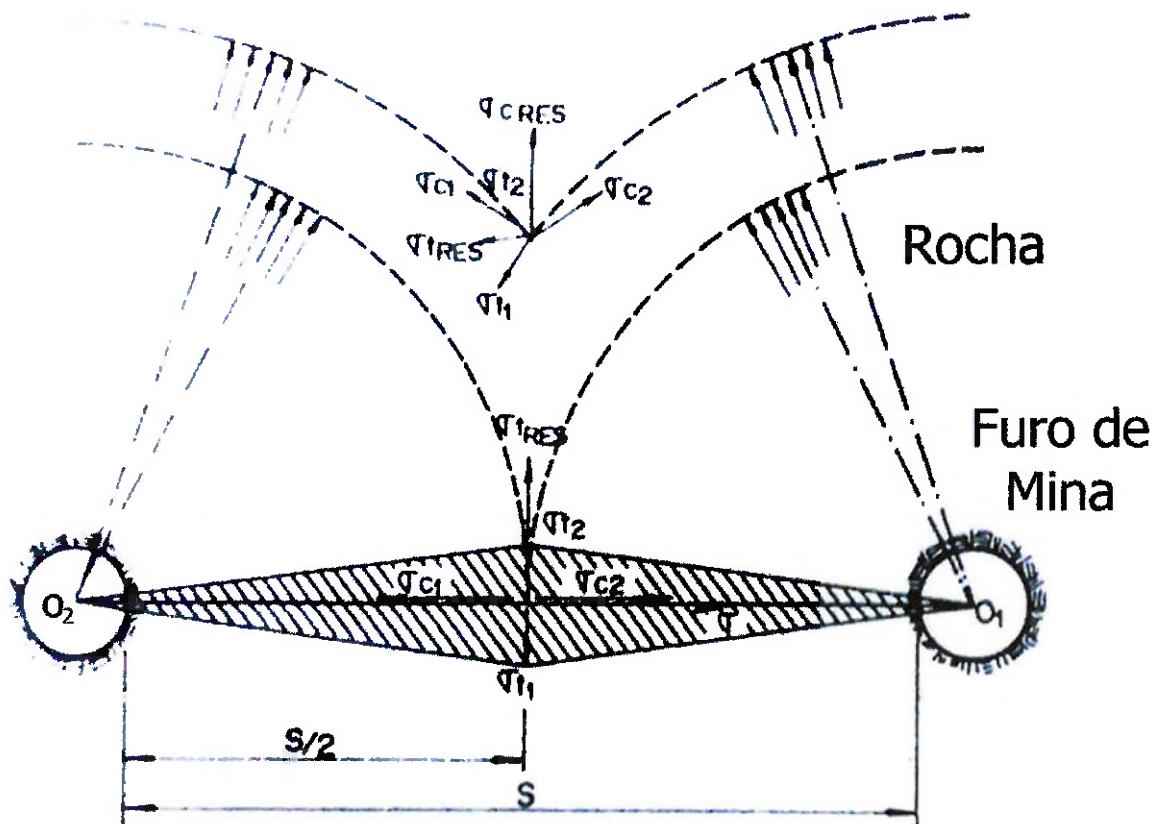


Figura 1 – Tensões geradas na rocha pelas ondas de choque pelo fogo de duas cargas consecutivas, segundo Carlos Lopez Jimeno (1995)

Também se deve levar em consideração as resistências às tensões de tração e compressão máximas da rocha, os espaços entre as discontinuidades e sua orientação e a quantidade de água que percola pelo maciço, pois a água pode, em alguns casos, fazer com que o explosivo não seja eficaz ou até mesmo impedir que seja iniciado por ficar muito dissolvido e reduzir a sensibilidade de ignição.

Em rochas homogêneas o desmonte cuidadoso pode ter resultados excepcionais pois as condições do maciço permitem que a rocha seja fragmentada da maneira desejada. Já no caso de rochas fraturadas, quando utilizado um método de desmonte cuidadoso, há uma grande possibilidade de que o plano de discontinuidade criado seja mais resistente que o existente na rocha e assim, de forma preferencial, o plano de fraqueza ocorrerá na fratura pré-existente. Isso pode trazer muitas complicações no desmonte pois o plano de fogo é dimensionado para criar planos de fraturas controlados e não utilizar os planos contidos na rocha e desconhecidos.

2.1 Desmonte tipo *Pre-splitting*

O desmonte tipo *pre-splitting* é realizado criando um plano de fraturas antes de iniciar o fogo com uma linha de furos de minas de pequeno diâmetro e com explosivos desacoplados. É um método em que se issola uma determinada região de desmonte do restante do maciço para que as vibrações não sejam propagadas fora dali. Pode ser realizado antes ou durante o desmonte, com um tempo de retardo de 90 a 120 ms (JIMENO, 1995). É utilizado um espaçamento menor que o convencional entre cada furo de mina e um intervalo de distância maior que o convencional entre cada carga dentro dos furos carregados para que haja melhor controle da detonação, como mostrado na Figura 2.

