

DESENVOLVIMENTOS NO PROJETO E ANÁLISE DE DESMONTE
EM GALERIAS E TÚNEIS POR EXPLOSIVO

Luiz Carlos Rusilo

Departamento de Engenharia de Minas da
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

- 1992 -

OK

Universidade de São Paulo
Biblioteca da Escola Politécnica

SUMÁRIO

	página
RESUMO	1
1 INTRODUÇÃO	1
2 MÉTODOS DE DESMONTE DE GALERIAS E TÚNEIS	3
2.1 Tipos de Avanço	4
2.2 Esquemas de Desmontes	7
2.3 Tipos de Pilões	11
2.3.1 Pilões de furos paralelos	11
2.3.1.1 Pilões cilíndricos	12
2.3.1.1.1 Pilão em espiral	13
2.3.1.1.2 Pilão Coromant	13
2.3.1.1.3 Pilão Fagersta	14
2.3.1.2 Pilões queimados	15
2.3.1.3 Pilões "em cráter"	17
2.3.2 Pilões em ângulo	18
2.3.2.1 Pilão em "V"	18
2.3.2.2 Pilão em leque	19
2.3.2.3 Pilões instantâneos	20
2.3.3 Outros pilões	21
2.3.3.1 Pilão em galerias com capa de carvão .	21
2.3.3.2 Pilão em galerias de minas de sal	22
2.4 TBM	23
2.5 Considerações Sobre o Desmonte	23
3 CÁLCULO DE PILÕES	33
3.1 Pilão de Três Seções	38

3.2	Pilão de Quatro Seções	40
3.3	Pilão em Dupla Espiral	42
3.4	Pilão Tãby	45
3.5	Cálculo de Parâmetros	47
4	REGIÕES DO ALARGAMENTO	54
4.1	Furos de Levante	54
4.2	Furos de Alívio e Alívio Superior	57
4.3	Furos de Contorno	57
4.3.1	Danos na rocha e desmonte cuidadoso	58
4.4	Fatores de Rendimento de Transferência	64
4.5	Verificação do Plano de Fogo	67
5	IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA	70
5.1	Modo de Utilização	71
5.2	Sugestões de Implementação	75
6	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS	77
7	ESTUDO DE CASOS	88
7.1	Túnel da Usina Hidrelétrica de Miranda	88
7.2	Mina do Baltar	90
8	CONCLUSÃO	94
	Agradecimentos	96
	Bibliografia	97
	ANEXO A: Regressões de Avanço de Pilões	99
	ANEXO B: Ábacos de Velocidade de Partícula	103
	ANEXO C: Tabela de Valores Médios de Densidade e	

Velocidade de Onda Sísmica	113
ANEXO D: Listagem Completa do Programa "Volador versão 1.0"	115
ANEXO E: Plano de Fogo do Túnel de Miranda	158
ANEXO F: Planos de Fogo da Mina do Baltar	160
ANEXO G: Relatórios de Planos de Fogo Túnel de Miranda Mina do Baltar	164

DESENVOLVIMENTOS NO PROJETO E ANÁLISE DE DESMONTE EM GALERIAS E TÚNEIS POR EXPLOSIVO

*Eulz Carlos Rusillo **

RESUMO (Aprox)

Panorama geral dos métodos e técnicas de desmonte costumeiramente empregados na abertura de galerias e túneis.

Exposição da metodologia para o dimensionamento de planos de fogo de galerias e túneis à seção plena, utilizando o equacionamento de quatro tipos de pilões cilíndricos e fatores de rendimento de transferência da energia do explosivo.

Apresentação do método em programa computacional, com discussão dos resultados obtidos na sua utilização.

1 INTRODUÇÃO

O dimensionamento de planos de fogo para a abertura de túneis e galerias é baseado, em grande parte, na experiência pessoal do técnico executante. A partir de projetos similares já realizados e de métodos geométricos expeditos, realiza-se um plano de fogo inicial que, quando aplicado, deverá ser parcial ou completamente redimensionado pelo processo de tentativa-e-erro.

É praticamente impossível avaliar a influência de fatores tais como: tipo de explosivo, tipo de pilão, uso ou não de desmonte cuidadoso etc. sobre um projeto de plano de fogo, pois não há sistemática de cálculo a ser corrigida, e não são levadas em conta as propriedades geomecânicas da rocha nem as

* Engenheiro de Minas pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1992.

características físico-químicas do explosivo. Torna-se, assim, muito difícil qualquer otimização do projeto, implicando gasto de tempo e custos desnecessários.

Reforçando esta situação, a literatura disponível é escassa e normalmente limita-se a descrições sumárias ou à apresentação de metodologias teóricas, de difícil aplicação.

Em vista disso, é proposto um método racional de cálculo, baseado em princípios modernos no desmonte de rochas, que pode ser facilmente empregado da prática.

Este método está implementado em um programa computacional que executa todo o procedimento de cálculo rapidamente, permitindo que sejam feitas análises técnico-econômicas, ajudando a escolher a melhor alternativa a ser empregada.

Com isso se obtém, uma vez ajustado o plano de fogo escolhido, às peculiaridades geológicas locais :

- menor custo de perfuração;
- menor custo com explosivo; e
- melhor rendimento no desmonte.

2 MÉTODOS DE DESMONTE DE GALERIAS E TÚNEIS

A abertura de galerias em maciços rochosos é um dos aspectos mais importantes na mineração subterrânea. A porcentagem de rocha desmontada, no avanço de galerias de desenvolvimento, pode ultrapassar os 25% do total de rocha desmontada na mina. Por outro lado, é uma operação constituída de muitas etapas, e envolve uma série de problemas, sendo pois responsável pela maior parcela do custo total de uma mina.

O desmonte por explosivos de galerias em rocha é bem mais complicado que o desmonte a céu aberto, porque não há face livre pela qual se processe o desmonte, salvo a própria frente da galeria. Assim, devido ao alto grau de confinamento, uma razão de carregamento elevada se faz necessária.

Existe também o efeito da gravidade, influenciando a favor ou contra o desmonte, dependendo do sentido de arranque do material. Além disso, problemas de ventilação e segurança obrigam a vários outros cuidados.

No desmonte subterrâneo, o ciclo básico de avanço é composto das seguintes operações:

- perfuração;
- carga de explosivos;
- detonação;
- ventilação da frente;
- saneamento do teto e paredes;
- limpeza da frente; e
- escoramento.

Pela descrição do ciclo, observa-se maior complexidade das operações que no desmonte a céu aberto.

Para melhor situar o problema do desmonte subterrâneo, os tópicos seguintes revêem as técnicas de execução, de túneis e galerias, normalmente empregadas.

2.1 Tipos de Avanço

A escolha do tipo de avanço da seção dos túneis e galerias depende de diversos fatores:

- área da seção do túnel;
- equipamento de perfuração empregado;
- tipo de rocha;
- tempo disponível para a execução;
- tipo de suporte a se empregar; e
- sistema de ventilação.

Basicamente, há dois tipos de avanço: à frente plena ou em etapas.

À seção plena, isto é, em uma só operação, podem ser escavados túneis com seção inferior a 100 m^2 (em certos casos, até 160 m^2), em rocha competente (FIGURA 2.1). As vantagens deste método são:

- diminuição do número de ciclos necessários a um mesmo avanço, implicando maior economia do processo;
- avanços maiores do que o obtido com outros métodos, possibilitando a escavação total dos túneis no menor tempo possível; e
- o equipamento que representa um grande investimento de capital pode ser usado eficientemente.

Suas desvantagens são:

- em grandes túneis, onde uma sequência de trabalho é empregada, um fogo perdido pode trazer atraso significativo na escavação; e
- em maciço rochoso, com características geomecânicas desfavoráveis, este método deve ser usado com prudência e adaptado às condições locais.

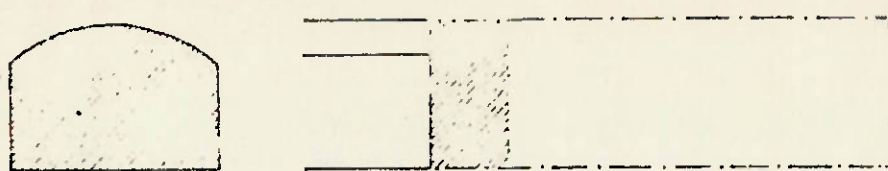


FIGURA 2.1 - Avanço à seção plena.

A escavação em etapas (FIGURA 2.2) é utilizada para a abertura de grandes túneis, quando o comprimento do túnel não compensa a aquisição de um equipamento suficientemente grande para a perfuração à seção plena, ou quando as características geomecânicas do maciço rochoso não permitem escavação à seção plena.

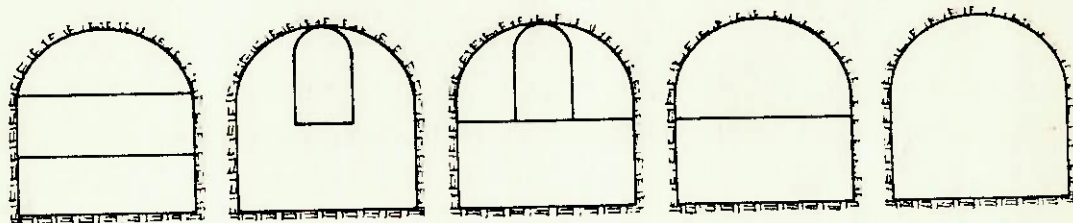


FIGURA 2.2 - Sistemas de avanço em etapas.

Com relação ao sistema de avanço em etapas, existem muitas variantes que podem ser utilizadas, tendo suas vantagens e desvantagens próprias.

O sistema mais usual, quando a área da seção exigir, consiste em dividir o túnel em duas partes, uma superior ou abóbada, e outra inferior. A abóbada é desmontada como uma galeria à seção plena e o desmonte da parte inferior, que terá avanço retardado com relação ao da abóbada, pode ser efetuado por bancada, com furação na vertical. Neste caso é necessário equipamento apropriado, de modo que o tamanho da lança não interfira com as perfurações nas laterais. A vantagem deste sistema é que a bancada pode ser perfurada e desmontada de forma contínua e simultânea com a abóbada (FIGURA 2.3).

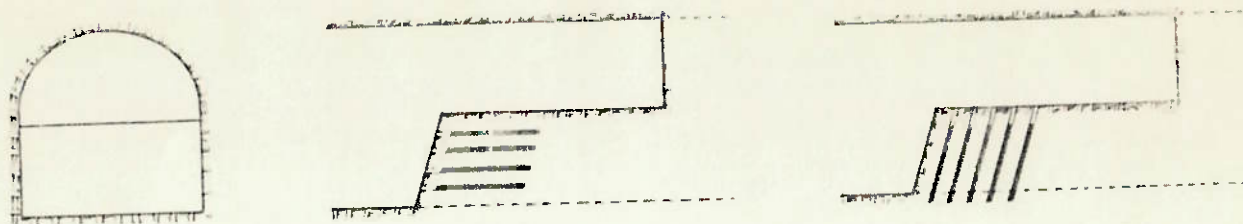


FIGURA 2.3 - Perfuração vertical ou horizontal em túnel com avanço em duas seções.

A perfuração horizontal da parte inferior permite a utilização do mesmo equipamento de perfuração usado para a abóbada, e além disso, os mesmos procedimentos de carga de explosivos e limpeza. O principal inconveniente deste sistema é a descontinuidade de execução.

Quando a rocha é pouco competente, é preciso, em geral, dividir o túnel em várias seções menores. Uma técnica bastante comum é a de abrir, na região da abóbada, uma galeria piloto com uma ou duas seções laterais de desmonte posterior (FIGURA 2.2). Esta galeria piloto, que serve principalmente para reconhecimento, segue adiantada com respeito às laterais, e até mesmo pode estar concluída antes de se iniciar o desmonte das laterais, permitindo melhor ventilação. O desmonte da abóbada é completado, em geral, antes de se iniciar o desmonte da seção inferior, embora possa ocorrer o desmonte simultâneo, ou pode ocorrer primeiro o avanço da parte inferior, sendo a abóbada desmontada posteriormente por furação realizada a partir do piso.

Um dos procedimentos de execução de túneis mais empregados ultimamente é o conhecido como "Método Austríaco" ou NATM.

Efetua-se um parcelamento da seção total a ser desmontada, dependendo de sua área, em seções menores, que são desmontadas uma a uma, dispondo-se os furos de contorno de modo que se consiga o corte definitivo com o menor dano possível à rocha remanescente. Logo após a detonação e limpeza de cada frente de avanço, procede-se a um atirantamento de segurança das superfícies recém-escavadas para controlar o relaxamento do maciço. Procura-se

desenvolver ao máximo a capacidade de auto-suporte do maciço rochoso, e para auxiliar esta tarefa, é utilizada instrumentação com medidas de convergência.

2.2 Esquemas de Desmontes

As seções das galerias podem ser de várias formas, incluindo circular, "em ferradura", quadrada e retangular (FIGURA 2.4), sendo a seção "em ferradura" um dos perfis mais comumente utilizado. Há três razões para isto : primeiro, o teto, ou parte superior forma um arco que tende a ser mais auto-suportante; segundo, o piso fornece uma área de trabalho melhor e com mais facilidade de movimentação; e terceiro, é mais fácil escavar um piso plano.

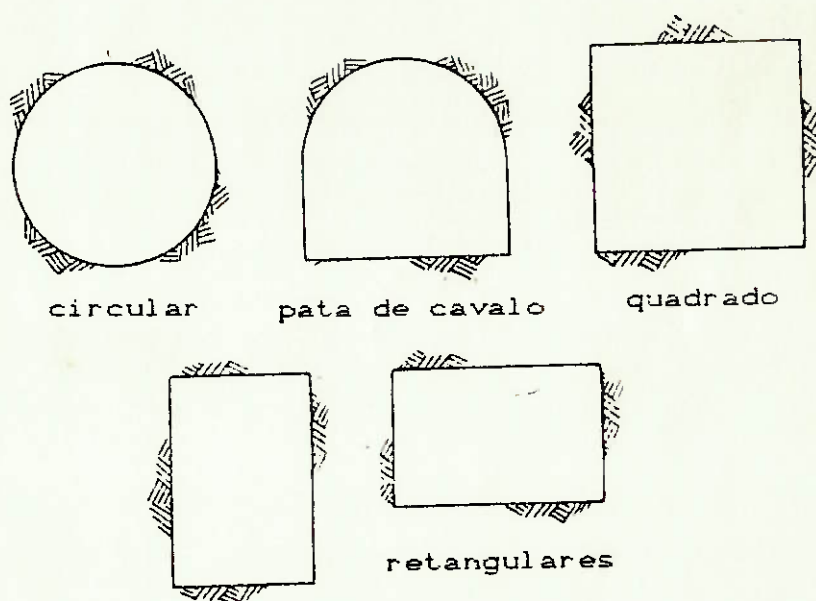


FIGURA 2.4 - Formatos de seções de túneis.

Para simplificar os cálculos de carga, disposição geométrica dos furos e da sequência de detonação, melhorando as condições do desmonte no túnel, divide-se a seção de avanço em 5 regiões específicas, cada qual recebendo um tratamento apropriado. Nota-se que esta divisão serve tanto à seção plena como à primeira parte do desmonte por etapas.

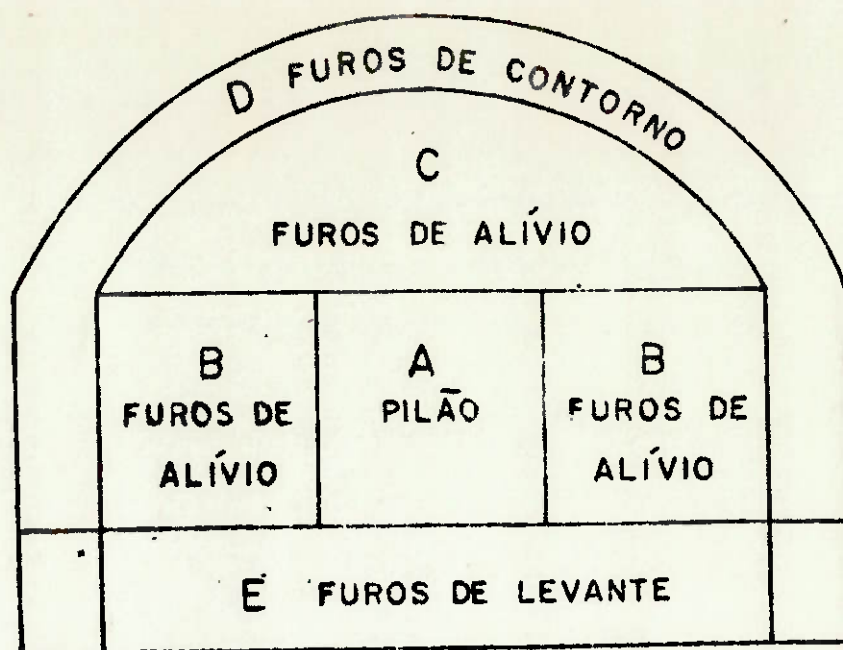


FIGURA 2.5 - Regiões da frente de desmonte.

As 5 regiões definidas na FIGURA 2.5 são:

- A - região do pilão,
- B - região de alívio,
- C - região de alívio superior,
- D - região de contorno,
- E - região de levante.

A região A, que contém o pilão, exige método de cálculo especial, por ser uma região de difícil desmonte, com o maior grau de confinamento da rocha. É, pois, a primeira região a ser arrancada, gerando a face livre por onde o restante da seção será desmontado. Geralmente, os pilões têm uma superfície de 1 a 2 m², embora com diâmetros de perfuração grande se alcance os 4 m². Nos pilões em leque, as perfurações do próprio pilão cobrem a maior parte da seção.

As regiões B, C e E seguem basicamente os cálculos de desmonte em bancada, embora requeiram consumo específico de explosivo entre 4 a 10 vezes superior, devido a erros maiores de

perfuração, menor cooperação entre cargas adjacentes, menor extensão da face livre e menor espaço para o empolamento do material. Em algumas zonas existe a ação negativa da gravidade, como ocorre nos furos de levante.

A região D pode vir a usar desmonte cuidadoso para não danificar as paredes do túnel. As regiões B, C, D e E são denominadas região de alargamento.

Os furos de contorno são os que estabelecem a forma final do túnel, dispondo-se com espaçamento reduzido e orientados divergentemente de modo a criar um perfil de "dente de serra" que permite espaço suficiente à perfuração da nova frente (FIGURA 2.6).

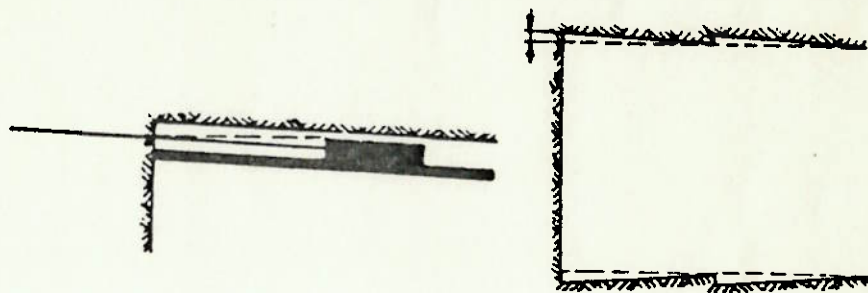


FIGURA 2.6 - Orientação dos furos de contorno para se manter o perfil do túnel.

Há três posições principais para a locação do pilão: no canto, centrado inferior e centrado superior (FIGURA 2.7). A localização correta do pilão depende de vários fatores, que devem ser bem estudados para assegurar bons resultados na operação do desmonte.

- em túneis com pequenas dimensões, sem desmonte cuidadoso, é possível locar alguns furos do pilão no próprio contorno. Nos túneis maiores, o pilão fica geralmente afastado do perímetro;

- o pilão locado na parte baixa da seção faz com que o restante do fogo se processe para baixo, aumentando a eficiência da operação;

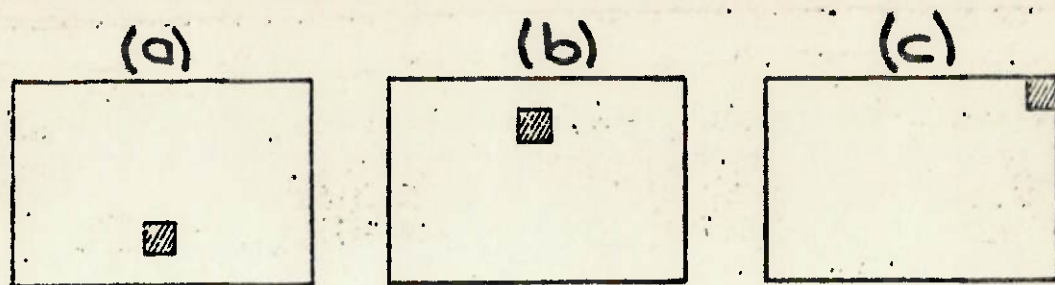


FIGURA 2.7 - Localização do pilão no plano de fogo: (a) baixa, (b) alta e (c) na lateral.