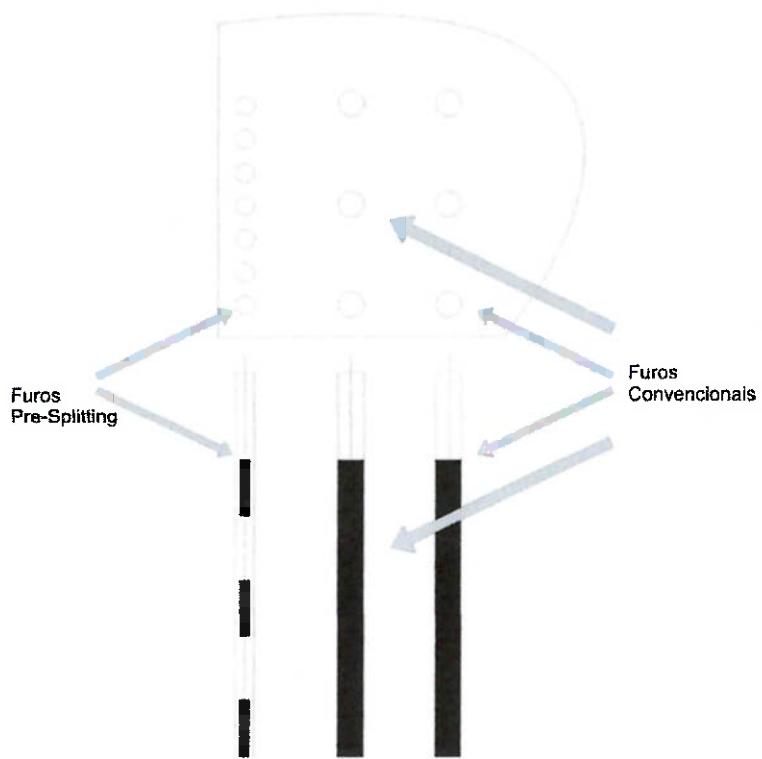


Figura 2 – Furos de *Pre-splitting*

Este método é utilizado em um caso especial para a extração de rochas ornamentais em que inicialmente são cortados grandes blocos do maciço rochoso de formato de paralelepípedo de 100 até 4.000 m³ de volume. São feitos furos que não serão carregados ao redor deste paralelepípedo e próximos a eles, furos carregados para realizar a remoção do bloco inteiro. Posteriormente são cortados em pedaços menores para que possam ser transportados e trabalhados. Esse desmonte inicial é realizado com o *pre-splitting* pois é importante que o bloco não seja danificado. São utilizados explosivos de baixa velocidade e densidade como o ANFO diluído.

2.2 Desmonte tipo *Cushion Blasting*

Esta técnica envolve a criação de uma linha única de detonação com explosivos desacoplados. O princípio é parecido com o *pre-splitting*, pois a quebra da rocha se dá através da criação de uma face livre, porém o espaçamento entre as cargas é maior, reduzindo custos e tornando o procedimento mais simples. O furo de mina também é maior (de duas a quatro polegadas), sendo igual ao diâmetro do furo de mina de detonação de produção.

Detonando esses furos com um pequeno intervalo ou ao mesmo tempo a detonação tende a cisalhar a rocha entre os furos e criar uma parede com um corte suave, evitando a criação de fraturas indesejadas ou quebras excessivas.

2.3 Desmonte tipo *Line Drilling*

O *Line Drilling* é um método de quebra em que são utilizados furos vazios de 35 a 75 milímetros de diâmetro, separados uns dos outros cerca de duas a quatro vezes o diâmetro do furo. Seu espaçamento entre o furo carregado é geralmente de 50 a 75% do espaçamento convencional e sua carga reduzida a cerca de 50% do carregamento de detonação comum (JIMENO, 1995).

Estes furos promovem uma condição geológica adequada de concentração de tensões por estarem muito próximos. Além disso, criam planos de fraqueza entre eles que facilitam a quebra de forma mais organizada e coordenada.

Este método depende muito da qualidade e da precisão dos furos, além da homogeneidade da rocha pois fraturas podem criar planos de fraqueza indesejados com mais facilidade que os furos vazios, causando um descontrole e uma quebra errônea.