- o pilão locado na parte alta da seção aumenta a fragmentação do material, já que o material que fica acima do pilão é menos fragmentado;

- a localização do pilão controla o tamanho da pilha e dispersão do material desmontado. Pilão locado na parte baixa da seção diminui a projeção de material e aumenta o tamanho da pilha (FIGURA 2.8);

- o pilão preferencialmente é locado no centro da seção quando a iniciação é elétrica, a área da seção transversal é grande e o número de intervalos de retardo é limitado, de modo que um maior número de furos seja detonado na mesma espera;

- um pilão central facilita a arrumação do maior número de furos circunvizinhos e aumenta a eficiência do avanço; e

- a utilização de jumbos e plataformas de perfuração também pode influenciar na localização dos pilões.

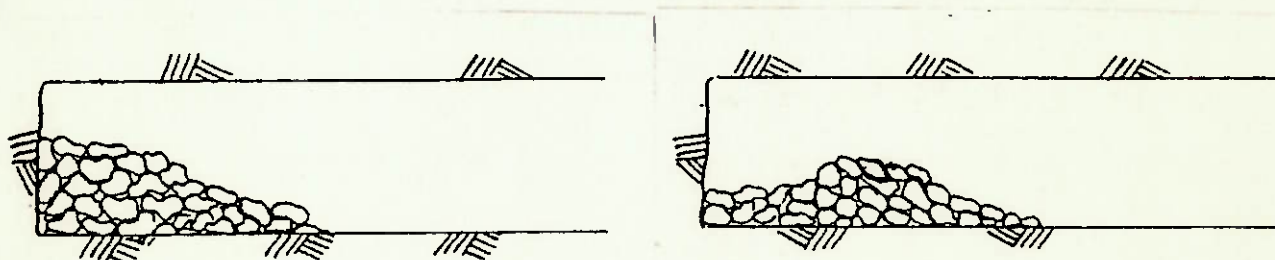


FIGURA 2.8 - Tipo de pilhas formadas no desmonte.

2.3 Tipos de Pilões

Conceitualmente, a operação mais importante, no avanço de galerias e túneis é a criação de faces livres. Daí a necessidade do desmonte do pilão. Se este estágio for deficiente, a salva não terá sucesso.

Normalmente, trabalha-se com eficiências de avanço acima de 90%, portanto deve-se escolher o tipo de pilão mais adequado em função da geometria do túnel e da natureza do maciço rochoso atravessado.

De modo geral, os pilões podem ser classificados em dois grandes grupos:

- pilões de furos paralelos; e
- pilões de furos desviados.

Nas últimas décadas, a perfuração tem atingido um alto grau de mecanização com o desenvolvimento dos jumbos hidráulicos, de um ou vários braços, automatizados e mais versáteis, auxiliados pela robótica. Com isto, deu-se preferência aos pilões de furos paralelos, muito mais fáceis de perfurar, já que não há necessidade de se trocar o ângulo das lanças, e os avanços não estão tão condicionados pela largura dos túneis, como no caso dos pilões em ângulo.

A seguir, expõem-se os distintos tipos de pilões, procurando seguir uma ordem de importância.

2.3.1 Pilões de furos paralelos

Podem ser classificados da seguinte forma :

2.3.1.1 Pilões cilíndricos

Atualmente, é o tipo de pilão que se utiliza com mais frequência na escavação de túneis e galerias, independentemente de suas dimensões. É de fácil execução, mesmo por pessoal com pouco treinamento, e adapta-se com sucesso a uma grande diversidade de materiais. Considera-se que são uma evolução ou aperfeiçoamento dos denominados pilões queimados.

Consistem numa combinação de um ou dois furos vazios, ou de expansão, de grande diâmetro (65 a 175 mm), e furos de menor diâmetro carregados com explosivos, dispostos de forma geometricamente estabelecida e detonados numa dada sequência.

Todos os furos situados dentro do pilão encontram-se muito próximos, alinhados e paralelos, um dos motivos pelo qual é muito habitual usar jumbos dotados de paralelismo automático.

A perfuração desse tipo de pilão deve ser feita com bastante precisão para garantir o paralelismo entre os furos. Se houver erros grosseiros de precisão, os furos podem prejudicar a eficiência da detonação, reduzindo o avanço de toda a secção.

Em resumo, as vantagens no emprego dos pilões cilíndricos são :

- possibilidade de maior avanço por fogo, em secções de área reduzida;
- possibilidade de maior eficiência de avanço;
- grande simplicidade do esquema de perfuração e facilidade de usá-los para vários avanços e diversos tipos de maciços rochosos;
- maior fragmentação da rocha, facilitando a remoção do material detonado;

- facilidade de mecanizar a furação, devido ao paralelismo dos furos.

Adiante estão apresentados alguns tipos de pilões cilíndricos, com seus respectivos desenhos. Pilões, de três seções, de quatro seções, em dupla espiral e Täby serão tratados em itens específicos.

2.3.1.1.1 Pilão em espiral

A medida que se processa a sequência de detonação, a dimensão do encargo vai aumentando de modo que as cargas explosivas ficam dispostas como numa espiral (FIGURA 2.9).

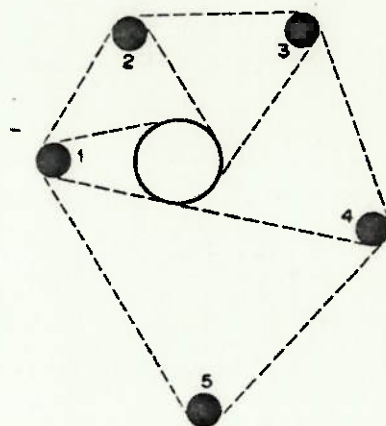


FIGURA 2.9 - Pilão cilíndrico em espiral.

2.3.1.1.2 Pilão Coromant

Consiste na perfuração de dois furos secantes entre si de igual diâmetro, forma de "8", formando o vão livre das primeiras cargas. Para este tipo de pilão utiliza-se um gabarito de perfuração (ver FIGURA 2.10).

A fenda em "8" tem um efeito mais favorável sobre a detonação do que um furo de área equivalente. Este pilão permite avanço de até 4 m, sendo que em avanços inferiores a 2,7 m basta abrir furos centrais com diâmetro de 50 mm.

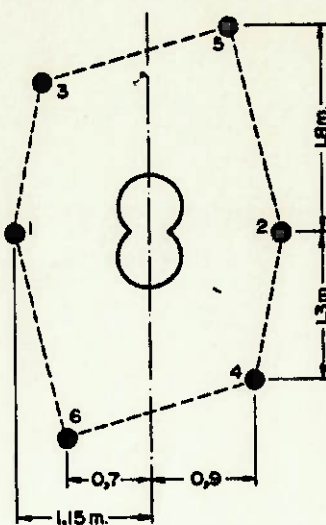


FIGURA 2.10 - Pilão Coromant.

2.3.1.1.3 Pilão Fagersta

Perfura-se um furo central, geralmente entre 64 a 76 mm de diâmetro, e o restante das perfurações menores carregadas são posicionadas segundo a FIGURA 2.11.

É um tipo de pilão misto entre o de quatro seções e o de dupla espiral, sendo adequado para as pequenas galerias com perfuração manual.

O furo descarregado, com diâmetro de 64 ou 73 mm, é normalmente executado em duas etapas: inicia-se com perfuração comum, sendo alargado após uma certa profundidade.

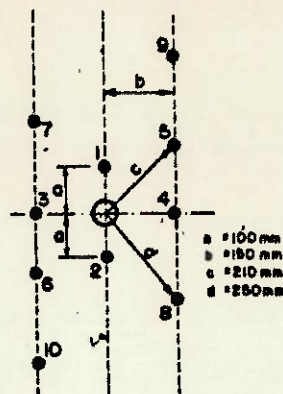


FIGURA 2.11 - Pilão Fagersta.

2.3.1.2 Pilões queimados

Nestes pilões, todos os furos são executados com o mesmo diâmetro. Alguns são carregados com grande quantidade de explosivo, enquanto outros são deixados vazios (FIGURA 2.12). Devido às altas concentrações de carga de explosivo, a rocha fragmentada sinteriza-se, na parte mais profunda do pilão, diminuindo a expulsão de material. Os avanços são mais limitados e geralmente não ultrapassam os 2,5 m por salva.



FIGURA 2.12 - Exemplos de pilões queimados.

Um dos pilões queimados utilizado em alguns países, no avanço de galerias em minas de carvão, é o denominado "Pilão Sarrois", que é formado por 8 furos com carga e um vazio. Fazendo-se a perfuração com um pequeno diâmetro, as distâncias entre os furos variam de 10 cm em rocha dura até 20 cm em rocha branda.

Emprega-se, geralmente, para profundidades de 2.5 m, sendo o consumo de explosivos elevado. As cargas se posicionam como na FIGURA 2.13, com tempos de retardo indicados pela sequência numérica.

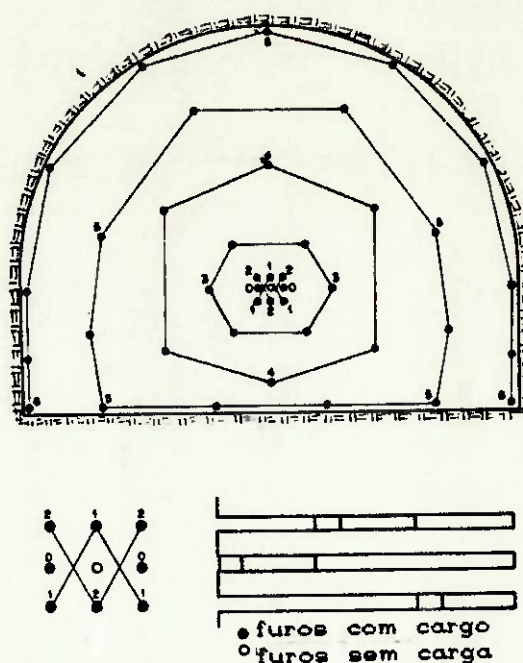


FIGURA 2.13 - Plano de fogo com pilão Sarrois.

A projeção de material alcança de 5 a 6 m a partir da nova frente e a eficiência do avanço oscila entre 80 a 95%.

Outro pilão utilizado em minas de carvão é o chamado "Sueco", cuja disposição de furos, em função do tipo de rocha, encontra-se na FIGURA 2.14.

Para um diâmetro de 38 mm, a distância entre as fileiras verticais de furos é de 20 cm, enquanto que os furos estão separados entre si de 30 cm. A distância vertical entre os furos carregados e os vazios é de 10 a 5 cm, dependendo da resistência da rocha.

A projeção do material desmontado é maior que com o pilão

Sarrois, embora o consumo de explosivo seja menor e exija maior precisão de perfuração. Os avanços oscilam entre 90 e 100% da profundidade perfurada.

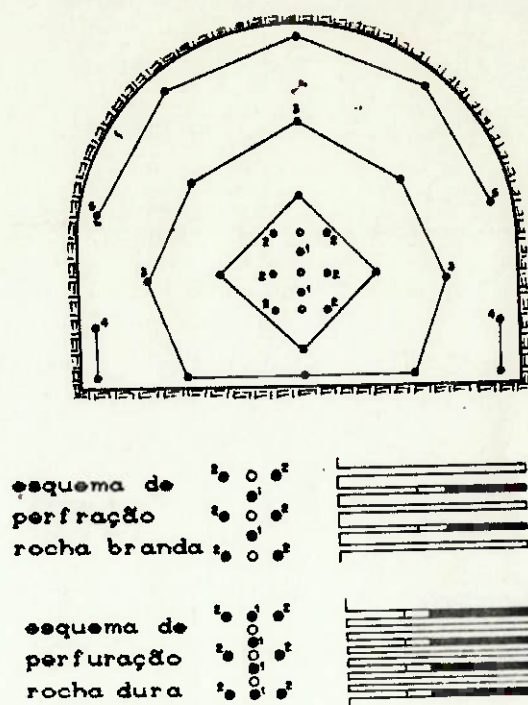


FIGURA 2.14 - Pilão Sueco.

2.3.1.3 Pilões "em cratera"

Este tipo de pilão foi desenvolvido originalmente por Hino, no Japão, utilizando o "efeito cratera" que uma carga de explosivo concentrada no fundo de um furo produz sobre sua face livre.

Esta metodologia se aplica mais em escavações de poços que de túneis, embora alguns especialistas proponham sua utilização dispondo-se as cargas concentradas em um ou vários furos centrais de grande diâmetro, e distribuindo os outros furos sobre o restante da seção, com diferentes comprimentos de cargas.

Como o avanço por salva não é grande, propõe-se o aumento da

profundidade das furações, seccionando e tamponando as cargas explosivas, como na FIGURA 2.15.

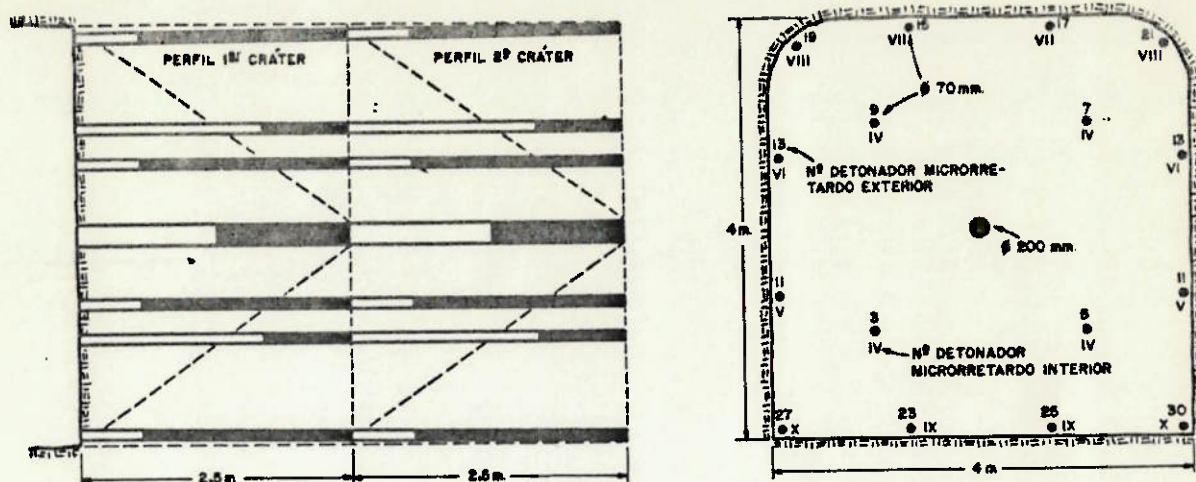


FIGURA 2.15 - Pilão cráter duplo usando furo central de 200 mm.

2.3.2 Pilões em ângulo

Este grupo de pilões é cada dia menos utilizado, devido a sua menor facilidade de execução e à maior possibilidade de erro, exigindo mão-de-obra treinada e um tempo de "aprendizado" na frente de desmonte de até vários meses. Em contrapartida, ele oferece um menor consumo de explosivo pela menor resistência ao arrancamento de material, em relação à face livre.

2.3.2.1 Pilão em "V"

Com estes pilões em cunha ou em "V", o avanço que se consegue oscila entre 40 e 50% da largura do túnel. Em túneis largos, estes avanços são afetados pelo desvio das perfurações, que geralmente são da ordem de 5%. Assim, por exemplo, para um comprimento de furo de 5 m, sua extremidade pode terminar desviando-se uns 25 cm, e

ser suficiente para causar a detonação por simpatia de outras cargas próximas.

O ângulo interno do vértice interno da cunha não deve ser inferior a 60° , para evitar cargas muito confinadas, o que exigirá maior quantidade de explosivo para se obter a fragmentação e expulsão do material.

Na FIGURA 2.16 tem-se a representação de um plano de fogo com pilão em "V", levando-se em conta que o cálculo das zonas circundantes ao pilão é o mesmo que para os pilões de furos paralelos.

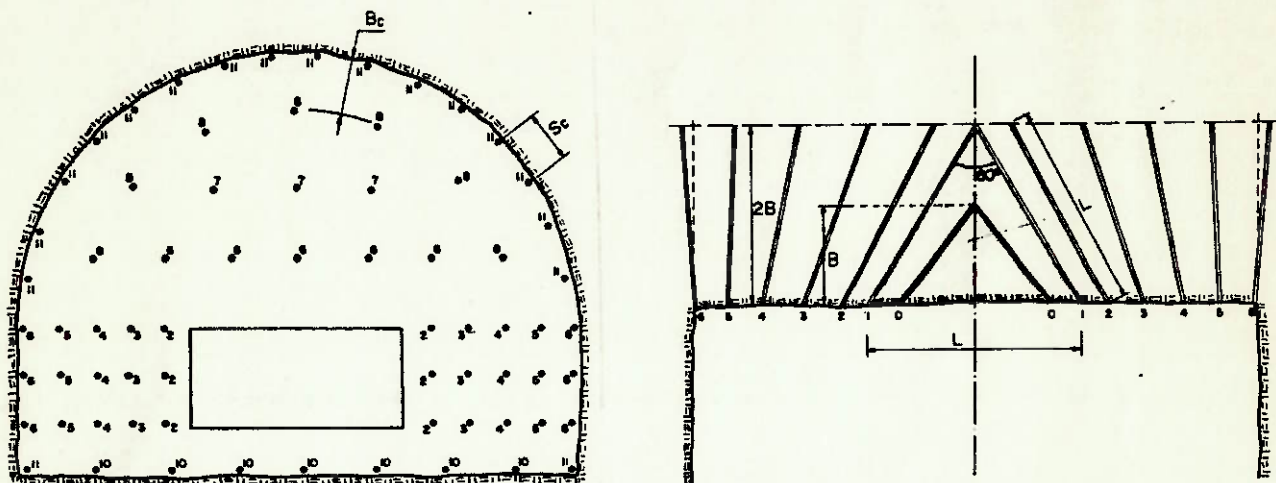


FIGURA 2.16 - Desmonte com pilão em cunha.

2.3.2.2 Pilão em leque

Conhecendo-se o encargo relativo à concentração de carga de explosivo e a largura da galeria, a construção do plano de fogo deste tipo de pilão se reduz a um problema puramente geométrico.

Seus problemas são praticamente os mesmos que os do pilão em "V", sem a necessidade de parear furos simétricos.

Os leques podem ser horizontais, como no tipo de pilão em "V", ou colocados voltados tanto para cima como para baixo (FIGURA 2.17).

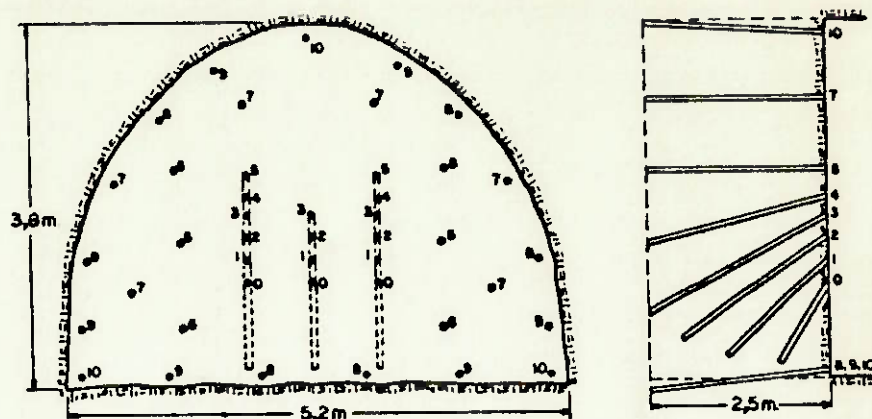


FIGURA 2.17 - Desmonte com pilão em leque para o piso.

2.3.2.3 Pilões instantâneos

É uma variação do pilão em "V", que consiste em perfurar os furos iniciais convergentes e detoná-los simultaneamente. Pode-se alcançar avanços da ordem de 80% da largura do túnel.

Este pilão promove dispersão maior do material arrancado, o que pode, em determinados casos, se constituir num inconveniente.

Entre as variações que existem, cabe destacar o pilão piramidal com uma ou duas seções (FIGURA 2.18).