3. Características dos explosivos

O uso dos explosivos corretos é essencial para o sucesso de um desmonte cuidadoso. Explosivos de grande intensidade energética não são indicados para a realização do desmonte cuidadoso pois geram, além de muitas tensões na rocha, grandes quantidades de gases. A pressão dentro do furo, gerada a partir da expansão dos gases da explosão, garante uma das etapas de quebra do desmonte. Ela é proporcional à tensão induzida na periferia da rocha, permitindo controlar a quebra e as vibrações com a pressão dentro do furo. É possível calculá-la de acordo com a seguinte expressão:

$$PB = 228 \times 10^{-6} \times \rho_e \times \frac{VD^2}{1 + 0,8\rho_e}$$

Equação 1, segundo Carlos Lopez Jimeno (1995)

Onde:

PB = Pressão no furo com uma carga acoplada preenchendo totalmente o furo de mina (MPa)

ρ_e = Densidade ou massa específica do explosivo (g/cm³)

VD = Velocidade de detonação/deflagração para um explosivo confinado (m/s)

Há outras formas de reduzir a pressão no furo de mina além da utilização de diferentes explosivos. É possível adicionar materiais inertes que contém ar como poliestireno expandido, serragem e Isopor ®, aos explosivos para diminuir a densidade da mistura que reduz linearmente a pressão no furo. Além disso, a diminuição da densidade do explosivo faz com que a velocidade de detonação/deflagração do explosivo seja mitigada, reduzindo ainda mais a pressão no furo.

Se o diâmetro do furo de mina for maior que o diâmetro máximo do explosivo (causando o desacoplamento da carga), a velocidade da detonação será assaz reduzida, e isso implica em uma redução muito grande da pressão no furo.

Um terceiro método para reduzir a pressão no furo é a inserção de ar entre as cargas dentro do furo de mina. Isso causa um amortecimento da detonação e reduz a pressão gerada pelo explosivo.

Há diversos tipos de explosivos disponíveis no mercado, para os mais variados fins dentro da mineração. Em especial, no desmonte cuidadoso, utiliza-se, de forma mais frequente, o cordel detonante e o ANFO diluído de menor densidade.

O explosivo que constitui o cordel detonante é o PETN (tetranitrato de pentaeritrol) e por isso o cordel é, além de transmissor de energia, também um iniciador e pode ainda ser utilizado como carga para cortes precisos e limpos.

O ANFO diluído tem um poder de fogo reduzido de valor equivalente a um explosivo deflagrante e é largamente utilizado no desmonte cuidadoso. Uma forma de reduzir este poder de fogo é adicionar ao ANFO sal. O sal tem a função de diminuir a densidade do explosivo, além de funcionar como um refrigerante, reduzindo o calor e a velocidade da detonação.

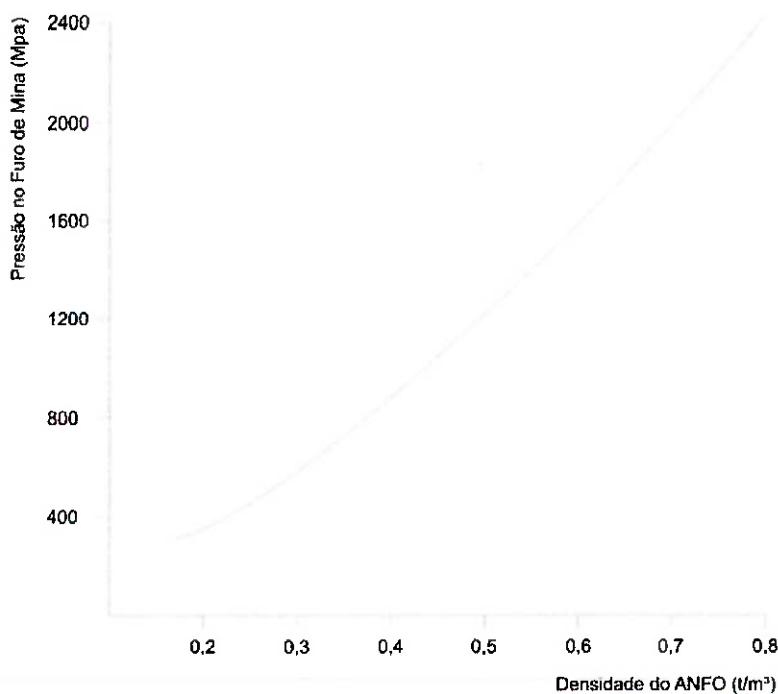


Figura 3 – Gráfico da variação da pressão no furo de mina pela densidade do ANFO, segundo Carlos Lopez Jimeno (1995)

A máxima proporção de sal no ANFO deve ser de 20% (JIMENO, 1995) e este valor não deve ser ultrapassado pois pode gerar falhas na detonação ou mitigar a sensibilidade do explosivo, além de gerar refrigeração excessiva que causa combustão incompleta do explosivo e produção de gases tóxicos.

Outra forma de reduzir a densidade do ANFO é, como citado anteriormente, utilizar o ANFO com poliestireno em pequenos pedaços de 0,5 a 3 mm. A esta mistura é dado o nome de ANFOPS. O gráfico da Figura 3 permite obter a pressão no furo com relação à densidade do ANFO.

4. Geometria do plano de fogo para *Pre-splitting* e *Cushion Blasting*

A geometria do plano de fogo é, assim como o uso do explosivo ideal, essencial para a realização de um desmonte cuidadoso, principalmente porque se houver falhas no dimensionamento, por melhor que o explosivo seja, não irá alcançar os resultados almejados, causando fraturas ou vibrações em regiões que não deveriam ser afetadas.