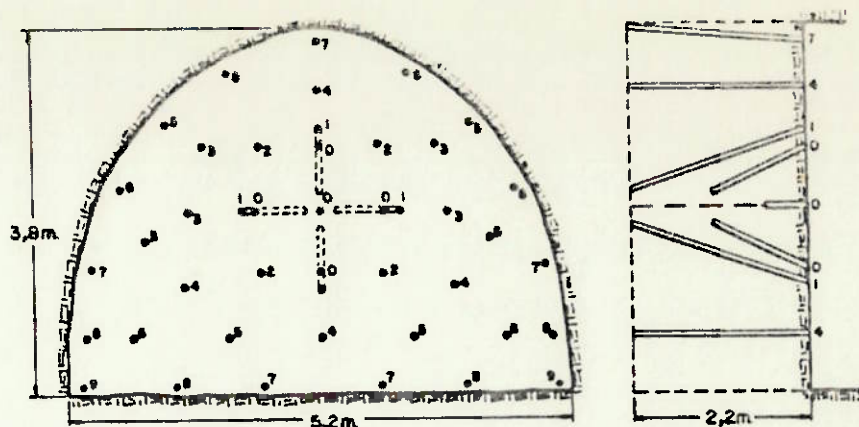


FIGURA 2.18 - Desmonte com pilão instantâneo piramidal.

2.3.3 Outros pilões

São pilões empregados em situações especiais onde os convencionais não demonstram bons resultados.

2.3.3.1 Pilão em galerias com capa de carvão

Os planos de desmontes para avanço de galerias em camadas de carvão podem ser muito variados, dependendo das secções de escavação, potências das camadas, inclinação, disposição da frente etc., portanto serão apontadas apenas considerações gerais.

A perfuração deve estar contida em planos paralelos à direção da estratificação, como indica a FIGURA 2.19. O plano de fogo é orientado para o pilão formado na capa de carvão. Estes pilões podem ser realizados disparando alguns furos sobre o próprio carvão com um valor de retardos pequeno. Este procedimento tem o inconveniente de misturar o carvão com estéril, prejudicando seu aproveitamento, mas é o desmonte que permite um dos maiores rendimentos de avanço (FIGURA 2.19).

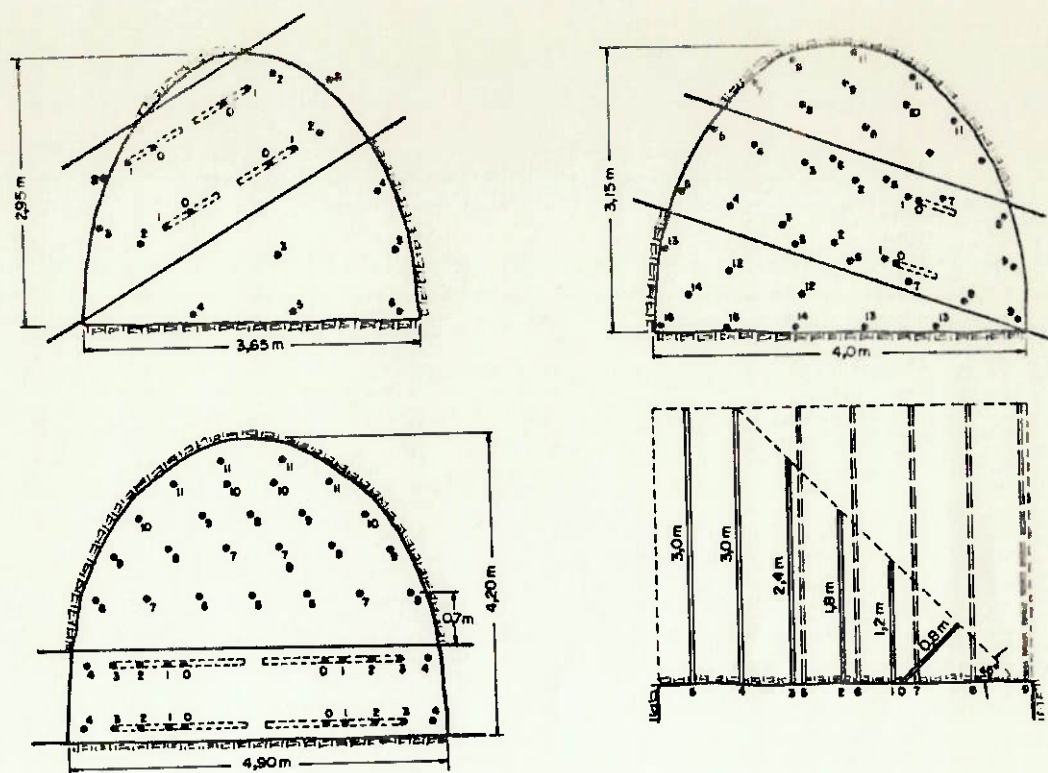


FIGURA 2.19 - Desmonte em galeria com camada de carvão.

2.3.3.2 Pilão em galerias de minas de sal

Nos jazimentos sedimentares de minerais brandos, como os sais etc., a escavação das galerias de preparação pode ser realizada com minerador contínuo, mais eficiente que com perfuração e desmonte.

A perfuração é realizada geralmente com jumbos capazes de abrir diâmetros de até 420 mm e 7 m de profundidade (FIGURA 2.20). O restante das perfurações de menor diâmetro, geralmente, é realizada paralelamente ao eixo do túnel e com a mesma profundidade que se aconselha para o pilão e o carregamento de explosivo mecanizado.

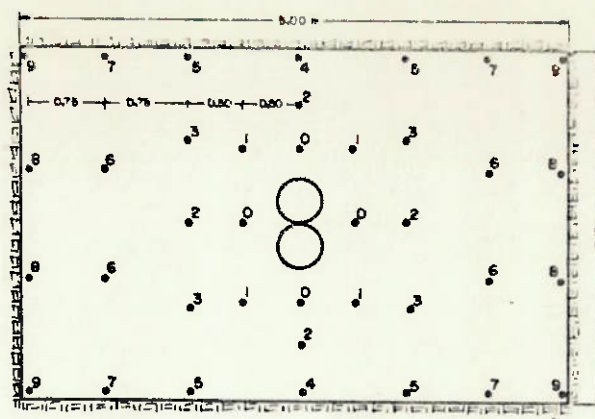


FIGURA 2.20 - Esquema de perfuração com pilão cilíndrico constituído por dois furos de grande diâmetro.

2.4 TBM

Atualmente têm sido empregadas cada vez mais, em países mais desenvolvidos, as TBM ("Tunnel Boring Machine").

São grandes máquinas que conseguem escavar a seção de um túnel em rocha sem o uso de explosivo. Em sua parte frontal, há um escudo contendo vários elementos móveis, que vão "triturando" a rocha pelo efeito combinado de sua rotação sobre o escudo e da pressão que a própria máquina exerce sobre a frente enquanto avança. Assim, estas máquinas funcionam como uma "broca gigante" que escava toda a seção ao mesmo tempo.

São máquinas muito caras, e ainda não utilizadas com frequência no Brasil.

2.5 Considerações Sobre o Desmonte

Neste item são feitas considerações, de certa forma inter-relacionadas, sobre o desmonte com explosivo e o desmonte subterrâneo com explosivo, visando ampliar o contexto em que foi

realizado o equacionamento desenvolvido nos Capítulos 3 e 4 .

- Parâmetros do plano de fogo

Para se obter melhor resultado no desmonte de um pilão, é preciso controlar corretamente os seguintes fatores do esquema de fogo:

- razão de carga;
- afastamento máximo dos furos;
- espaçamento máximo dos furos;
- espaçamento mínimo;
- desvio dos furos;
- sequência de detonação.

- Razão linear de carga do explosivo (1)

A razão linear de carga é dada em kg de explosivo por metro de furo de mina. Não deve ser excessiva, quando se detonam os primeiros furos do pilão cilíndrico. Explosivo em demasia tende a sinterizar a rocha na abertura, de forma que a rocha plastificada deformada permanece no pilão, interrompendo a continuidade da detonação. Em pequenas áreas de furos vazios, esse fato pode ocorrer para razões de carga compreendidas entre 300 e 400 g por metro de furo. Na prática se utiliza uma razão mínima de 250 a 300 g/m de furo; para concentrações menores corre-se o risco de que não detone toda a coluna de explosivo do furo.

Princípios básicos para correção de afastamento e carga são:

- rocha muito quebradiça: aumentar o afastamento e a carga.
- rocha muito plástica: diminuir o afastamento e a carga.
- explosão muito fraca: aumentar a carga.
- explosão muito forte: diminuir a carga.

- Afastamento máximo dos furos

Um afastamento demasiado dos furos aumenta o confinamento do material a ser desmontado, causando a deformação plástica da rocha e a conseqüente interrupção do desmonte.

- Espaçamento máximo dos furos

Para que os resultados da detonação sejam satisfatórios, é preciso que a rocha possa se expandir pelo menos 60% na abertura do pilão. Melhores resultados serão obtidos se a expansão puder atingir 80 a 100%. A maior distância conveniente para esse fim pode ser calculada para cada furo. Os furos são localizados considerando a menor das distâncias máximas calculadas, em função da expansão.

- Espaçamento mínimo dos furos

Um espaçamento muito pequeno pode ocasionar detonação do explosivo por indução, ou pode ocorrer também a dessensibilização do explosivo por pré-compressão dinâmica.

- Desvio de perfuração (f)

O desvio de perfuração é a soma do erro de emboque, que consiste em iniciar a perfuração fora do ponto exato, e do desvio de perfuração, que consiste em perfurar desviadamente em relação ao eixo de avanço.

O desvio de perfuração aleatoriamente afasta ou aproxima os furos de mina, modificando os afastamentos e espaçamentos do plano de fogo e produzindo os problemas relativos a estas mudanças.

Normalmente, a superfície resultante de uma salva, na área do pilão é muito irregular. Isto prejudica o correto emboque dos

furos do novo pilão, podendo ocasionar desvios de furação e consequente falha da salva. Recomenda-se, assim, o uso de planos de fogo com pilões em posições diferentes, usados alternadamente. Com isto os pilões são perfurados em uma superfície mais regular, minimizando os problemas acima mencionados.

- Sequência de detonação

O tempo entre as detonações dos furos (esperas) deve ser cuidadosamente planejado para evitar interrupção na detonação. A interrupção pode ocorrer por entupimento, principalmente na região do pilão. Neste caso, o espaçamento mínimo de furos deve ser observado e aumentada a distribuição do número de esperas. Outra recomendação de ordem prática é fazer uma sobre-furação do furo central, suficiente para que um cartucho de explosivo colocado no fundo do furo central fique alojado além das perfurações dos furos de mina. Este cartucho deverá ser detonado após a última espera dos furos do pilão, para promover a expulsão de todo o material que porventura tenha ficado acumulado.

A interrupção da detonação pode ocorrer também por encargo excessivo de material que algum furo da seção deverá arrancar. Neste caso, se não for conveniente modificar a razão de carregamento, um planejamento mais cuidadoso das esperas pode diminuir geometricamente os encargos relativos dos furos, sanando o problema.

- Problemas com explosivos nos pilões

As dimensões dos encargos no pilão são pequenas, podendo gerar três tipos de problema:

- transmissão da detonação do explosivo por indução, que consiste na detonação de um furo adjacente ao que está detonando. Isto ocorre quando o explosivo tem um alto grau de sensibilidade, como são todos os que têm em sua composição nitroglicerina. Para evitar este problema, é aconselhável escolher explosivos

suficientemente insensíveis;

- efeito de canal, quando uma camada de ar está presente entre o cartucho de explosivo e a parede do furo (devido às diferenças de diâmetro entre o cartucho e o furo de mina). A expansão dos gases de detonação pode empurrar o ar contido naquele espaço como uma camada comprimida com alta temperatura e alta pressão. Este choque determina uma compressão do explosivo contra a frente de detonação que pode destruir a reação, ou aumentar excessivamente a densidade do explosivo. Para se evitar o efeito de canal, o explosivo deve possuir uma velocidade de detonação suficientemente elevada, superior a 3.000 m/s; e

- dessensibilização do explosivo por pré-compressão dinâmica, que ocorre em muitos explosivos e particularmente no ANFO, pois a onda de choque de uma carga detonando pode elevar a densidade da carga adjacente acima da densidade crítica ou de morte. Os problemas de dessensibilização podem-se atenuar pelo correto desenho das seqüências de disparo, fazendo com que a detonação sucessiva de cada furo se realize com um atraso suficiente para que a onda de choque do disparo anterior passe e que o explosivo recupere sua densidade e grau de sensibilidade normais.

Outra medida para diminuir os problemas mencionados é a realização dos pilões cilíndricos, dispondo-se dois, três ou mais furos vazios de expansão de forma que atuem como separadores entre as cargas (FIGURA 2.21).



FIGURA 2.21 - Pilão cilíndrico modificado para diminuir a detonação por simpatia e dessensibilização dinâmica.

- Comparação de explosivos

Para que se possa escolher um explosivo, é necessário que exista uma forma de compará-los. Há vários métodos de caracterização com relação a sua força ou potência. Alguns exemplos de comparação de valores são obtidos em: cálculo de energia de explosão; teste do morteiro balístico; teste com bloco de chumbo; teste de brisancia; "weight strenght" ou força-peso; teste subaquático.

Entretanto, a maioria destes métodos deve ser usada cuidadosamente, quando objetivam a classificação do explosivo por sua capacidade de quebra do material rochoso. Dependendo do tipo de operação de desmonte em bancada, a força do explosivo deve ser estimada a partir de premissas distintas:

A melhor forma de classificar explosivos, obviamente seria medir a capacidade de quebra da rocha em diferentes materiais rochosos com diferentes operações de desmonte sob diferentes condições de carga. Deste modo, uma avaliação é, entretanto, proibitiva, devido aos custos e tempos envolvidos. Ao invés disso, usualmente se fica restrito à utilização de um dos métodos anteriormente descritos para a comparação da força de explosivos.

Assim, a base de correlação adotada será a força-peso, dada pela expressão:

$$S = \frac{5 * Q}{6 * Q_0} + \frac{1 * V}{6 * V_0} \quad [2.11]$$

onde (S) é a força-peso relativa a um explosivo padrão (dinamite LFB); (Q_0) é o calor de explosão para 1 kg de LFB; (V_0) é o volume de gás gerado a partir de 1 kg de LFB nas condições normais de temperatura e pressão; (Q) é o calor de explosão para 1 kg do explosivo considerado; (Q_0) é 5,0 MJ, e o (V_0) é 0,85 m³.

A fórmula baseia-se no fato de que o trabalho de arrancamento

da rocha depende primariamente do calor de explosão e secundariamente dos produtos gasosos gerados na reação. As constantes $5/6$ e $1/6$ na fórmula foram determinadas em experimentos de campo onde explosivos de baixo e alto volume de gás foram utilizados e comparados com a dinamite LFB nas condições de desmonte de bancada.

É mais usual expressar a força-peso em relação ao explosivo ANFO (nitrato de amônio/óleo combustível). Quando isto ocorre, deve-se inicialmente calcular a força-peso relativa à LFB e depois dividir o valor obtido pela força-peso do ANFO relativa à LFB (0,84). A tabela 1 relaciona diversos explosivos, para facilidade de cálculo.

Tabela 2.1 - Força-peso para alguns explosivos.

EXPLOSIVO (TIPO)	Q ₁ MJ/Kg	V ₁ m ³ /Kg	SLFB	SDYB	SANFO	DENSIDADE Kg/m ³
din. LFB	5,00	0,850	1,00	1,09	1,19	-----
Dynamitex B	4,60	0,765	0,92	1,00	1,10	1.450
ANFO	3,92	0,973	0,84	0,91	1,00	900
TNT	4,10	0,690	0,82	0,89	0,98	1.500
PETN	6,12	0,780	1,17	1,27	1,39	-----
NABIT	4,10	0,892	0,86	0,93	1,02	1.000
GURIT	3,73	0,425	0,71	0,77	0,85	1.000

Geralmente, o conceito de "weight strenght" ou força-peso descreve a magnitude do trabalho de expansão ("arrancamento") que o agente explosivo pode realizar em uma operação de desmonte melhor do que aquele da energia liberada.

Deve-se ter presente, entretanto, que é impossível utilizar-se a energia total para a quebra da rocha. A energia de explosão é a energia química liberada. Para utilizar toda esta energia como trabalho de expansão, os produtos gasosos devem ter a

possibilidade de expandir-se sob pressões muito baixas. A quebra da rocha e a fragmentação primária estão quase completas quando os produtos da detonação se expandirem a um volume de cerca de dez vezes o volume inicial do furo de mina. A pressão dos gases produzidos a esta expansão varia entre 10 a 100 MPa. Dependendo dos componentes do explosivo, especialmente dos sólidos, a eficiência pode variar consideravelmente.

Quando se utilizam dois explosivos diferentes, como no caso de explosivo principal mais escorva, a foça-peso é calculada ponderando-se as forças-peso de cada explosivo pela sua porcentagem em massa da massa total.

Ainda com relação à escolha do tipo de explosivo a ser empregado, deve-se levar em conta o fator ambiental, por ser necessário evitar altas concentrações de fumos tóxicos. Dependendo das condições da galeria, o explosivo usado, principalmente nos furos de levante, deve resistir à umidade.

- Constante da rocha (c)

O fator (c) é uma medida empírica da quantidade de explosivo padrão necessária para arrancar um metro cúbico de rocha. Os experimentos de campo pelos quais o valor de (c) foram determinados inicialmente tiveram lugar em detonações de bancada, embora a constante da rocha determinada desta forma forneça também uma boa aproximação para as propriedades da rocha na escavação de túneis. Em detonações de teste foi verificado que (c) varia muito pouco.

Detonações em granito cristalino quebradiço forneceram um valor de (c) igual a 0,2. Em praticamente todos os outros materiais rochosos, desde o arenito ao mais homogêneo granito, um valor de c de 0,3 a 0,4 kg/m³ foi encontrado.

- Fator de fixação (f)

É um fator que leva em conta a gravidade, o tempo de retardo entre as cargas e o efeito dos múltiplos furos de mina. Assim, diferentes fatores de fixação (f) são usados para cálculo de afastamentos em diferentes situações.

- Influência geológica no desmonte

A presença de juntas pode agravar em muito o fenômeno de "roubo de furos", que consiste no corte do explosivo de dado furo pelo efeito de detonação de outro furo em espera anterior, como indicado na FIGURA 2.22. Se a iniciação começar por baixo, o furo 1 tem grande probabilidade de roubar o furo 2.

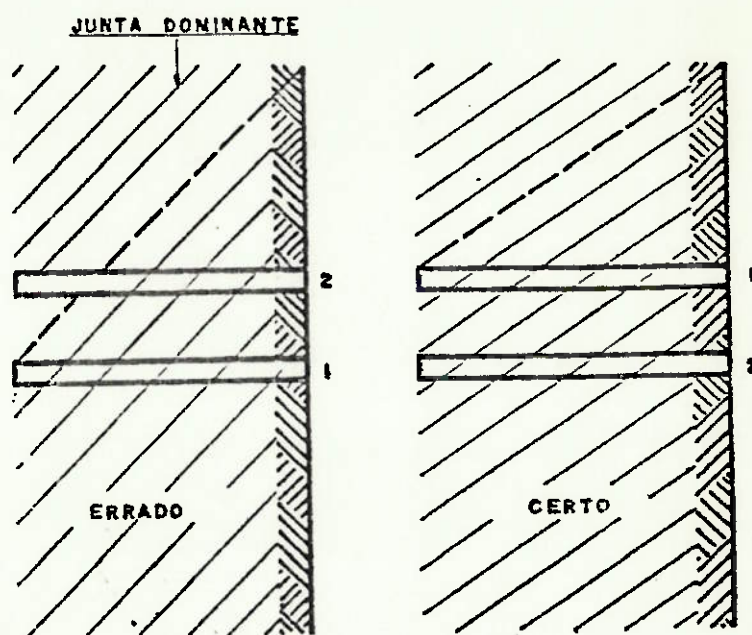


FIGURA 2.22 - Correta alocação de esperas em relação às juntas dominantes.

Se na seção da galeria a junta dominante ocorrer como mostrado na figura 2.23, obtém-se melhor desempenho no avanço se a posição do pilão for mudada, e os furos, colocados paralelamente,

detonados na mesma espera.

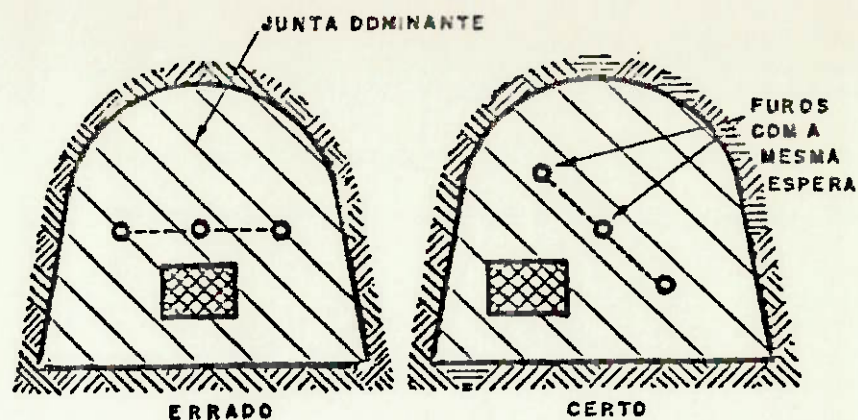


FIGURA 2.23 - Melhor alocação do pilar em relação às juntas dominantes.

Dependendo do tipo de rocha e da profundidade da escavação pode ocorrer fechamento significativo do furo de mina em muito pouco tempo, aprisionando as ferramentas de perfuração ou comprimindo o explosivo, de tal maneira que ele ultrapasse a sua densidade crítica, impossibilitando a detonação.

No Capítulo 4 serão discutidas sucintamente a influência geral da geologia do maciço rochoso sobre o desmonte subterrâneo e a proposta de correção do plano de fogo.

3 CÁLCULO DE PILÕES

A metodologia apresentada neste capítulo é complementada no capítulo seguinte corresponde a teoria geral sueca de desmonte subterrâneo, revista por HOLMBERG em 1982, otimizada no presente trabalho e ampliada com a utilização de quatro pilões cilíndricos e fatores de rendimentos de transferência da energia do explosivo.

A dificuldade prática para o desmonte em túneis, principalmente do pilão, fez surgir hipóteses teóricas e modelos matemáticos que descrevem o desmonte.

- O caso mais difícil de desmonte é contra um furo vazio. A formulação básica para a melhor concentração linear de carregamento (l_{fv}) é:

$$l_{fv} = 0,55 * (V - \phi/2) * (\text{sen } v)^{3/2} \quad (\text{kg/m}) \quad [3.1]$$

onde os seus elementos estão representados na FIGURA 3.1.

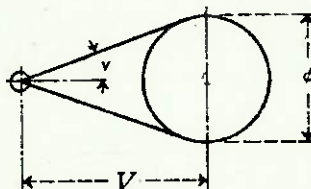


FIGURA 3.1 - Desmonte contra furo vazio.

Sendo

$$\text{sen } v = \frac{\phi}{\sqrt{4V^2 + \phi^2}}$$

tem-se:

$$l_{fv} = 0,55 * (V - \phi/2) * \left[\frac{(4V + \phi^2)^{0,5}}{\phi} \right]^{1,5}$$

$$l_{fv} \approx 0,55 * (V - \phi/2) * (2V/\phi)^{1,5}$$

$$l_{fv} = 1,5 * (V - \phi/2) * (V/\phi)^{1,5} \quad (\text{kg/m}) \quad [3.2]$$

sabendo-se que esta fórmula é válida somente para furos de 0,033 m, ela pode ser generalizada por:

$$l = \frac{d}{d_1} * l_1 \quad [3.3]$$

onde (d_1) vale 0,033 m e (l_1) é a concentração linear de carga para este diâmetro. Considerando-se também o tipo de explosivo e o material rochoso encontra-se:

$$l_{fv} = 55 * d * (V/\phi)^{1,5} * (V - \phi/2) * (c/0,4) / S_{\text{anfo}} \quad (\text{kg/m}) \quad [3.4]$$

onde d = Diâmetro do furo de mina,
 V = Afastamento (Encargo) máximo entre os furos,
 ϕ = Diâmetro do furo vazio,
 c = Constante característica da rocha,
 S_{anfo} = Relação do explosivo utilizado com o ANFO.

Para a determinação do encargo (V) nesta condição de desmonte, é usada a seguinte expressão :

$$\left. \begin{array}{ll} V = 1,7 * \phi - F & \text{se } F < 2\% H \\ V = 1,5 * \phi & \text{se } F < 1\% H \end{array} \right\} \quad (\text{m}) \quad [3.5]$$

com o desvio de perfuração (F) dado por:

$$F = \alpha * H + \beta \quad (\text{m}) \quad [3.6]$$

onde α = desvio angular (geralmente dado em mm/m),
 β = erro de emboque (geralmente dado em mm).

Ver FIGURA 3.2.

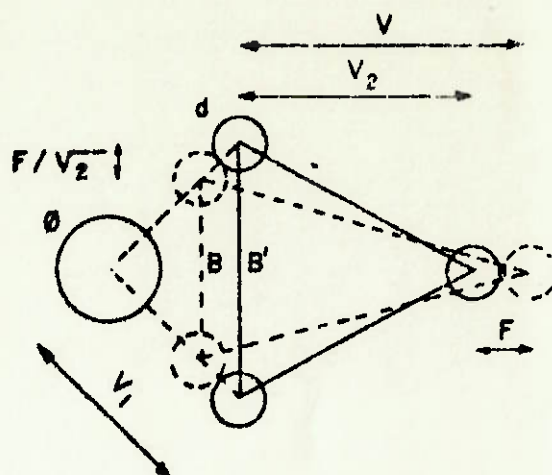


FIGURA 3.2 - Efeito do desvio de perfuração.

Nota: Caso seja o furo vazio substituído por dois furos secantes entre si de menor diâmetro ($d\phi$), o diâmetro equivalente deste conjunto será:

$$\phi = \sqrt{2} * d\phi \quad [3.7]$$

- No caso do furo detonar contra uma face limitada temos a relação básica para a concentração linear de carga (l_{fl}):

$$l_{fl} = 0,35 * V / (\text{sen } v)^{1,5} \quad (m) \quad [3.8]$$

onde seus elementos estão representados na FIGURA 3.3.

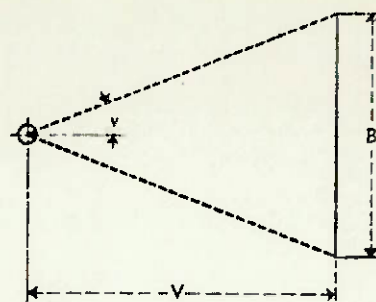


FIGURA 3.3 - Desmonte contra uma face limitada.

Sendo

$$v = \arctg (B/2V)$$

tem-se:

$$l_{fl} = \frac{0,35 * V}{[\text{sen} (\arctg (B/2V))]^{1,5}} \quad (\text{kg/m}) \quad [3.9]$$

e usando-se as mesmas considerações para se passar de [3.2] para [3.4]:

$$l_{fl} = \frac{32,2 * d * c * V}{S_{anfo} * [\text{sen} (\arctg (B/2V))]^{1,5}} \quad (\text{kg/m}) \quad [3.10]$$

onde seus elementos são os mesmos de [3.4].

Se partirmos da acepção de que a concentração linear de carga para explosivo em uso e a abertura retangular de largura (B) forem conhecidos, então o encargo (V) pode ser expresso explicitamente com boa precisão como uma função de (B) e da concentração linear de carga (l):

$$V = 8,8 * 10^{-2} * \sqrt{\frac{B * l * S_{anfo}}{c * d}} \quad (\text{m}) \quad [3.11]$$

O efeito dos desvios de perfuração (F) deve ser incluído tanto na determinação da abertura efetiva (B_{ef.}) quanto na determinação do encargo efetivo (V_{ef.}):

$$V_{ef.} = V - F \quad [3.12]$$

$$B_{ef.} = B - F' \quad [3.13]$$

Existem restrições para o cálculo do encargo (V). Deve-se satisfazer:

$$V \leq 2 * B \quad [3.14]$$

para que não ocorra deformação plástica. Se isto não puder ocorrer entre as equações [3.10] e [3.14], a concentração de cargas máxima (l_{máx}) deve-se reduzir a:

$$l_{máx} = \frac{32,2 * d * c * V}{S_{anfo} * [\text{sen}(\arctg(1/4))]^{1,5}} \quad (\text{kg/m})$$

ou :

$$l_{máx} = 540 * d * c * B / S_{anfo} \quad [3.15]$$

Se esta restrição não puder ser cumprida, é melhor escolhe-se explosivo ou potência-peso menor.

Também deve ocorrer:

$$V > 0,5 * B \quad [3.16]$$

sem o qual haverá perda do rendimento do processo.

É importante notar que na prática, há limitado número de diâmetros de cartuchos de explosivos, implicando em concentrações de carga também limitadas. Assim, deve-se calcular as várias

concentrações de carga possíveis (l_{expl}):

$$l_{expl} = \frac{\pi}{4} * \rho * d_c^2 \quad (kg/m) \quad [3.17]$$

onde ρ = Densidade do explosivo (kg/m^3),
 d_c = Diâmetro do cartucho (m).

Feito isto, escolhe-se um cartucho que fornece encargo maior que o encargo teórico (usando-se [3.9], [3.10] e [3.11]) mas cujo encargo obedeça as condições [3.14] e [3.16]. Usa-se então a concentração de carga e o encargo do cartucho escolhido como os valores efetivos.

Caso seja economicamente conveniente utilizar apenas um tipo de cartucho de explosivo para toda a seção, o que é bastante comum de se fazer, a regra é escolher o cartucho para o primeiro passo do pilão e com a razão linear de carga que ele fornece, calcular os afastamentos subsequentes, observando-se as condições [3.14] e [3.16], principalmente. Caso esta não possa ser satisfeita, troca-se (d), (ϕ) ou o próprio tipo de explosivo, até ser obtido esquema de desmonte satisfatório.

* Para todos os furos de mina do pilão, bem como para todos os outros do alargamento, é geralmente deixado um comprimento descarregado (tampão) no emboque. Seu comprimento (T) é:

$$T = 10 * d \quad (m) \quad [3.18]$$

3.1 Pilão de Três Seções

Este é um tipo de pilão cilíndrico que tem sido amplamente usado, principalmente com equipamento manual leve. Exige menos furações que o pilão Taby e o de Quatro Seções, comentados mais adiante.

O esquema geral do pilão de três seções pode ser visto na

FIGURA 3.4. Sua sequência de detonação está representada na FIGURA 3.5.

Sua sequência de cálculo é descrita adiante.

a) - Cálculo da profundidade de perfuração (H) e do avanço (I) em função do diâmetro do furo central:

$$H = 0,24 + 31,1 * \phi - 33,8 * \phi^2 \quad (m) \quad [3.19]$$

$$I = 0,95 * H \quad (m) \quad [3.20]$$

b) - Cálculo dos encargos máximos ($V_{máx(x)}$), encargos práticos ($V(x)$), das distâncias centro-a-centro ($B'(x)$), das distâncias centro-a-centro práticas ($B(x)$), e da razão linear de carregamento de explosivo ($l(x)$):

Cálculo da primeira espera :

$V_{(1)}$ pela equação [3.5]

$$B'_{(1)} = \sqrt{3} * V_{(1)} \quad (m) \quad [3.21]$$

$$B_{(1)} = B'_{(1)} - \sqrt{2} * F \quad (m) \quad [3.22]$$

$l_{(1)}$ dado em kg/m é relativo ao cartucho que forneça o menor (l_{expl}) maior que l dado por [3.4], ou explicitamente:

$$l_{(1)} = l_{(expl)} \quad \text{tal que} \quad \left[l_{(expl)} \geq l_{(teór)} \right] \quad [3.23]$$

$$\left[l_{(expl)} = \text{mínimo} \left\{ l_{(i)(expl)} / i = 1, 2, \dots, n \right\} \right]$$

c) - Cálculo das enésimas esperas, com $n \geq 2$:

$l_{(n)}$ é relativa ao cartucho que forneça (l_{expl}), dada por [3.18] maior que 1 teórica dado por [3.10], com (V_{expl}) por [3.11] obedecendo as condições [3.14] e [3.16], ou, explicitamente:

$$l_{(n)} = l_{(expl)} \quad \text{tal que} \quad \left[l_{(expl)} \geq l_{(teór)} \right] \quad * \quad [3.24]$$

$$\left[0,5 B_{(n-1)} \leq V_{(expl)} \leq 2,0 B_{(n-1)} \right]$$

$$V_{máx_{(n)}} = 8,8 * 10^{-2} * \sqrt{\frac{B_{(n-1)} * l_{(n)} * S_{anfo}}{d * c}} \quad (m) \quad * \quad [3.25]$$

$$V_{(n)} = V_{máx_{(n)}} - F \quad (m) \quad * \quad [3.26]$$

$$B'_{(n)} = \sqrt{3} * \left[V_{(n)} + B'_{(n-1)} / 2 \right] \quad (m) \quad [3.27]$$

$$B_{(n)} = B'_{(n)} - \sqrt{2} * F \quad (m) \quad * \quad [3.28]$$

* Nota : As equações [3.25], [3.26] e [3.28] são modificações das equações [3.11], [3.12] e [3.13], para homogenização da notação.

Repete-se o item c) até que a área do pilão seja de aproximadamente 1 m^2 (deve-se observar que o último passo do pilão contém apenas dois furos de mina contra três dos passos anteriores, como indicado na FIGURA 3.6) ou até que seu último lado ultrapasse a raiz quadrada do avanço.

3.2 Pilão de Quatro Seções

É um dos mais difundidos por sua facilidade de execução,

tendo resultados de melhor qualidade que o de três seções.

O esquema geral do pilão de quatro seções pode ser visto na FIGURA 3.6. Sua sequência de detonação está representada na FIGURA 3.7.

Sua sequência de cálculo é descrita adiante.

a) - Cálculo da profundidade de perfuração (H) e do avanço (I):

$$H = 0,15 + 33,14 * \phi - 39,43 * \phi^2 \quad (m) \quad [3.29]$$

I pela equação [3.20]

b) - Cálculo dos encargos máximos ($V_{máx(x)}$), encargos práticos ($V(x)$), das distâncias centro-a-centro ($B'(x)$), das distâncias centro-a-centro práticas ($B(x)$), e da razão linear de carregamento de explosivo ($l(x)$):

Cálculo da primeira espera :

Idem ao cálculo do pilão de três seções, apenas trocando-se a equação [3.21] pela equação:

$$B'_{(1)} = \sqrt{2} * V_{(1)} \quad (m) \quad [3.30]$$

c) - Cálculo das enésimas esperas, com $n \geq 2$:

Idem ao cálculo do pilão de três seções, apenas trocando-se a equação [3.27] pela equação:

$$B'_{(n)} = \sqrt{2} * \left[V_{(n)} + B'_{(n-1)} / 2 \right] \quad (m) \quad [3.31]$$

Repete-se o item c) até que sejam cumpridas as mesmas condições que para o pilão de três seções.

3.3 Pilão em Dupla Espiral

É apropriado para uso onde se desejam grandes avanços por fogo. Os furos opostos devem ser detonados sucessivamente, permitindo melhor limpeza da abertura. A segurança do funcionamento é garantida, uma vez que cada seção da espiral dupla provoca a ruptura da rocha, independente da outra.

O esquema geral do pilão em dupla espiral pode ser visto na FIGURA 3.8. Sua sequência de detonação esta representada na FIGURA 3.9.

Sua sequência de cálculo é descrita adiante.

a) - Cálculo da profundidade de perfuração (H) e do encargo (I):

$$H = 0,46 + 37,4 * \phi - 41,5 * \phi^2 \quad (m) \quad [3.32]$$

I pela equação [3.20]

b) - Formulação teórica das razões de carregamento (L_1), e (L_2) em função dos diâmetro do furo de mina (d) e do furo central (ϕ), para o pilão em dupla espiral :

$$L_1 = 0,248 * d + 0,124 * d * \phi \quad (kg/m) \quad [3.33]$$

$$L_2 = 0,400 * d + 0,265 * d * \phi \quad (kg/m) \quad [3.34]$$

c) - Cálculo dos encargos práticos (V_x), distâncias centro-a-centro práticas (B_x), da razão linear de carregamento de explosivo (l_x), e outros parâmetros auxiliares:

Cálculo da primeira espera :

V_1 pela equação [3.5]

$$B_1 = \sqrt{V_1^2 + (\phi/2)^2} - F \quad [3.35]$$

l_1 pelo critério [3.23]

Cálculo da segunda espera :

l_2 pela equação [3.24], com $l_{(teór)} = L_1$

$$V_{máx} = 8,8 * 10^{-2} * \sqrt{\frac{B_1 * l_2 * S_{anfo}}{d * c}}$$

$$V_2' = V_{máx} - F$$

$$V_2 = V_{máx} + \phi/2 - F \quad [3.36]$$

$$B_2 = 2 * \left[\sqrt{V_1^2 + (\phi/2)^2} - F \right] \quad [3.37]$$

Cálculo da terceira espera :

l_3 pela equação [3.24], com $l_{(teór)} = L_1$

$$V_{máx} = 8,8 * 10^{-2} * \sqrt{\frac{B_2 * l_3 * S_{anfo}}{d * c}}$$

$$V_3' = V_{máx} - F$$

$$V_3 = V_{máx} + \phi/2 - F$$

$$K = V_1 - \phi/2 \quad [3.38]$$

$$W_1' = \sqrt{V_3^2 - K^2} \quad [3.39]$$

$$W_2' = \sqrt{V_2^2 - K^2} \quad [3.40]$$

$$B_3 = W_1' + W_2' - \sqrt{2} * F \quad [3.41]$$

Cálculo da quarta espera :

14 pela equação [3.24], com $l_{(teór)} = L_2$

$$V_{máx} = 8,8 * 10^{-2} * \sqrt{\frac{B_3 * 14 * S_{anfo}}{d * c}}$$

$$V_4' = V_{máx} - F$$

$$V_4 = V_{máx} + V_1 - \phi/4 - F \quad [3.42]$$

$$B_4' = \sqrt{V_4'^2 - V_2'^2} + \sqrt{V_1'^2 + V_2'^2} \quad [3.43]$$

$$B_4 = B_4' - \sqrt{2} * F \quad [3.44]$$

Cálculo da quinta espera :

15 pela equação [3.24], com $l_{(teór)} = L_2$

$$V_{máx} = 8,8 * 10^{-2} * \sqrt{\frac{B_4 * 15 * S_{anfo}}{d * c}}$$

$$V_5' = V_{máx} - F$$

$$V_5 = V_{máx} + V_2 - F \quad [3.45]$$

$$B_5' = \sqrt{V_5'^2 - V_3'^2} + \sqrt{V_4'^2 - V_2'^2} \quad [3.46]$$

$$B_5 = B_5' - \sqrt{2} * F$$

Cálculo da sexta espera :

16 pela equação [3.24], com $l_{(teór)} = L_2$

$$V_{máx} = 8,8 * 10^{-2} * \sqrt{\frac{B_5 * 16 * S_{anfo}}{d * c}}$$

$$V_{s'} = V_{máx} - F$$

$$V_s = V_{máx} + V_{s'} - F$$

[3.47]

3.4 Pilão Täby

É uma variante do pilão em dupla espiral, como se pode observar na sequência de detonação. Sua perfuração é mais fácil e de mecanização mais simples por estarem os furos localizados verticalmente nas mesmas linhas.

O esquema geral do pilão Täby pode ser visto na FIGURA 3.10. Sua sequência de detonação esta representada na FIGURA 3.11.

Sua sequência de cálculo é descrita adiante.

a) - Cálculo da profundidade de perfuração :

$$H = 0,53 + 21,86\phi - 9,86\phi^2 \quad (m)$$

[3.48]

I pela equação [3.20]

b) - Cálculo dos encargos práticos (V_x), distâncias centro-a-centro práticas (B_x), da razão linear de carregamento de explosivo (l_x), e outros parâmetros auxiliares:

Cálculo da primeira espera :

V_1 pela equação [3.5]

$$X = \sqrt{V_1^2 + (\phi/2)^2}$$

[3.49]

$$B_1 = 1,4X - F$$

[3.50]

Cálculo da segunda espera :

$$V_{máx} = 8,8 * 10^{-2} * \sqrt{\frac{B * L * S_{anfo}}{d * c}}$$

$$V_2 = V_{máx} - F$$

$$A = 0,91 * V_2 \quad [3.51]$$

$$X = \sqrt{(2V_1)^2 + V_2^2} \quad [3.52]$$

$$B_2 = 1,32 X - 2 * F \quad [3.53]$$

Cálculo da terceira espera :

$$V_{máx} = 8,8 * 10^{-2} * \sqrt{\frac{B * L * S_{anfo}}{d * c}}$$

$$V_3 = V_{máx} - F$$

$$C = V_3 \quad [3.54]$$

$$X = \sqrt{(2V_1)^2 + \phi^2}$$

$$B_3 = 1,4 X - F \quad [3.55]$$

Cálculo da quarta :

$$V_{máx} = 8,8 * 10^{-2} * \sqrt{\frac{B * L * S_{anfo}}{d * c}}$$

$$V_4 = V_{máx} - F$$

$$D = 0,91 * V_4 \quad [3.56]$$

$$B_4 = V_2 + V_3 + V_4 - F$$

[3.57]

Cálculo da quinta espera :

$$V_{máx} = 8,8 \times 10^{-2} \times \sqrt{\frac{B \times L \times S_{\text{anfo}}}{d \times c}}$$

$$V_5 = V_{máx} - F$$

$$E = V_5$$

[3.58]

$$B_5 = \sqrt{(V_1 + E)^2 + (A + D)^2}$$

[3.59]

Para a determinação dos quatro furos restantes do pilão (furos 11, 12, 13 e 14), pode-se observar que eles ficam nos vértices do retângulo que passa pelos furos 7, 8, 9 e 10 (FIGURA 3.10).