Um fator que é decisivo no sucesso da detonação é a precisão da perfuração. Os furos devem estar perfeitamente alinhados e realizados nos planos calculados, caso contrário poderão causar desvios catastróficos. Profissionais qualificados devem ser contratados para este serviço pois furos mal marcados, instalação incorreta dos equipamentos de perfuração, falta de alinhamento das perfuratrizes quando em furos inclinados, rochas em condições geológicas desfavoráveis e uso de equipamentos incorretos (tipo de broca, qualidade do aço e estabilizadores) podem comprometer o plano de fogo.

Um controle de qualidade dos furos deve ser realizado sempre que há necessidade de furos de precisão para verificar eventuais desvios. Deve-se também observar que quanto menor o diâmetro da perfuração, maior a probabilidade de haver desvios.

Para realizar uma perfuração ótima no desmonte cuidadoso é necessário que se utilize uma perfuratriz mecânica corretamente selecionada para minimizar erros de desvio. Nesse aspecto, observa-se que equipamentos rotopercussivos são aplicáveis para todos os tipos de rocha e apresentam-se de utilização eficiente em uma ampla faixa de resistência mecânica dos maciços rochosos.

Devem, portanto, ser observadas as propriedades físicas da rocha antes de iniciar o processo de perfuração. Dentre as propriedades físicas, as que mais influenciam na qualidade da perfuração são a dureza da rocha, resistência mecânica, elasticidade, abrasividade, textura, plasticidade, estrutura e suas famílias de descontinuidades.

4.1 Diâmetro e Ângulo do Furo

Há uma grande variedade de diâmetros de furos para desmonte mas utilize-se, de forma mais comum, furos de 35 a 75 mm em lavra a céu aberto e de 32 a 65 mm em lavra subterrânea (JIMENO, 1995). O aumento do diâmetro de perfuração e da carga de explosivo, na lavra subterrânea, acarreta em um aumento de custo com suportes, como mostra a Figura 4. Há, no entanto, um ponto mínimo de custo, mas este valor é apenas uma referência relativa e deve ser obtido em cada caso, isoladamente pois cada rocha tem suas propriedades específicas, dependendo também do método de desmonte e tipo de explosivo. Para rochas ornamentais é muito comum utilizar diâmetros de 25 a 45 mm.

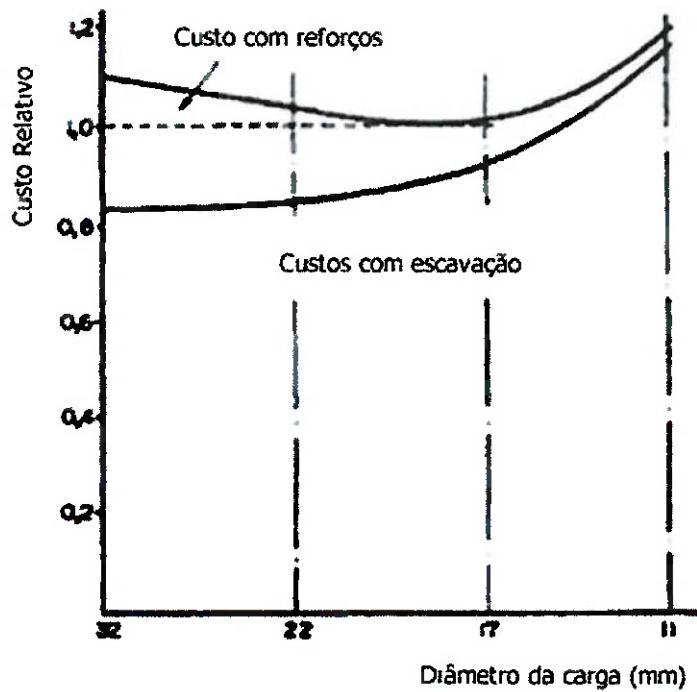


Figura 4 – Gráfico da relação entre o diâmetro da carga e o custo relativo, segundo Carlos Lopez Jimeno (1995)

O diâmetro ótimo do furo de mina deve levar em consideração, além dos custos envolvidos, as propriedades físicas da rocha a ser perfurada, o ângulo de fragmentação desejado, a altura da bancada e a capacidade de carregamento dos equipamentos. Se um furo de mina tiver um diâmetro muito pequeno haverá um controle maior do fogo porque há uma distribuição melhor do explosivo, mas os custos de perfuração, iniciação e carregamento serão maiores, além de serem mais trabalhosos de realizar. Furos mais largos são mais baratos e dão menos trabalho, além de aumentarem a produção mas não permitem a mesma precisão e controle

como um furo pequeno. A relação do preço por metro cúbico perfurado e o diâmetro do furo está apresentada na Figura 5.