3.5 Cálculo de Parâmetros

a) comprimento de perfuração (H) :

As equações de comprimento de perfuração em função do diâmetro do furo de alargamento foram obtidas através de regressões, a partir de dados práticos, para um avanço esperado (I) de 95%. Vide ANEXO A.

b) comprimento total de perfuração :

O número de furos depende de cada tipo de pilão pois o objetivo é um pilão com área maior ou igual a 1 m².

A profundidade dos furos depende do tipo de pilão e do diâmetro do furo vazio.

Como exemplo, para o caso de furo de 110 mm terrenos para cada tipo de pilão, com 95% de arranque:

- pilão de dupla espiral 12 furos de 4,1 m
- pilão de três seções 16 furos de 3,4 m
- pilão de quatro seções 11 furos de 3,2 m
- pilão Täby 14 furos de 2,8 m

O comprimento total de perfuração é o número de furos vezes o comprimento dos furos.

c) consumo total de explosivo (Q) :

O consumo de explosivo é a somatória da carga, em kg, de explosivo de cada furo de mina, formada por um ou mais tipos de cartuchos de explosivo.

d) razão de carregamento :

A razão de carregamento é dada em quilograma de explosivo por metro cúbico de rocha no banco.

Para cálculo da razão é necessário calcular a área dos pilões.

Pilão em dupla espiral :

$$A \approx 2V_1' * 2V_5' \quad [3.60]$$

Pilão de três seções :

$$A \approx (2V_1 + 2V_3)^2 \quad [3.61]$$

(no caso de haver só 4 quadriláteros)

Pilão de quatro seções :

$$A = 2V_s' * (V_s' + V_z') \quad [3.62]$$

(no caso de haver 11 furos)

Pilão Täby :

$$A = (C + 2D + E) * (F + A) \quad [3.63]$$

(para 14 furos)

Portanto:

$$R_c = \frac{C_{exp}}{A * I} \quad [3.64]$$

d) razão de perfuração :

A razão de perfuração é o comprimento total perfurado pelo volume no banco de rocha desmontada, ou:

$$R_p = \frac{\Sigma H}{A * I} \quad [3.65]$$

e) custo de perfuração (cp) e custo de desmonte (cd):

Leva-se em conta apenas o custo de mão-de-obra e explosivo.

$$cp = Num.F * H * Vel.Perf. * 2,4 * Hom.Hora/Vel.Perf. \quad [3.66]$$

$$cp = P * Q + Num.F. * H * Hom.Hora * 1,2 / Vel.Carr. \quad [3.67]$$

onde P = preço do explosivo por quilograma,
 Num.F. = número total de furos,
 Hom.H. = custo do homem-hora,
 Vel.Perf. = velocidade de perfuração (m/h),
 Vel.Carr. = velocidade de carregação (furo/h),
 2,4 = fator de rendimento, com dois operadores,
 1,2 = fator de rendimento, com um operador.

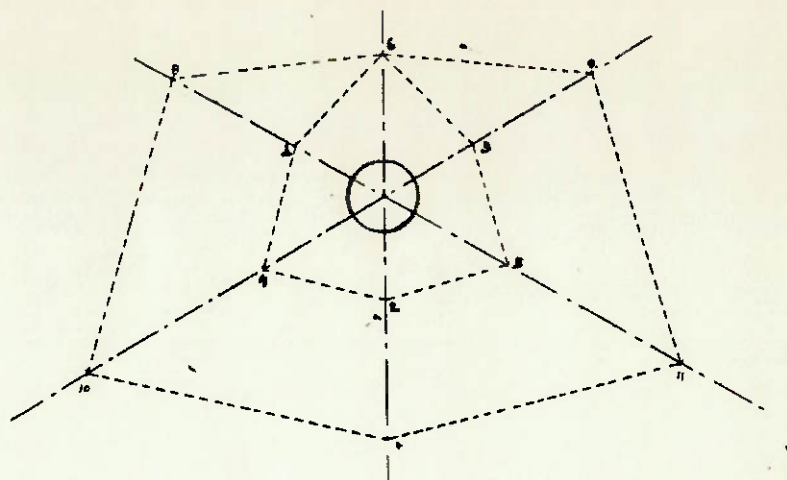


FIGURA 3.4 - Esquema do pilar de três seções.

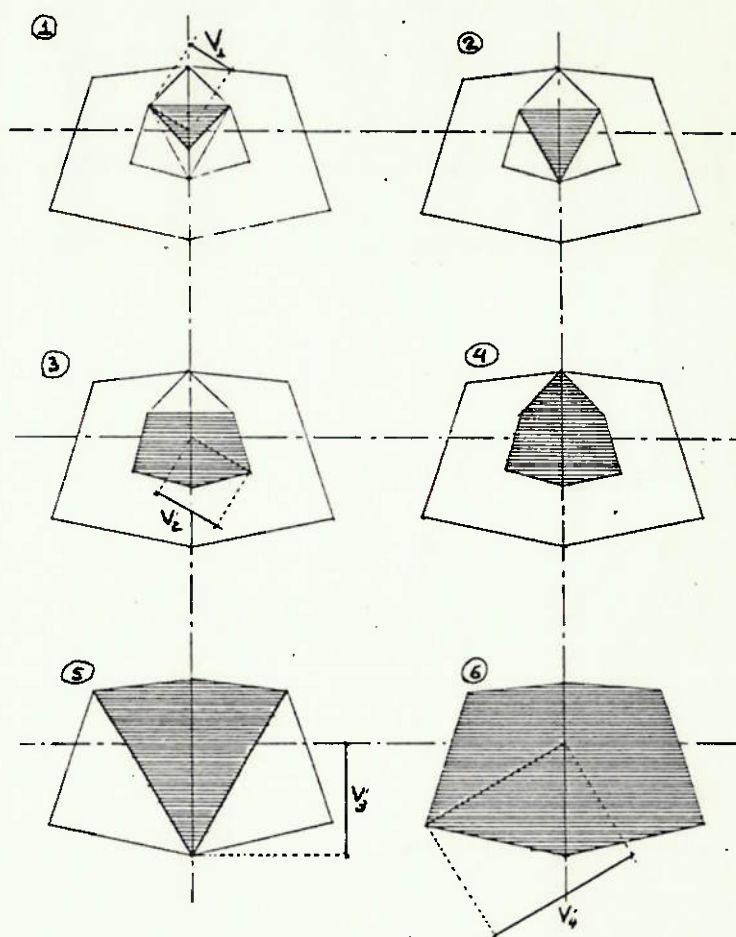


FIGURA 3.5 - Sequência de detonação do pilar de três seções.

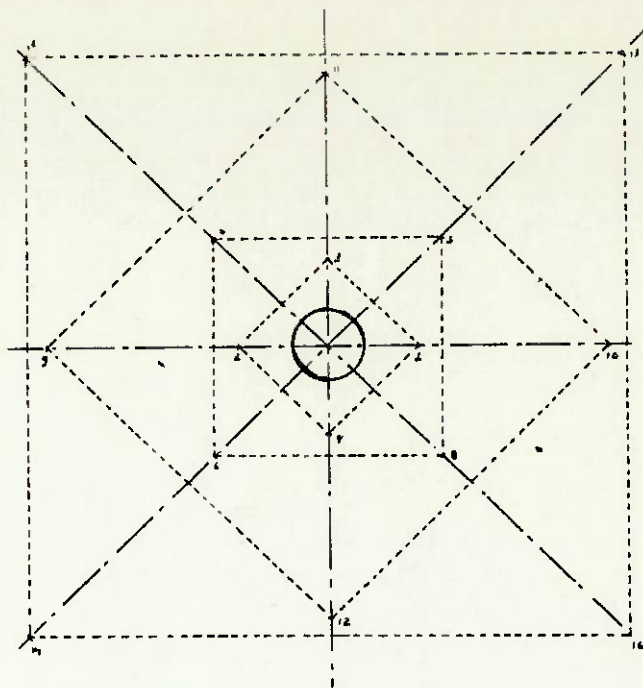


FIGURA 3.6 - Esquema do pilão de quatro seções.

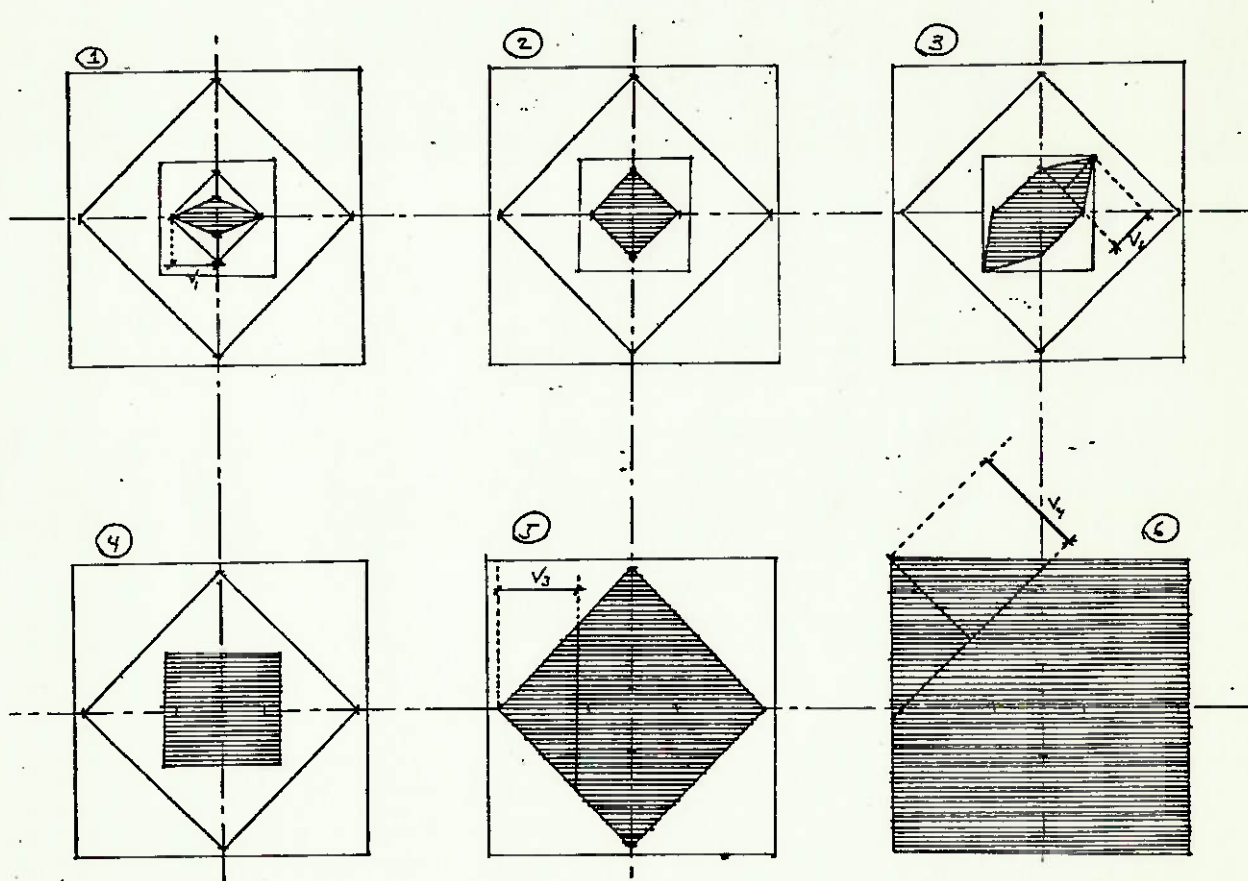


FIGURA 3.7 - Sequência de detonação do pilão de quatro seções.

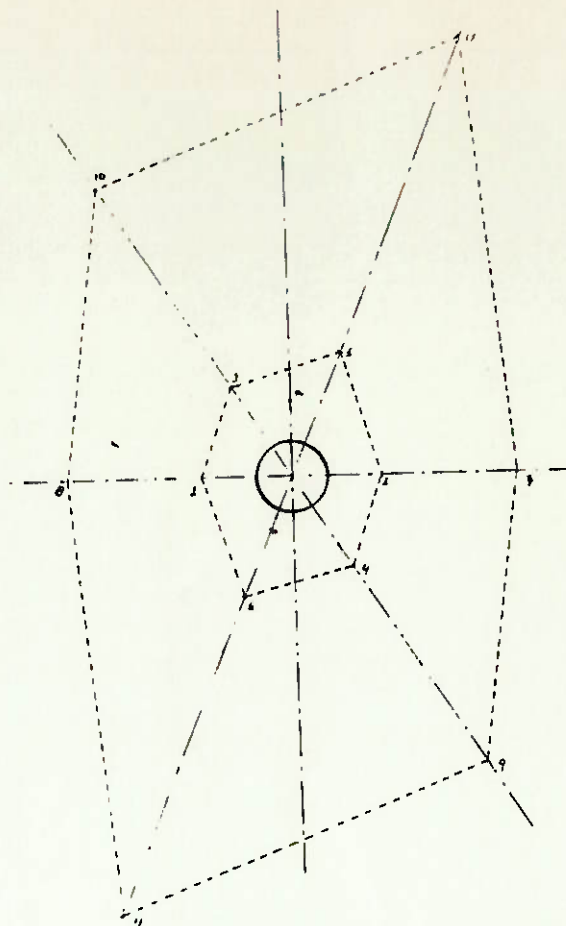


FIGURA 3.8 - Esquema do pilão em dupla espiral.

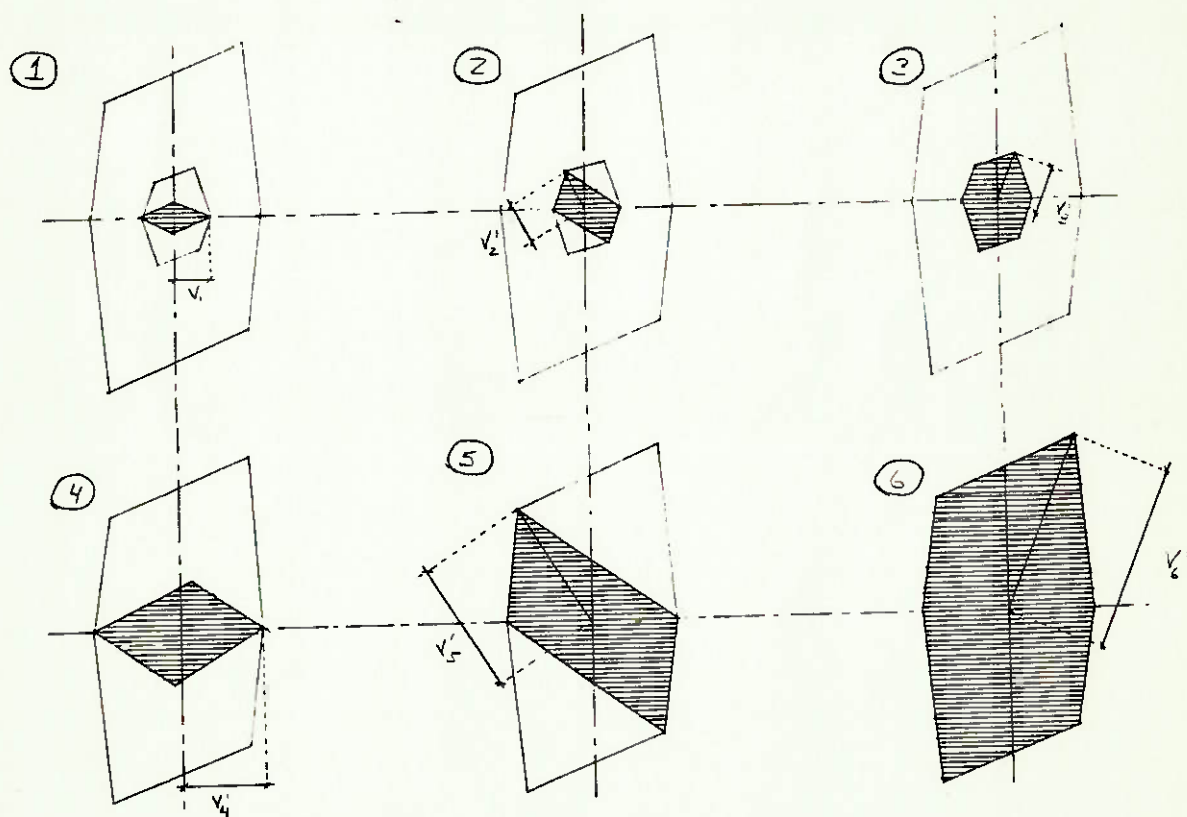


FIGURA 3.9 - Sequência de detonação do pilão em dupla espiral.

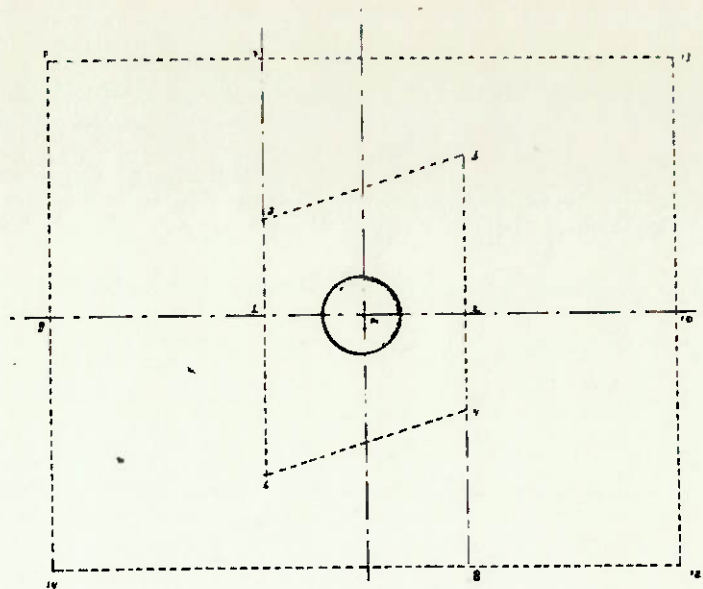


FIGURA 3.10 - Esquema do pilão Täby.

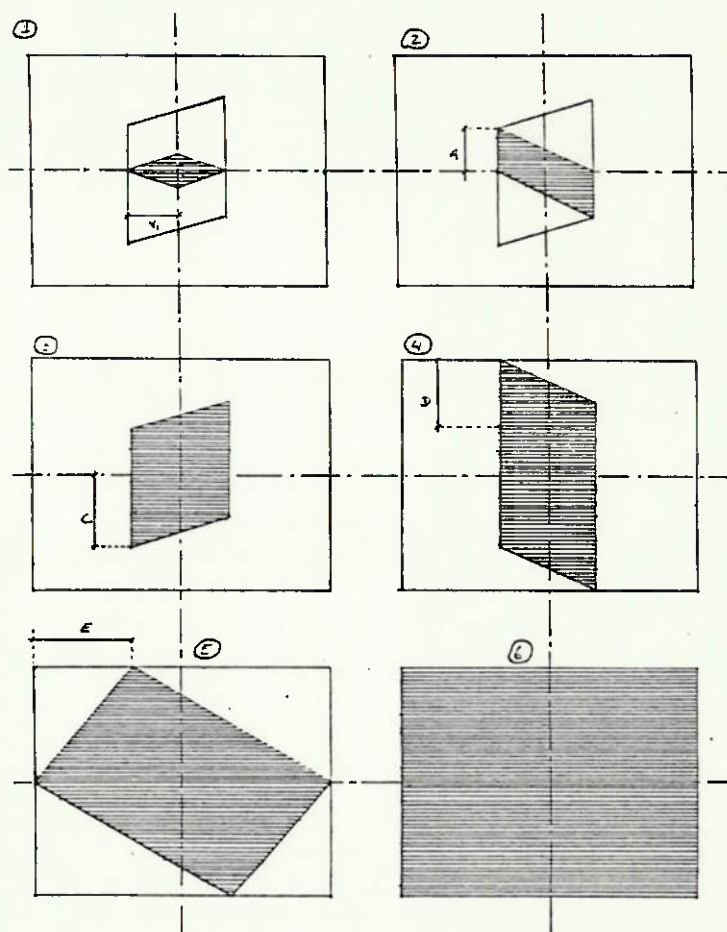


FIGURA 3.11 - Sequência de detonação do pilão Täby.

4 REGIÕES DO ALARGAMENTO

O cálculo dos fogos na região de alargamento da galeria é efetuado em partes, de acordo com suas peculiaridades, como descritas no item 2.2 .

A formulação é descrita nos próximos itens.