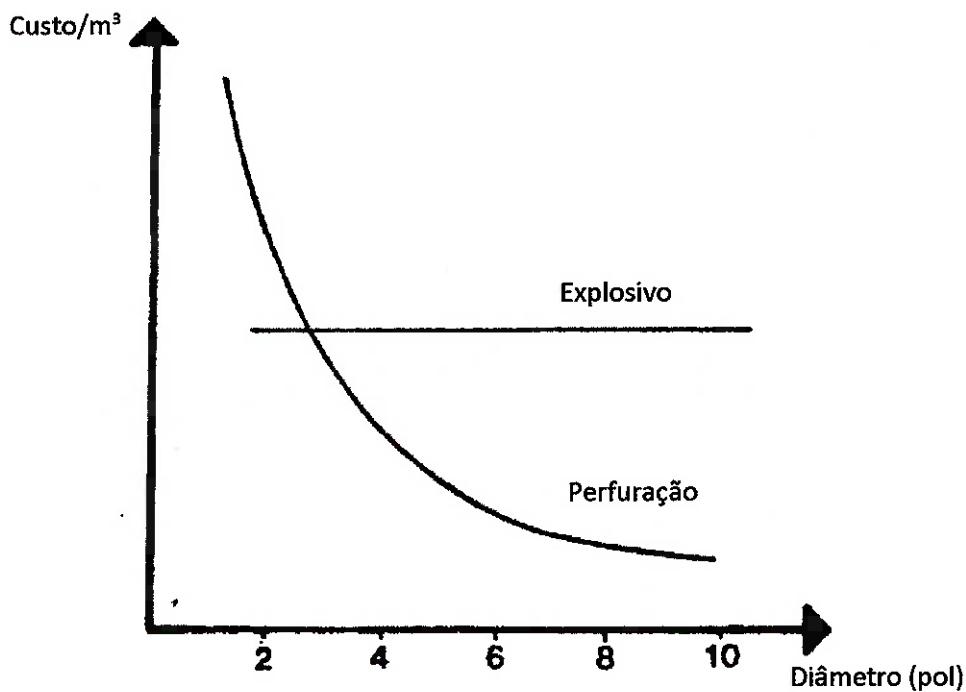


Figura 5 – Gráfico da relação entre o diâmetro do furo e o custo por metro cúbico perfurado, segundo Carlos Lopez Jimeno (1995)

Além do diâmetro do furo, outra decisão importante é a inclinação que este furo será feito. Furos inclinados fragmentam e desacoplam melhor a rocha, tem menos probabilidade de fogachos e falhas na detonação ou deflagração, causado pelo movimento do maciço durante a detonação, cortes mais suaves, maior produtividade, menos subfurações e menor vibração. No entanto, quando inclina-se o furo, há uma maior probabilidade de desvio durante a perfuração, os furos tem que ser mais compridos, há necessidade de estabilizadores melhores e supervisão direta, aumento no fluxo de ar devido ao atrito gerado e podem ocorrer problemas durante o carregamento do explosivo, principalmente em furos que contenham água.

4.2 Afastamento, Espaçamento e Profundidade dos furos

O afastamento de um furo é a menor distância em um mesmo eixo entre o furo de mina e uma face livre. É uma parâmetro que depende do diâmetro do furo, das propriedades físicas da rocha, tipo de explosivo utilizado, entre outras características do furo. Valores comuns de 24 a 40 vezes o diâmetro do furo de mina são encontrados na literatura, calculados com um ou mais parâmetros da rocha. A

Figura 6 mostra a relação do afastamento e o diâmetro do furo para rochas duras, médias e moles.

Definido um diâmetro é possível calcular o espaçamento entre os furos para um plano de fogo ótimo. O espaçamento é a distância entre furos de uma mesma linha. A relação S/D (espaçamento / diâmetro do furo) varia de 5 a 15, com um valor médio de 10 para o desmonte do tipo *pre-splitting* e de 13 a 16 com média 15 no *cushion blasting*. O gráfico da Figura 7 mostra esta relação.