4.1 Furos de Levante

Em princípio, é calculado pela mesma expressão do desmonte em bancada. A altura da bancada é substituída pelo comprimento do avanço e um fator de fixação mais alto é usado devido ao efeito gravitacional em virtude do maior intervalo de tempo entre a detonação dos furos.

O máximo afastamento (V) é dado por:

$$V = 0,9 * \sqrt{\frac{1 * S_{anfo}}{\bar{c} * f * (E/V)}} \quad (m) \quad [4.1]$$

onde (f) é o fator de fixação, (E/V) representa a relação entre espaçamento (E) e o afastamento (V) e $\bar{c}$ é a constante da rocha corrigida.

Um fator de fixação de 1,45 e a relação (E/V) igual a 1 são usados para furos de levante.

$$\bar{c} = \begin{cases} c + 0,05 & V \geq 1,4 \text{ m} \\ c + 0,07 / V & V < 1,4 \text{ m} \end{cases} \quad [4.2]$$

Ao locar os furos de levante, devemos ter em mente os ângulos de saída. A magnetude do ângulo depende do equipamento de perfuração disponível e da profundidade do furo.

Para um avanço em torno de 3 m um ângulo de saída (γ) igual a 0,05 rad (3° - correspondendo a 5 cm/m) deve ser suficiente para permitir espaço para perfuração da nova frente (FIGURA 4.1).

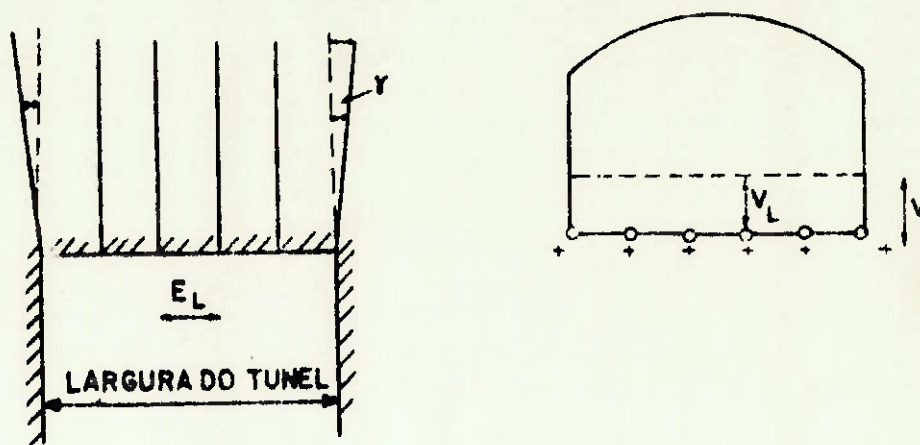


FIGURA 4.1 - Posição dos furos de levante.

O espaçamento dos furos (E) deve ser igual a (V). Entretanto, haverá uma variação em função da largura do túnel.

O número de furos de levante (N) é dado por:

$$N = \text{Inteiro} \left[\frac{\text{Largura do Túnel} + 2 * H * \text{sen } \gamma}{V} + 2 \right] \quad [4.3]$$

O espaçamento (E_L) de tais furos, com exceção dos furos das extremidades é calculado por:

$$E_L = \frac{\text{Largura do Túnel} + 2 * H * \text{sen } \gamma}{N - 1} \quad (\text{m}) \quad [4.4]$$

O espaçamento real para os furos dos cantos (El') é igual a:

$$El' = El - H * \text{sen } \gamma \quad (m) \quad [4.5]$$

O afastamento real (Vl) deve ser reduzido do ângulo de saída no piso e do desvio de perfuração:

$$Vl = V - H * \text{sen } \gamma - F \quad (m) \quad [4.6]$$

O comprimento da carga de fundo (hb) necessária para o arrancamento do pé é:

$$hb = 1,25 Vl \quad (m) \quad [4.7]$$

O comprimento da carga de coluna (hc) é dado por:

$$hc = H - hb - 10 * d \quad (m) \quad [4.8]$$

e a sua concentração de carga deve ser reduzida a 70% da concentração da carga de fundo. Entretanto, isto nem sempre é feito por consumir trabalho e tempo. Geralmente a mesma concentração é usada no fundo e na coluna.

Quando utilizamos a equação [4.1], a seguinte condição deve ser obedecida:

$$V \leq 0,6 * H \quad [4.10]$$

Por outro lado, o máximo afastamento pode ser sucessivamente reduzido, diminuindo-se a concentração de carga. Então, o espaçamento prático El e afastamento Vl podem ser obtidos.

Com relação ao "tampão", deve ter o mesmo comprimento dado pela fórmula 3.17. Deve ser empregado em todos os furos de mina.

4.2 Furos de Alívio e Alívio Superior

O método para o cálculo dos furos de mina nas seções adjacentes ao pilão não difere muito do cálculo dos furos de levante.

Para os furos de alívio que desmontam a rocha horizontalmente e para cima, é usado um fator de fixação de 1,45 e relação (E/V) igual a 1,25.

Para os furos de alívio da parte superior, cujo desmonte é para baixo, o fator de fixação é reduzido a 1,2 e a relação (E/V) permanece 1,25.

A concentração da carga de coluna para os furos de alívio de ambas as seções deve ser igual a 50% da concentração para a carga de fundo.

4.3 Furos de Contorno

Se o demonte cuidadoso não for necessário, o encargo e espaçamento dos furos de contorno são calculados de acordo com o que já foi dito para os furos de levante, com as seguintes exceções:

- Fator de fixação (f) igual a 1,2.
- Relação (E/V) deve ser igual a 1,25.
- A concentração da carga de coluna é 50% da concentração da carga de fundo.

Caso seja necessário o desmonte cuidadoso, os cálculos são outros. A seguir são analisados o impacto do desmonte sobre a parede rochosa e modos de minimizá-lo.

4.3.1 Danos na rocha e desmonte cuidadoso

Não se costuma prestar suficiente atenção à paredes de rocha, que ficam com contornos irregulares, com inúmeras fendas causadas por explosivo inadequado e com grande porcentagem de "overbreak".

O dano produzido pelo desmonte por explosivos no teto e paredes de uma galeria, frequentemente determinam um custo excessivo em suporte. Em rochas de baixa resistência, um tempo bastante longo de auto-suporte pode ser atingido com um desmonte cuidadoso do contorno, reduzindo-se a um mínimo a zona perturbada.

Com a utilização de métodos que permitem obter um contorno acurado (corte), obtem-se notável economia de mão-de-obra, de concreto, de limpeza etc., além de aumento da segurança.

A súbita expansão causada por uma explosão em um furo de mina gera uma onda de tensão que se propaga no maciço rochoso. Para um material elástico a tensão induzida é diretamente proporcional à densidade, velocidade de partícula e velocidade de propagação de onda.

Junto à carga a tensão atingirá tal magnitude que são produzidos danos permanentes. O quanto tais danos terão influência significativa na capacidade de auto-suporte para um túnel depende antes do caráter dos prejuízos causados, do tempo de exposição, da influência da água do subsolo e da orientação dos planos de juntas com relação ao contorno e cargas estáticas.

Por um longo tempo, o critério de risco para estruturas construídas nas vizinhanças de uma frente de desmonte foram baseadas na velocidade de partícula. Segundo o SveDeFo (Fundação Sueca de Pesquisas em Detônica) o mesmo critério tem se revelado útil para aplicações na estimativa de danos na rocha remanescente de um desmonte.

São utilizados vários critérios para correlacionar a

velocidade de partícula com a carga e a distância entre elas:

Leconte (1967):

$$v = K * \frac{\sqrt{Q}}{DS} \quad [4.11]$$

onde v : Velocidade de partícula (mm/s),
 Q : Carga de explosivo (kg),
 DS : Distância desde o desmonte ao ponto de registro (m),
 K : Constante empírica.

Hambraseys & Hedron (1968):

$$v = K * \left[\frac{DS}{Q^{1/3}} \right]^{-n} \quad [4.12]$$

supondo-se simetria esférica da carga e
onde K, n : Constantes empíricas.

Devine & Duvall (1963):

$$v = K * \left[\frac{DS}{Q^{1/2}} \right]^{-n} \quad [4.13]$$

supondo-se cargas de explosivo cilíndricas.

Kilhström & Gustafsson e Langefors (1963):

$$v = K * \left[\frac{Q}{DS^{3/2}} \right]^{-n} \quad [4.14]$$

na mesma condição de carga para explosivo cilíndrico.

Atewel et al. (1965), Holmberg & Person (1978) e Shoop &

Daemen (1983) não consideram uma simetria de carga particular e utilizam a expressão:

$$v = K * Q^a * DS^b \quad [4.15]$$

onde (K), (a) e (b) são constantes empíricas estimadas para determinada região mediante uma análise de regressão múltipla.

À distâncias relativamente pequenas, comparadas com o comprimento da carga, podemos utilizar esta última lei de propagação, considerando-se o modelo geométrico da FIGURA 4.2.

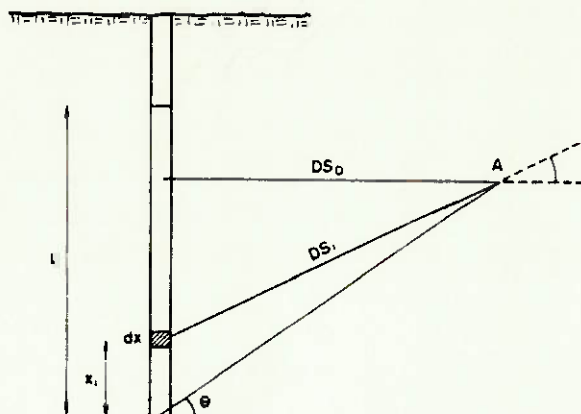


FIGURA 4.2 - Modelo geométrico para cálculo de velocidade de partícula.

A distância de qualquer parte da carga a ao ponto "A" é dada por:

$$DS_i^2 = DS_0^2 + (DS_0 * \tan \theta - xi)^2 \quad [4.16]$$

onde \$DS_0\$ = Distância mínima da carga ao ponto "A",

\$\theta\$ = Ângulo de inclinação,

\$xi\$ = Distância do extremo inferior da carga ao ponto "A".

Partindo-se de uma concentração linear de carga (\$q_l\$) [kg/m],

temos:

$$q_l = q_l * dx \quad [4.17]$$

Integrando sobre o comprimento da carga (l) obtemos a equação da velocidade máxima da partícula (v) em mm/s dada por:

$$v = k * q_l^a * \left[\int_c^l \frac{dx}{(DSo^2 + (DSo * \tan \theta - x)^2)^{b/2a}} \right]^a \quad [4.18]$$

que pode ser resolvida numericamente, gerando ábacos úteis para o dimensionamento de cargas e/ou distâncias convenientes a ser empregadas nos furos de mina próximos à região de contorno.

A FIGURA 4.3 é um desses ábacos. Ele fornece uma estimativa para a concentração de carga de ANFO. Para rochas competentes como os granitos são, os valores das constantes são: $k = 700$, $a = 0,7$ e $b = 1,5$. Para outro tipos de rochas, estes valores deverão ser encontrados em experimentos locais. No ANEXO B estão desenvolvidos vários outros ábacos para diferentes medidas de comprimento (l) de carga de explosivo, para facilitar análises expeditas de situação de carregamento de planos de fogo quaisquer.

Quando a velocidade de partícula atinge um valor entre 700 e 1000 mm/s, são induzidas ou alargadas trincas em um maciço rochoso de granito. A concentração de 1 kg/m, no ábaco da FIGURA 4.3 implica em dano numa zona de raio 1,0 a 1,4 m em torno da carga.

Uma concentração de 0,2 kg/m no contorno resulta em uma zona de dano de 0,3 m. Se o afastamento for 0,8, pode-se ver que a concentração de carga para a fileira interna deve ser limitada em cerca de 1 kg/m para que a zona de dano de 0,3 m não seja ultrapassada.

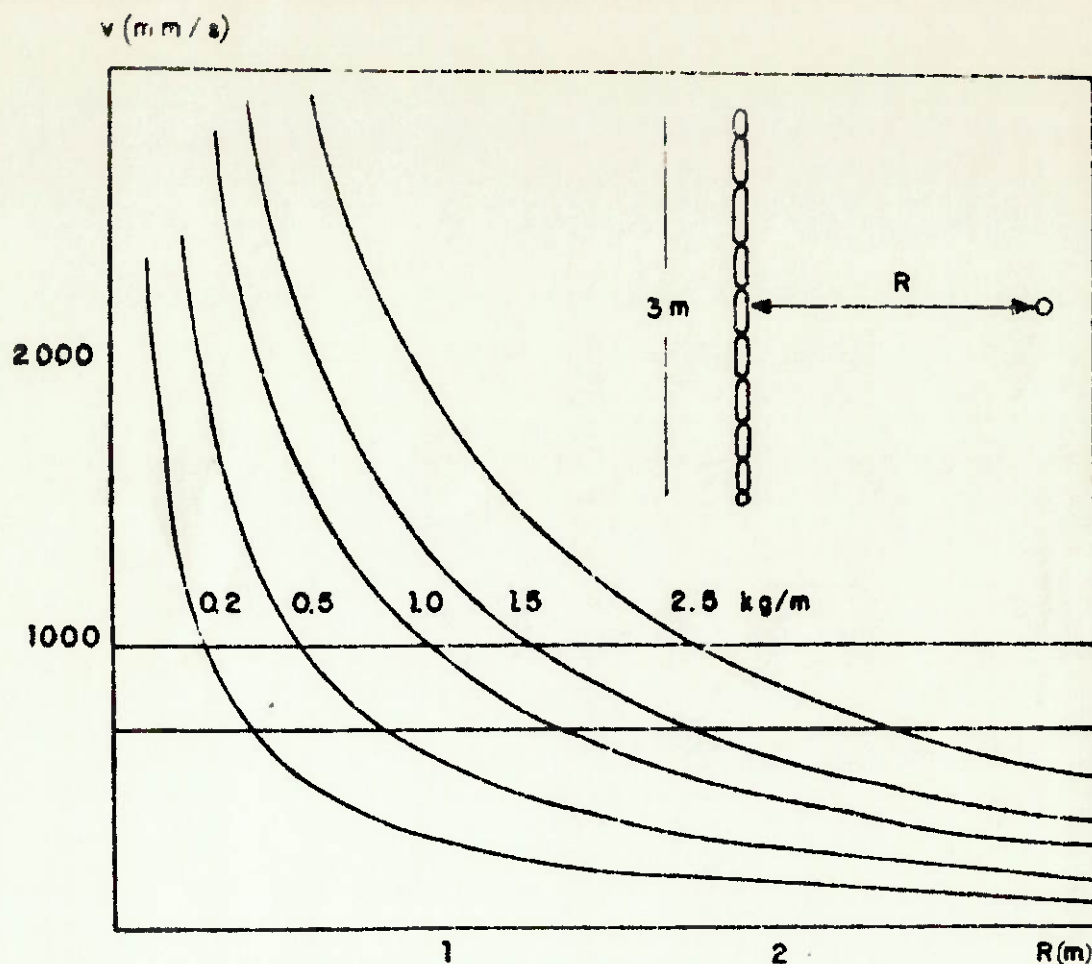


FIGURA 4.3 - Velocidade de partícula como função da distância e concentração de carga para uma carga de 3 m de comprimento.

Medidas próximas ao contorno do túnel tem indicado que cargas na fileira anterior ao contorno frequentemente causam velocidades de partícula mais altas e maior dano do que a fileira de desmonte cuidadoso. Se o resultado de um desmonte cuidadoso não deve ser prejudicado pelo restante dos furos de mina, é uma boa providência a de reduzir a concentração de carga da fileira anterior à de contorno (FIGURA 4.4).

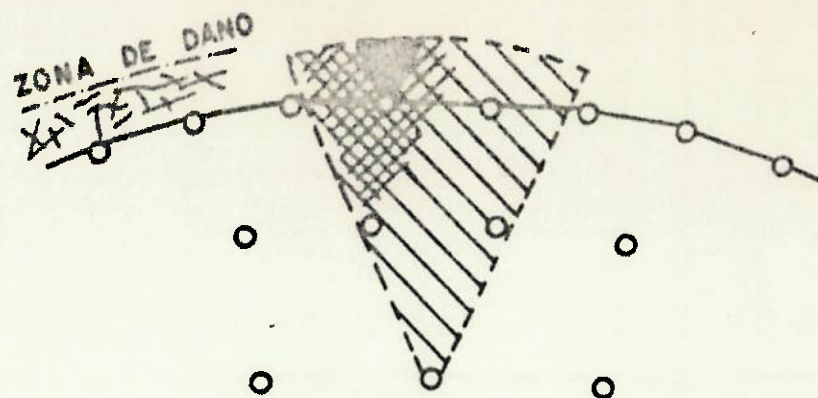


FIGURA 4.4 - Fogo bem dimensionado, com coincidência das zonas de dano.

Nos furos de contorno, o cuidado para o dimensionamento das cargas deve incluir o mecanismo de fissuração entre os furos adjacentes:

Quando a rocha, tendo uma linha de furos circulares, é posta em tensão (como por exemplo, no instante da detonação das cargas), a pressão nas paredes dos furos triplica ao longo da superfície que contém os seus eixos.

A carga deve ser, portanto, dimensionada para que a pressão de detonação sobre as paredes dos furos seja inferior a resistência à compressão da rocha (para não criar fendas) mas seja suficiente, uma vez triplicada, para criar uma fenda de junção ao longo da superfície acima mencionada.

Como base para o dimensionamento, tem-se o espaçamento (E):

$$E = K * d \quad (m) \quad [4.19]$$

onde (K) varia de 15 a 18. Uma relação (E/V) de 0,8 deve ser usada. A concentração de carga por metro de furo de mina (l), para furos acima de 0,015 m também é função do diâmetro do furo de mina:

$$l = 90 * d^2 \quad (kg/m) \quad [4.20]$$

e o comprimento total do furo deve ser carregado.

4.4 Fatores de Rendimento de Transferência

A energia desenvolvida durante a detonação é um parâmetro que depende de características do explosivo.

Os fatores que influem na transferência da energia do explosivo para a rocha são :

- impedância do explosivo e da rocha; e
- defasagem dos diâmetros carga/furo.
- Condicionantes geológicas.

A utilização desses fatores permite refinar o cálculo da concentração de carga (l) no furo de mina, pois a constante empírica da rocha (c), que é a responsável pelos ajustes de cálculo, é obtida a partir de condições médias de detonação.

- No explosivo a impedância (I_e) é o produto de sua densidade pela velocidade de detonação. Na rocha é o produto de sua densidade pela velocidade de propagação das ondas sísmicas (I_r).

O rendimento de transferência é dado pela relação:

$$\eta_1 = 1 - \frac{(I_e - I_r)^2}{(I_e + I_r)^2} \quad [4.21]$$

O rendimento aumenta quanto mais I_e e I_r tendem ao mesmo valor. O gráfico da FIGURA 4.5 ilustra esta tendência.

Para facilidade de cálculo, há no ANEXO C uma tabela com valores de velocidades de ondas sísmicas densidades médias para vários tipos de rocha, que podem ser usados para primeiro cálculo.

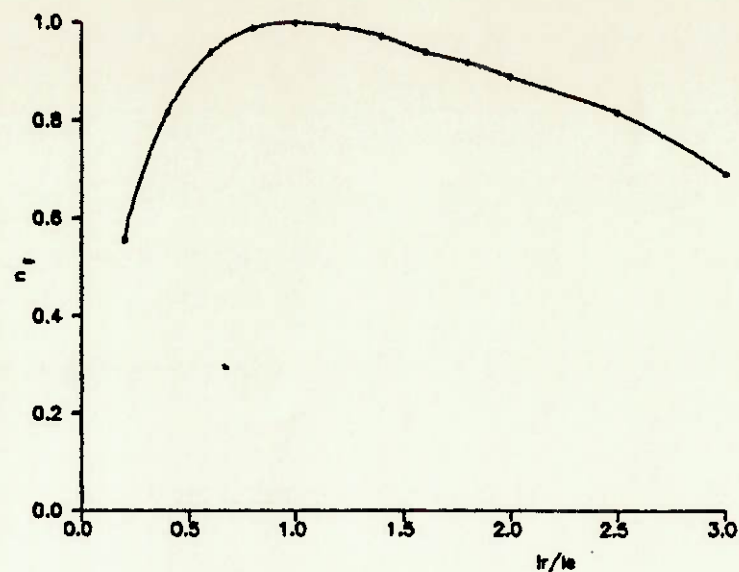


FIGURA 4.5 - η_1 em função de l_r/l_e .

- Quando o diâmetro da carga coincide com o diâmetro do furo, é máximo a pressão contra a parede do furo.