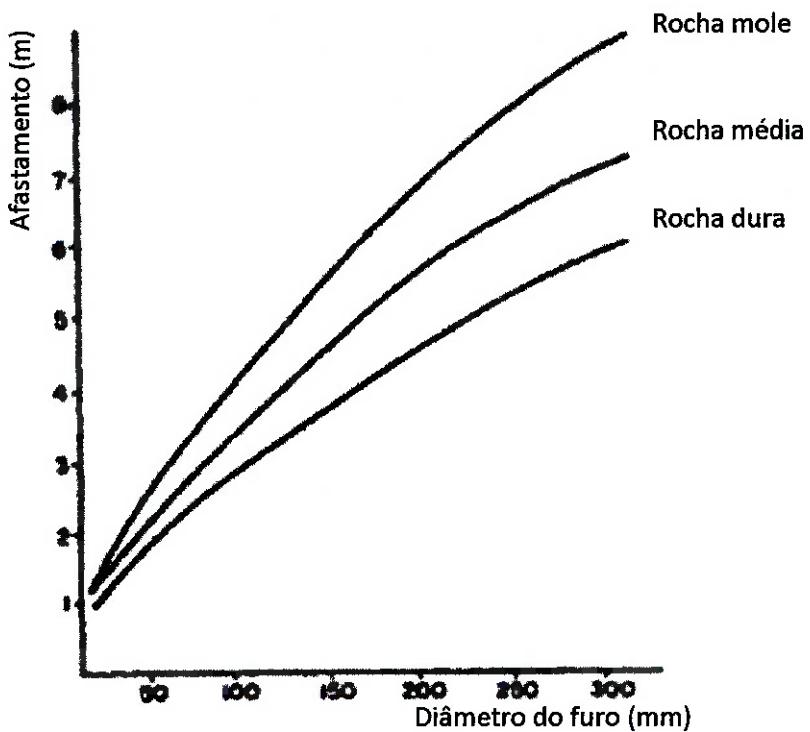


Figura 6 – Relação do afastamento com o diâmetro do furo de mina para diferentes tipos de rochas, segundo Carlos Lopez Jimeno (1995)

Empiricamente, diversos autores descrevem modelos matemáticos para calcular o espaçamento entre os furos de mina. B. Mohanty (1996) propõe o modelo de Brent (1995) em que o espaçamento entre os furos é baseado na análise da tensão estática da rocha. Esta equação é dada por:

$$S \leq D \times \frac{(PB_e + T)}{T}$$

Equação 2, segundo B. Mohanty (1996)

Onde:

S = Espaçamento entre os furos de mina

D = Diâmetro do furo

PB_e = Pressão dos gases gerados pelo explosivo

T = Tensão uniaxial de resistência à tração da rocha

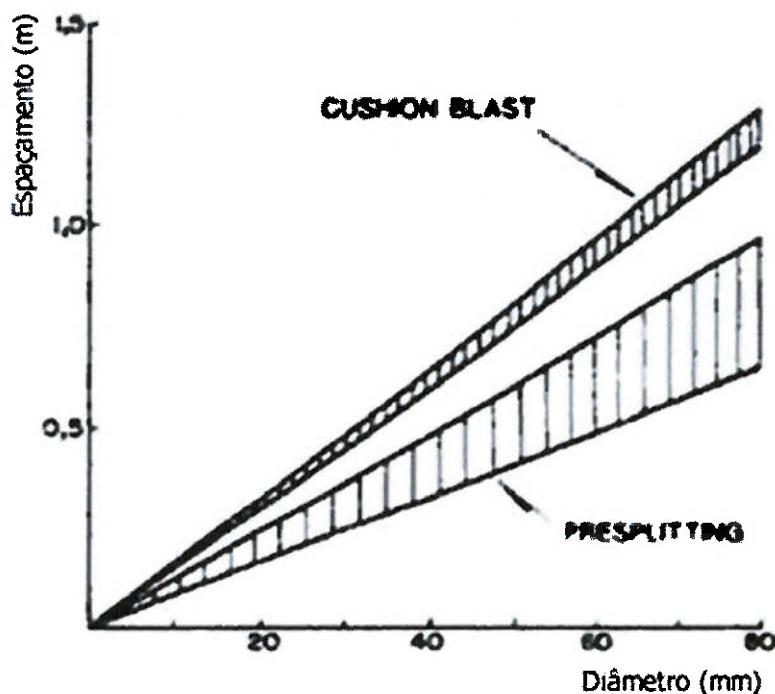


Figura 7 – Gráfico dos intervalos de espaçamento recomendados para cada diâmetro do furo, segundo Carlos Lopez Jimeno (1995)

Já no caso de rochas ornamentais, por haver uma necessidade maior de precisão e um cuidado superior com a inexistência de fraturas indesejadas, é sugerido um espaçamento usual de quatro a oito vezes o diâmetro ou, analiticamente, segundo Giorgio Berta (1985):

$$S = \frac{2 \times PE_s \times \rho_e \times d^2}{T \times D} + D$$

Equação 3, segundo Giorgio Berta (1985)

Onde:

S = Espaçamento entre os furos de mina (m)

D = Diâmetro do furo (m)

d = Diâmetro da carga de explosivo (m)

PE_s = Pressão específica (MPa)

T = Tensão uniaxial de resistência à tração da rocha (MPa)

ρ_e = Densidade ou massa específica do explosivo (g/cm³)

Não há, na teoria, uma profundidade máxima para o furo de mina, mas na prática quanto mais profundo o furo, maior o risco de desvio e do paralelismo desejado não ser alcançado. Se os furos não forem paralelos o desmonte não ocorrerá da forma planejada. Assim, para furos inclinados entre 32 e 65 mm, é comum perfurar cerca de 15 a 20 m (JIMENO, 1995). Para rochas ornamentais, como a extração é feita em blocos, costuma-se furar de quatro a seis metros, principalmente por seu diâmetro de furo ser menor.

É possível, no entanto, diminuir os possíveis desvios na perfuração utilizando brocas mais largas com perfuratrizes rotopercussivas.

4.3 Razão de carga linear

A razão de carga linear é a relação entre a quantidade do explosivo em massa e o espaço, linear, em que ele é confinado.

Uma aproximação média para o cálculo da razão de carga linear para o desmonte cuidadoso é dado a seguir para um explosivo de densidade 1,2 g/cm³:

$$q_l = 8,5 \times 10^{-5} D^2$$

Equação 4, segundo Carlos Lopez Jimeno (1995)

Onde:

q_l = razão de carga lienar (kg/m)

D = diâmetro do furo (mm)

No entanto, o gráfico da figura 8 mostra a relação entre a razão de carga lienar e o diâmetro do furo.

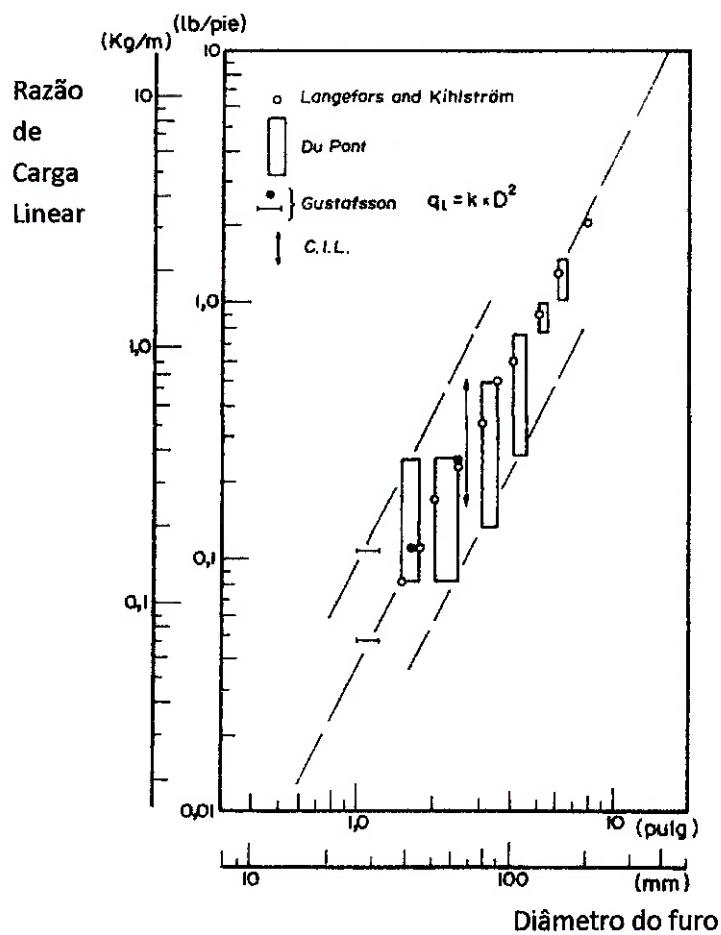


Figura 8 – Relação entre o diâmetro do furo de mina e a razão de carga linear de explosivo, segundo Carlos Lopez Jimeno (1995)

Em rochas ornamentais, como o uso do cordel detonante é mais comum, utiliza-se uma relação de densidade da carga por metro quadrado. Dessa forma, a quantidade de explosivo por metro quadrado dependerá do tipo explosivo empregado e do tipo de rocha a ser lavrada como por exemplo granitos (de 80 a 150 g/m²), mármores (de 40 a 80 g/m²) e calcários marmóreos (de 30 a 60 g/m²), segundo Jimeno (1995).

4.4 Tempo de espera e sequencias de iniciação

O sucesso do desmonte cuidadoso leva também em consideração que a quebra é baseada em um efeito quase simultâneo da propagação das ondas de choque no maciço rochoso. O dimensionamento correto da sequencia de iniciação aliado ao tempo de espera de ignição entre cada furo traz benefícios ao desmonte como a redução da vibração e a boa fragmentação e desacoplamento da rocha. Assim, colocam-se esperas de milissegundos (normalmente de 10 a 20 ms após a iniciação) entre diferentes grupos de furos.

Uma exceção à utilização de esperas é o desmonte cuidadoso para rochas ornamentais com o método de *pre-splitting* que recomenda realizar a detonação de todos os furos de minas ao mesmo tempo com o uso de cordel detonante.

O tempo de espera facilita a quebra pois a primeira onda de choque não contribui significativamente para a fragmentação da rocha, mas quando uma segunda onda passa, rompe com facilidade e permite uma quebra melhor. Muitos autores estimam, de forma empírica, um valor de três a seis milissegundos para cada metro de afastamento e a Figura 9 mostra a relação do afastamento com o tempo da espera.

Apesar disso, um tempo excessivo entre o fogo em um furo e outro pode cessar a iniciação do sistema pois haverá movimentação do maciço.