Diminuindo o diâmetro da carga relativo ao diâmetro do furo diminui exponencialmente tal pressão. Um segundo rendimento de transferência, em função da defasagem dos diâmetros, é dado pela relação:

$$\eta_2 = \frac{1}{e^{\phi_f/\phi_c} - (e - 1)} \quad [4.22]$$

onde ϕ_f é o diâmetro do furo de mina e ϕ_c é o diâmetro do do cartucho de explosivo, e multiplicado por 1,5 para ajustar este fator à defasagem prática cartucho-furo de 1/4 de polegada.

Da FIGURA 4.6, observa-se que o rendimento é máximo quando $\phi_f = \phi_c$ e diminui rapidamente quando aumenta a diferença entre os diâmetros.

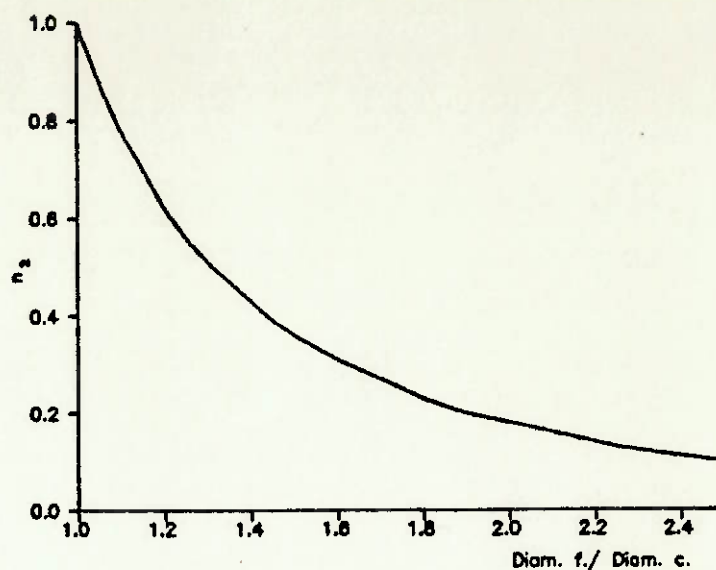


FIGURA 4.6 - η_2 em função de $\phi f / \phi c$

Em função da quantidade de explosivos consumidos, pode-se atualmente conseguir o fornecimento do explosivo tanto a granel (dependendo do tipo e possibilidade de manuseio) quanto em cartuchos de dimensões adequadas. Isto tende a minimizar a influência deste fator.

- A energia específica de fragmentação das rochas é geralmente encontrada para rocha sã, não fragmentada nem alterada. Fatores como orientação e espaçamento de famílias de descontinuidades, infiltração de água, envoltória de resistência do material rochoso etc. implicam em uma variabilidade do rendimento da operação de desmonte, que pode ser muito significativa, e prejudicial, na prática.

A quantificação da influência de todos estes parâmetros é algo muito complicado e requer grande quantidade de ensaios de campo. Na literatura não se encontra trabalhos significativos a este respeito. Pode-se sugerir que um fator de rendimento η_3 seja, teoricamente, função do RQD (Rock Quality Designation) que mede o grau de fraturamento do maciço:

$$\eta_2 = f(RQD)$$

[4.23]

Para englobar os outros fatores geológicos, sem recorrer a equacionamentos muito extensos, sugere-se o uso de fatores de classificação de maciços rochosos, como o RMR de Bieniavsky, mais difundido, ou outro como o RSR ou o Q-System. Conseguída uma correlação desta natureza, o fator de rendimento seria função deste fator de classificação ou ainda, função do fator de classificação corrigido por outros ponderadores empíricos. Assim, teoricamente tem-se:

$$\eta_2 = f(RMR \text{ corr.})$$

[4.24]

O modo de se calcular este fator de rendimento, porém, ainda não foi determinado.

Assim o valor da concentração de cargas corrigida ($l_{corr.}$) será:

$$l_{corr.} = l * \eta_1 * \eta_2$$

[4.24]

Na prática, deve-se utilizar a equação [4.24] juntamente com a [3.17] e os procedimentos a ela associados.

4.5 Verificação do Plano de Fogo

Após a realização dos cálculos do plano de fogo, é interessante checar os resultados obtidos com resultados típicos de operações similares. Esta verificação pode ser realizada com gráficos como os da FIGURAS 4.8, 4.9 e 4.10, que a partir função do diâmetro dos furos de mina e da área do túnel, é obtido o consumo específico de explosivo, a perfuração específica e o número de furos por salva.

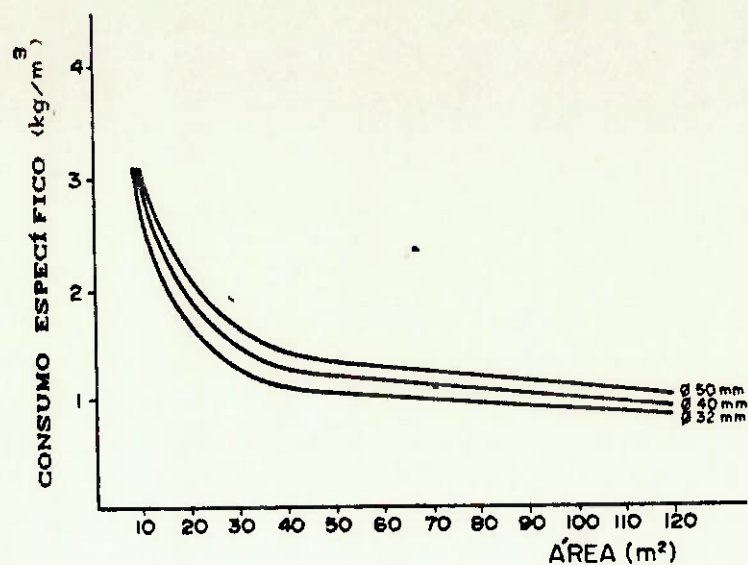


FIGURA 4.8 - Gráfico para consumo específico de explosivo.

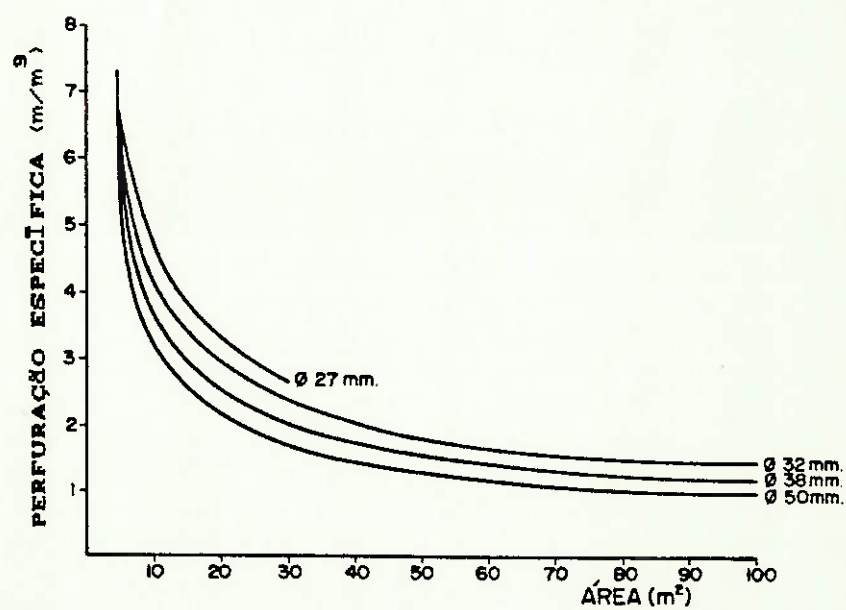


FIGURA 4.9 - Gráfico para perfuração específica.

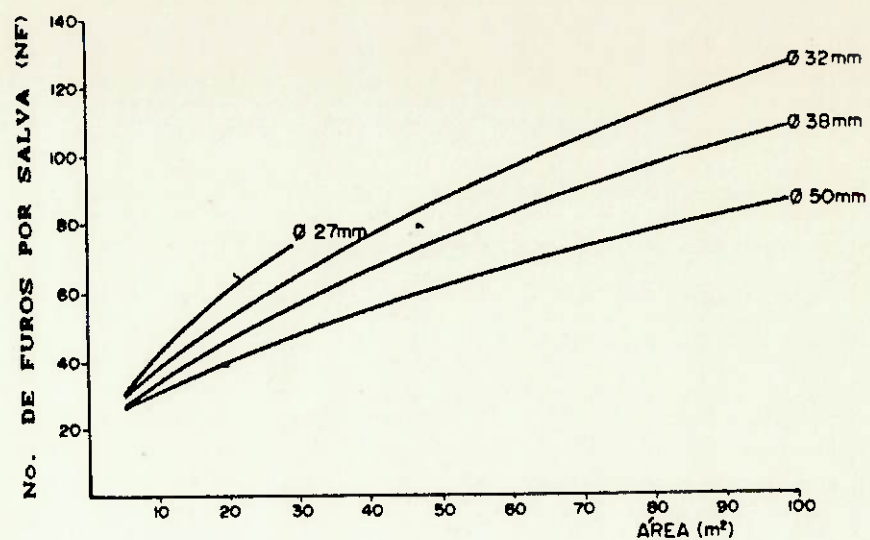


FIGURA 4.10 - Gráfico para n.º de furos por salva.

Esta verificação fornece uma indicação se os resultados de cálculo estão coerentes com a média dos parâmetros de desmontes bem-sucedidos para uma dada área de seção de galeria.

5 IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA

O algoritmo de cálculo, desenvolvido nos capítulos anteriores foi implementado no programa computacional denominado "VOLADOR", seguindo alguns critérios básicos de execução, comentados a seguir.

A implementação foi realizada em linguagem C, utilizando o compilador Turbo C++ Borland, versão 1.01, 2.^a edição. Foi escolhida esta linguagem pela portabilidade e compacidade de código, alta velocidade de execução, estruturação e flexibilidade na programação. É uma linguagem amplamente difundida, usada em programação profissional.

Optou-se pela execução de um programa básico, isto é, apenas a implementação do algoritmo de cálculo com algumas funções auxiliares, negligenciando-se implementações secundárias como menus mais sofisticados, módulos de opções alternativas e saídas gráficas. Isto porque :

- Constituiria um exercício desnecessário de programação, resultando em um programa extenso, complicado e de qualidade final duvidosa.

- Um código menor pode ser mais facilmente manipulado a partir da listagem fornecida neste trabalho, tornando o seu uso mais prático.

- Fica a cargo do usuário fazer suas próprias implementações, de acordo com necessidades específicas de ordem prática, que surjam durante a utilização.

Foram incorporadas no programa as opções consideradas mais importantes para a simulação de esquemas de desmonte reais, para que a saída do programa tivesse utilidade prática e pudesse ser comparada com dados reais.

A listagem completa do programa encontra-se no ANEXO D.

5.1 Modo de Utilização

A primeira tela fixa fornece informações gerais sobre a finalidade do programa e remete o usuário à leitura deste trabalho.

- Para toda mudança de tela, é necessário teclar <ENTER>. O cursor fica indicado no canto direito inferior com aviso apropriado.

- A alimentação de dados-padrão ocorre automaticamente, bastando teclar <ENTER>.

- Deve-se prestar atenção nas unidades dos dados de entrada do programa.

Entrada de dados :

Na primeira tela de entrada de dados é perguntado o nome da empresa (máximo de 40 caracteres), o número do teste que está sendo realizado e o nome do arquivo de dados (máximo de 8 caracteres); arquivo este que conterá todos os dados do projeto e os cálculos realizados pelo programa.

Esse arquivo de dados será gravado com extensão .VOL no mesmo diretório onde está locado o programa, e poderá ser listado posteriormente em tela ou em impressora, utilizando-se respectivamente os comandos do DOS `type (nome).VOL` ou `copy (nome).VOL prn`. Caso seja utilizado disquete, será necessário retirar a proteção contra gravação, caso haja, do disquete.

Nesta tela é também selecionada a opção de cálculo: Cálculo apenas para um dos 4 pilões, ou para todos, quando o cálculo é efetuado para cada tipo de pilão.

A opção - cálculo de custo - implica em entrada de dados adicionais.

A opção - desmonte cuidadoso - fará com que o programa modifique o método de cálculo dos furos de contorno. Em caso afirmativo, provavelmente o cartucho de contorno será diferente do cartucho do restante da seção.

Na tela seguinte, serão pedidos dados geométricos do desmonte: largura da galeria, altura da galeria (esta correspondendo a altura das paredes) e altura da abóbada da galeria, caso haja. Também são pedidas as medidas das brocas a ser utilizadas e fatores de erro. Em caso de dúvida, aceitar os dados-padrão destes fatores.

Na próxima tela seleciona-se o uso de fatores de correção do rendimento. Caso afirmativo, serão pedidos, posteriormente, valores da velocidade de detonação do explosivo, densidade da rocha e velocidade de ondas sísmicas na rocha.

Pede-se também a forma se se alimentar dados do explosivo: através de sua força-peso ou por energia do explosivo e produção de gás nas CNTP. Estes valores deverão então ser fornecidos.

A próxima tela ainda trata de explosivos. É perguntado se é desejado o uso de apenas um tipo de cartucho no pilão. Em caso afirmativo, o mesmo cartucho será utilizado nos cálculos tanto do pilão com do restante da seção, a menos do contorno, em caso de desmonte cuidadoso. Pergunta-se sobre o número de cartuchos disponíveis e em seguida pede-se seus diâmetros. Em caso de explosivo a granel, é recomendado que seja fornecido ao programa mais de um diâmetro de envólucros, para aumentar a opção de seleção.

A tela seguinte trata de parâmetros geomecânicos. Caso não tenha sido pedido o uso de fatores de correção, será pedida apenas a constante da rocha. Senão, serão pedidos a densidade da rocha e

a velocidade de onda sísmica na rocha.

A tela seguinte só será exposta se anteriormente foi pedida a opção para cálculo de custos expeditos. Então, serão pedidos os valores de preço por kg do explosivo, custo do Homem-hora e velocidade de perfuração do equipamento.

A seguir, surgem os valores previamente digitados. Deve-se selecionar <SIM> para poder acessar o menu de alteração. Digita-se o número associado ao dado e em seguida o novo valor do dado. Para mudança de valores de medida de cartucho ou de dados de custo, digita-se o número associado a estas opções. O programa então exibe menus específicos, semelhantes ao anterior.

Digitando-se <NÃO> ou <ENTER>, o programa já começa a exibir os resultados.

Saída de resultados :

O principal problema de inconsistência de cálculo é a inadequação do explosivo utilizado ao desmonte da seção. Neste caso o programa advertirá o usuário sobre esta inadequação e onde, especificamente ocorreu, se para o pilão, para o alargamento da seção ou se para o contorno, caso de desmonte cuidadoso.

A primeira tela de resultado exibe o nome do pilão que está sendo calculado, o número de passos necessários a sua execução, o comprimento de perfuração que deverá ser realizado, o avanço esperado e o comprimento do tampão a ser utilizado.

Nas telas seguintes, são exibidos o passo presente do pilão, afastamento, espaçamento, cartucho a ser utilizado, com a carga total do furo e a razão linear de carregamento.

Ao final, são fornecidos os parâmetros número de furos, área do pilão, comprimento total perfurado no pilão, a razão de perfuração total por volume do pilão no banco, a concentração total de carga gasta no pilão, a razão de carga pelo volume do pilão, e a concentração linear de carga média.

Caso tenha sido selecionada a opção de análise de custo, será exibida a tela com as informações: toneladas desmontadas por salva, custos parciais de perfuração e desmonte, custo total, relação entre os dois custos parciais e o custo por tonelada desmontada.

A seguir são exibidas as telas de cálculo do alargamento da seção: levante, alívio lateral, alívio superior, e contorno (indicando se este último é com desmonte cuidadoso ou não).

Os valores apresentados são de afastamento entre os furos, espaçamento, carga, cartucho utilizado e concentração linear de carga, estes três últimos para carga de fundo e de coluna ou não, dependendo das opções previamente selecionadas de uso de cartucho único e uso de desmonte cuidadoso.

Após estas telas, são exibidas as telas de parâmetros da seção, a tela de análise de custo, estas, semelhantes as telas correspondentes, porém, englobando toda a seção.

Finalmente, é exibida uma tela com o nome do arquivo de resultados, se este foi criado.

Caso seja necessário recuperar os valores calculados, utiliza-se o procedimento descrito na página 71.

5.2 Sugestões de Implementação

A realização de um programa simplificado, por um lado facilita sua utilização mas, por outro lado, deixa a desejar em relação à falta de opções para o usuário. Assim, são listadas certas implementações úteis que poderão ser acrescentadas ao programa :

- saída gráfica dos resultados, fornecendo o desenho do pilão e da seção a ser desmontada;
- arquivo de explosivos e diâmetros de brocas, interativo com o programa, para escolhas automáticas, e que possa ser atualizado;
- arquivo de dados de rochas, para uma primeira aproximação do usuário em caso de falta de dados mais concretos;
- saída de custo reais, pela implementação de um módulo de custos bem mais completo;
- utilização direta dos ábacos de velocidade de partícula, para que toda a seção, e não apenas o contorno, tenha o dimensionamento voltado para o desmonte cuidadoso;
- opção de cálculo de plano de fogo a partir da produção por salva desejada;
- incorporação de fatores geológicos do maciço, para ajuste fino do plano de fogo, ficando esta implementação na dependência de maiores pesquisas sobre o assunto;
- produção de banco de dados para geração de relatório de custos e desempenhos semanais, mensais etc. para controle da operação e retro-análise do programa; e
- implementação de mais tipos de pilões, principalmente o tipo cilíndrico múltiplo, que será comentado no capítulo 7.

Implementação de rotina de tratamento para explosivo mais escorva, quando deve-se ponder seus parâmetros.

Durante a realização deste trabalho foi possível o contato com o programa comercial "BlastCalc 3.0" da NOKA Software Systems Inc., Canadá, através de disquete demonstrativo, fornecido por P. A. Abel Fabiani, engenheiro responsável pela seção de desmonte do DIGEO / IPT .

É um programa que calcula planos de fogo, fornece estimativas de vibração de partículas, e calcula custos completos do desmonte, além de fazer conversões de unidade do sistema métrico decimal para o sistema britânico e vice-versa. Porém, o programa foi projetado apenas para desmonte à céu aberto e não fornece maiores detalhes do método de cálculo empregado para o cálculo. Sua saída gráfica resume-se a um esquema simplificado na própria tela, com saída para impressora via "hardcopy" do DOS.

Existem outros programas de cálculo para desmonte, incluindo subterrâneo, com preços oscilando em torno de mil dólares, dos quais foi obtida muito pouca informação.

6 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Para a ilustração tanto do algoritmo apresentado neste trabalho, como do próprio processo de desmonte em galerias e túneis, foi realizada uma bateria de testes do programa com variação de parâmetros de projeto.

Assim, foram definidos como parâmetros padrão os valores do Quadro 6.1:

- largura da galeria = 4 m - altura da galeria = 4 m - altura da abóbada = 0 m
- diâmetro do furo de expansão = 102 mm - diâmetro dos furos de mina = 45 mm
- desvio angular dos furos de contorno = 3° - desvio angular de perfuração = 10 mm/m - desvio de emboque de perfuração = 20 mm
- constante da rocha = 0,4 - densidade da rocha = 1.700 kg/m^3 - velocidade de onda sísmica = 4.500 m/s
- força-peso do explosivo = 1,09 - densidade do explosivo = 1.200 kg/m^3 - velocidade de detonação = 4.000 m/s - cartuchos disponíveis : 25, 28, 32, 38, 50, 57 e 63 mm
- custo do homem-hora = 1,3 US\$ - preço por kg do explosivo = 1,5 US\$ - velocidade de perfuração = 100 m/h

Quadro 6.1 - Valores-padrão para a bateria da testes.

A partir destes valores foram realizadas três baterias distintas:

a primeira com alteração da área da galeria, para levantamento de curvas de parâmetros, com as curvas das figuras 4.8, 4.9 e 4.10;

a segunda, para levantamento da sensibilidade do método às variações do diâmetro do furo central, do diâmetro do furo de mina e da constante da rocha; e

a terceira, para verificação da variação dos resultados aos desvios, à utilização dos fatores de correção e ao uso de desmonte cuidadoso; com respeito a variação de área.

Para a primeira bateria, as áreas usadas foram calculadas como indicado no Quadro 6.2.

$4 \times 4 = 16 \text{ m}^2$
$5 \times 5 = 25 \text{ m}^2$
$8 \times 5 = 40 \text{ m}^2$
$10 \times 6 = 60 \text{ m}^2$
$10 \times 8 = 80 \text{ m}^2$
$10 \times 10 = 100 \text{ m}^2$

Quadro 6.2 - Cálculo das áreas da seção da galeria.