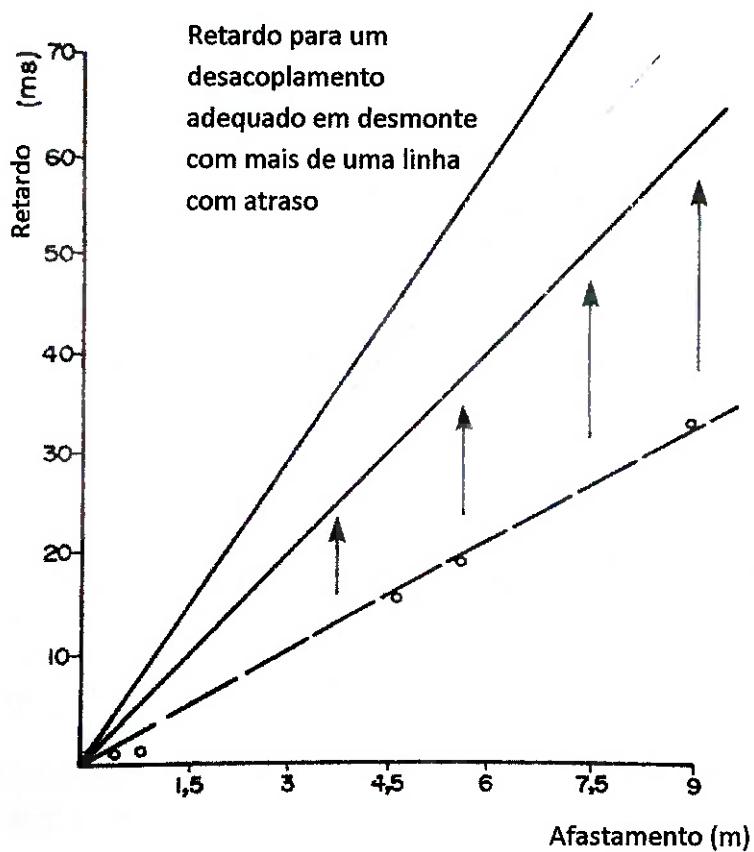


Figura 9- Relação do afastamento com o tempo de espera, segundo Carlos Lopez Jimeno (1995)

É possível também, com o tempo de espera, minimizar ultralançamentos e *overbreak* da rocha pois haverá uma movimentação horizontal da rocha fraturada. Konya e Walter (1990) expressam os resultados esperados para o tempo de espera entre linhas na tabela 1.

Tempo de espera entre linhas (ms/m de afastamento)	Resultado
7	Intensos ultralançamentos, <i>overbreak</i> etc
7-10	Pilha de minério desmontado comprimida e alta e ultralançamentos e <i>overbreak</i> moderados
13-20	Pilha de minério desmontado média ou dispersa e moderado a mínimo ultralançamento e <i>overbreak</i>
23-47	Desmonte com máximo desacoplamento

Tabela 1

Desta forma é possível estimar o comportamento das rochas após a detonação e evitar resultados não esperados.

5. Conclusão

É possível realizar um desmonte que tenha uma máxima eficiência e a eficácia desejada quando utilizados os métodos de desmonte cuidadosos, considerando sempre as características e parâmetros da rocha a ser lavrada.

Apesar de ter um cuidado muito maior, necessitar mão de obra mais especializada, produtos mais específicos, um custo mais elevado por se fazer necessário o uso de diâmetro menores, o desmonte cuidadoso compensa todo o custo investido no processo de lavra, já que tem, como produto final lavrado, um minério mais bem quebrado, sem acidentes com ultralançamentos ou vibrações e que irão reduzir os custos com o tratamento de minério, responsáveis por mais de 80% do custo energético da mina.

É possível também viabilizar o corte e a extração de rochas ornamentais com explosivos. Tais rochas necessitam de um cuidado extremo ao serem lavradas para não perderem valor por trincas e fraturas indesejadas e viu-se, com este trabalho, que tomando-se os devidos cuidados com a escolha do método de lavra, perfuração e explosivos, faz-se viável tal extração.

Além disso, deve-se tomar as precauções de sempre avaliar os resultados do desmonte para verificar se o plano de fogo estava correto, pontos fracos, melhorias a serem implementadas futuramente e para que a qualidade do minério lavrado esteja de acordo com as práticas de mercado e da empresa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

JIMENO, Carlos Lopez. **Drilling and Blasting of Rocks**. Holanda. A.A. Balkerna, 1995. 389 p.

B. MOHANTY, **Rock Fragmentation by Blasting**, Canada, Taylor & Francis, 1995. 458 p.

BERTA, G.. **L'esplosivo Strumento di Lavoro**. Itlaesplosivi, 1985. 479 p.

KONYA, C.J. & WALTER, E.J.. **Surface Blast Design**. Prentice Hall, 1990. New Jersey. 303 p.

Environmental Review and Assessment. **Preliminary Maximum Blast Design**. Disponível em <

http://www.dera.saccounty.net/portals/0/docs/EnvDocs_Notices/20020636020101123100215.pdf. Acesso em: 05 de out. 2011

E.I. du Pont de Nemours & Company. **Blasters' handbook; a manual describing explosives and practical methods of use**. Wilmington, Del. 1988