Para a segunda bateria, foram adotados os valores expostos no quadro 6.3, e para a terceira bateria, foram adotados os valores expostos no quadro 6.4, com variação de área como no quadro 6.2.

Valores de ϕ (mm)	
102	115
127	140
152	165
Valores de d (mm)	
28	
38	
45	
51	
76	
Valores de (c)	
0,3	0,35 0,4 0,45 0,5

Quadro 6.3 - Valores da segunda bateria de testes.

Densidade da Rocha (kg/m^3) - Velocidade Sísmica (m/s)	
2.700	5.000
2.250	2.750
Desvio de Perfuração (mm/m) - Desvio de Emboque (mm)	
0.0	0.0
5.0	10.0

Quadro 6.4 - Valores da terceira bateria de testes.

Os resultados obtidos para a primeira bateria estão na Tabela 6.1:

Tabela 6.1 - Resultados da primeira bateria de testes.

AREA (m ²)	N ^o F.	q (kg/m ²)	f(m/m ²)
16	39	2,6	2,7
25	46	1,9	2,0
40	54	1,4	1,4
60	64	1,1	1,1
80	72	0,9	0,9
100	80	0,8	0,8

Para a segunda bateria obtivemos os valores listados na tabela 6.2:

Tabela 6.2 - Resultados da segunda bateria de testes.

Valores de ϕ (mm)	Q (kg de expl.)	P (m perf.)
102	123,2	121,5
115	124,6	123,7
127	135,8	133,9
140	149,4	146,4
152	168,0	149,5
165	179,4	158,9
Valores de d (mm)		
28	135,5	174,5
38	122,4	140,2
45	123,2	121,5
51	112,9	109,1
76	190,8	93,5

Valores de c		
0,30	118,1	118,4
0,35	117,8	118,4
0,40	122,1	121,5
0,45	127,5	121,5
0,50	127,3	121,5

Os resultados da terceira bateria de testes estão listados na Tabela 6.3:

Tabela 6.3 - Resultados da terceira bateria de testes.

DENS. ROCHA (kg/m^3)	VEL. SISM. (m/s)	Q (kg)	P(m)
2.700	5.000	113,1	68,6
2.250	2.750	121,0	81,0
α (mm/m)	β (mm)		
0,0	0,0	103,0	102,8
5,0	10,0	105,0	106,0

Os resultados foram colocados em gráficos, para facilitar a visualização.

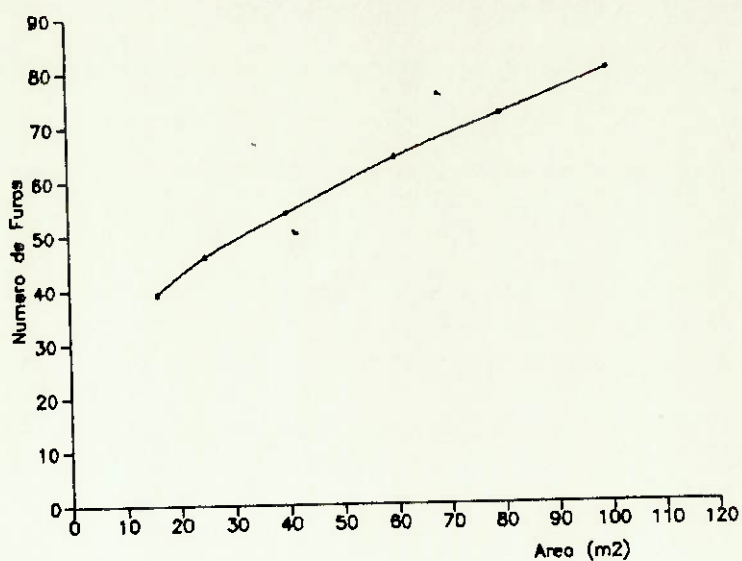


FIGURA 6.1 - Gráfico de número de furos por área da seção.

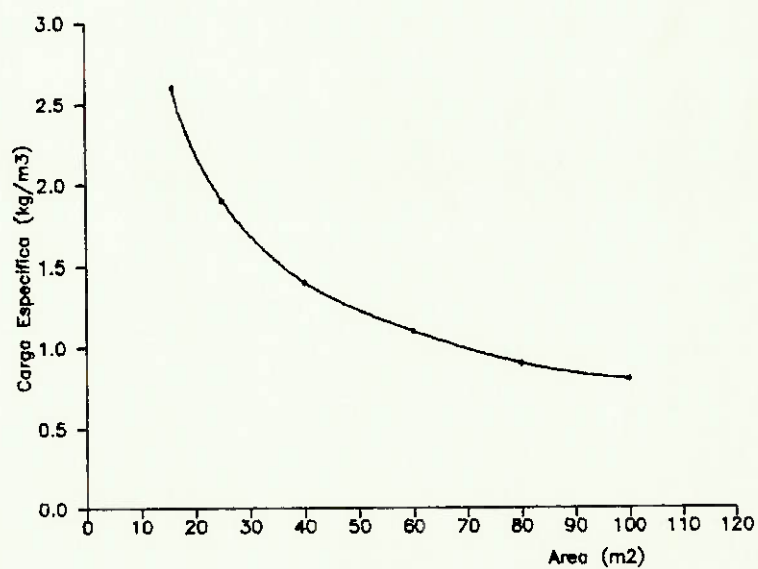


FIGURA 6.2 - Gráfico de carga específica por área da seção.

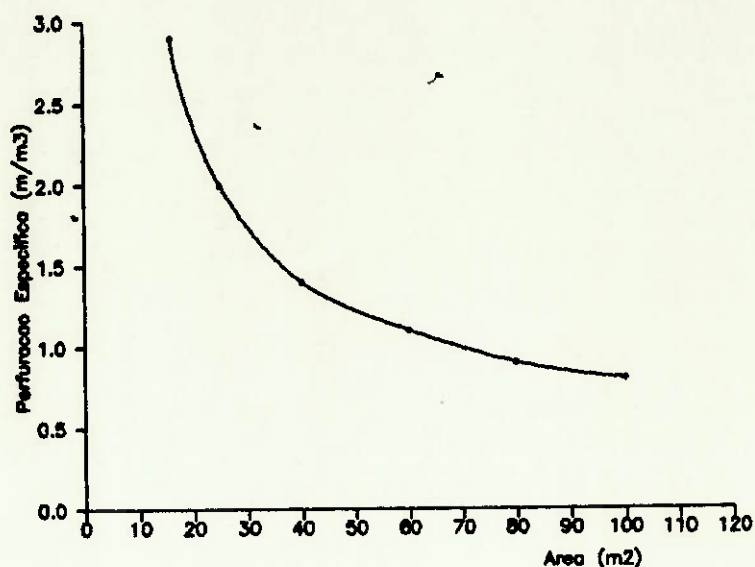


FIGURA 6.3 - Gráfico de perfuração específica por área da seção.

Dos gráficos das FIGURAS 6.1, 6.2 e 6.3, observa-se que o método fornece resultados de cálculo bastante próximos das curvas médias das FIGURAS 4.8, 4.9 e 4.10. Assim sendo, conclui-se que o método é ao menos razoável do ponto-de-vista prático, e estatisticamente correto.

Nas FIGURAS 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8 e 6.9, estão representados os resultados obtidos com a segunda bateria de testes. Escolheu-se o uso de dois parâmetros: a carga de explosivo total da seção e a perfuração total, visto que a área da seção permanece igual.

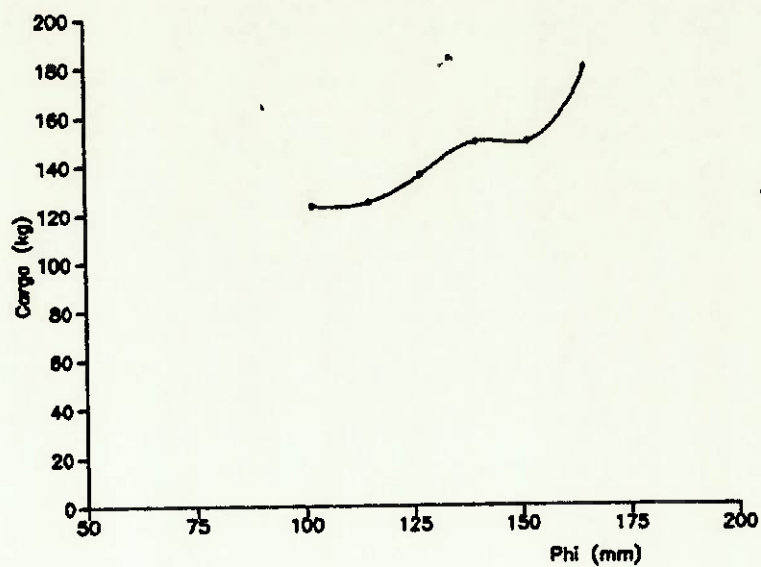


FIGURA 6.4 - Carga pelo diâmetro do furo central.

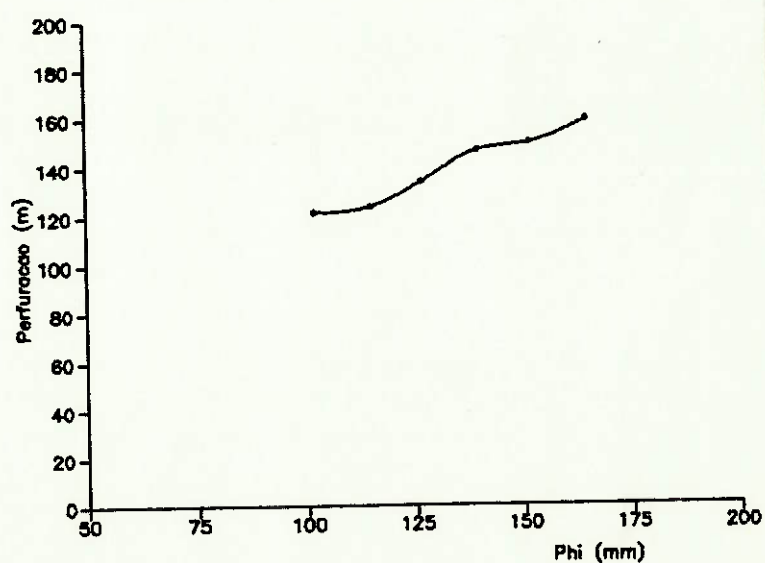


FIGURA 6.5 - Perfuração pelo diâmetro do furo central.

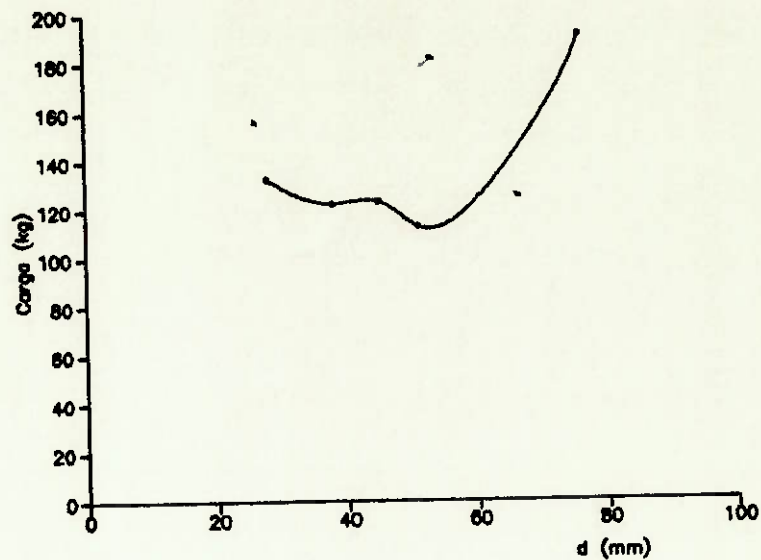


FIGURA 6.6 - Carga pelo diâmetro dos furos de mina.

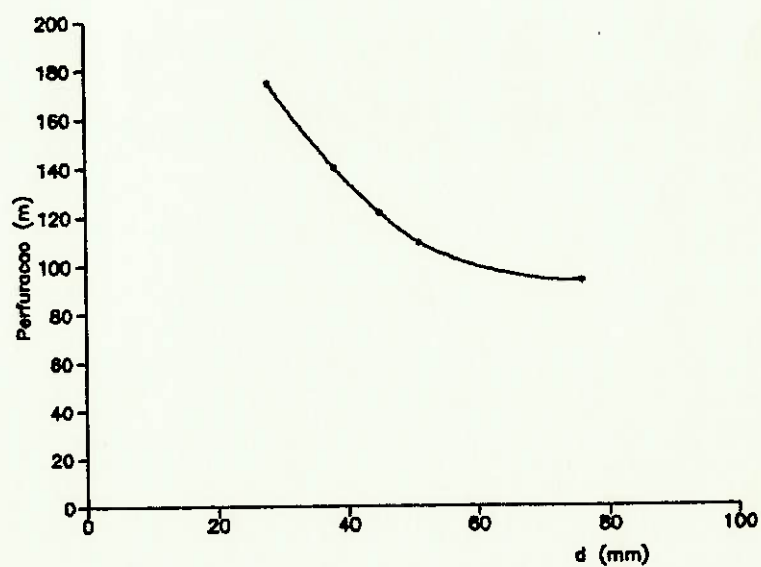


FIGURA 6.7 - Perfuração pelo diâmetro dos furos de mina.

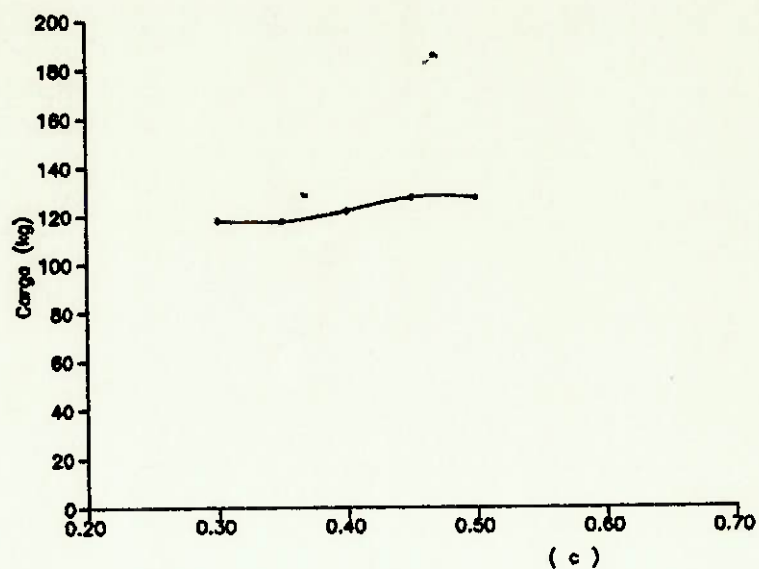


FIGURA 6.8 - Carga total pela constante da rocha.

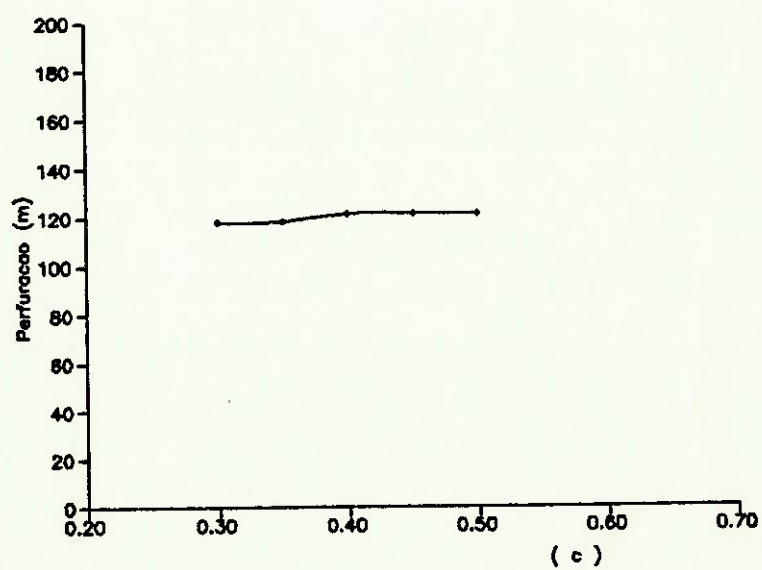


FIGURA 6.9 - Perfuração total pela constante da rocha.

Dos resultados obtidos, na segunda bateria de testes, pode-se tirar as seguintes conclusões:

- para uma mesma área, o aumento do diâmetro do furo central implicou em aumento dos parâmetros de controle, portanto menor eficiência geral. Talvez isto esteja ocorrendo para a seção empregada, de apenas 16 m² de área, porém é nesta pequena seção, justamente, que apareceriam problemas com relação ao pilão, logo, ao furo central;

- com respeito à variação de diâmetro do furo de mina, que corresponde a um fator mais genérico, isto é, não tão amarrado ao pilão, observa-se que, aumentando seu diâmetro, os parâmetros de controle diminuem, assim, ocorre melhora do rendimento geral. Uma observação curiosa é que no gráfico da FIGURA 6.6, ouve um "salto" quando o diâmetro atingiu 76 mm. Isto foi reverificado e não condiz com o comportamento do gráfico da FIGURA 6.7, que está coerente. Uma explicação seria que, a partir de determinado diâmetro, o algoritmo de cálculo utilizado estaria fora de seu domínio de atuação; e

- nos gráficos das FIGURAS 6.8 e 6.9, que tratam da sensibilidade da constante da rocha, observa-se que o método não é sensível a grandes variações de (c), uma vez que o intervalo de 0,3 até 5,0 é praticamente todo o domínio de (c). Nota-se também, que o valor 0,4, o valor padrão do programa, representa a média de desempenho que (c) assume no intervalo.

A terceira bateria de testes gerou resultados mais qualitativos. Pôde-se observar que as variações tanto de carga de explosivo como de perfuração oscilaram em torno de 10% não estando relacionadas entre si no tocante à tendência de variação.

O teste de desvios mostra a importância de se minimizar estes fatores, embora, no intervalo trabalhado pelo programa, a oscilação decorida da mudança destes fatores não foi significativa.

7 ESTUDO DE CASOS

Para se verificar a utilidade de uma metodologia de cálculo, é necessário testá-la na prática. Portanto este capítulo traz dois exemplos reais sobre os quais o programa desenvolvido foi testado.

O primeiro exemplo é o plano de fogo da abóbada de túnel da usina hidrelétrica de Miranda, da CEMIG, e o segundo é um lote de três planos de fogo de galerias de desenvolvimento da Mina do Baltar, da Votorantim S.A..

7.1 Túnel da Usina Hidrelétrica de Miranda

O esquema de desmonte consiste na metade superior de um túnel, de desho circular nesta região, com 10,0 m de diâmetro, utilizando pilão de quatro seções. O comprimento de perfuração é de 2,40 m e o avanço esperado é de 2,20 m (92%). O diâmetro do furo vazio é 76 mm e o diâmetro dos furos de mina é 38 mm. A razão de carga é de 1,20 kg de explosivo por m³ de rocha desmontada. A área da seção é de 49,3 m².

O explosivo utilizado é o Gelatel ou Belgex, em bananas de 28 mm por 200 mm (181 g).

É utilizada a técnica do pré-corte no contorno, com carga de fundo especial (Carbel 40 mais cordel NPA 40). Os dados gerais estão na Tabela 7.1 e o esquema de desmonte em tamanho reduzido está no ANEXO E.

O relatório de plano de fogo obtido com o programa está no ANEXO G.

Tabela 7.1 - Dados gerais do esquema de desmonte do túnel de Miranda.

FURO	QUANT.	EXPL.	EXPL. /FURO (kg)	TOTAL EXPL. (kg)
levante	12	BELGEX 75	2.17	26,01
lateral	41	BELGEX 60	1.45	59,37
superior	8	BELGEX 75	1.45	11,58
pilão	8	BELGEX 75	2.17	17,38
contorno	35	CARBEL 40	0,43	15,05

Os resultados obtidos estão em ótima concordância. Isto porque:

O desenho do plano de fogo é francamente simétrico, talvez para facilitar a execussão. Assim não há porque comparar os resultados geométricos de afastamento e espaçamento com valores que foram encontrados no prática, para facilidade operacional em detrimento de outros aspectos. Mesmo assim, nas regiões de contorno, onde sempre deve-se ter mais cuidado, obteve-se espaçamentos idênticos, dentro da precisão de cálculo, de 80 cm no levante e 53 cm no contorno.

O número de furos, de 104 do original, reduziram-se 89, porém, a razão de carga volumétrica foi a mesma: $1,2 \text{ kg/m}^3$ de rocha desmontada.

A concentração total de carga também foi reduzida de 130 kg para 125 kg de explosivo. O avanço esperado melhorou em 10 cm.

Com relação ao pilão, os valores diferenciaram-se pois o programa não comporta o término das seções do pilão enquanto este não tenha área maior ou igual a 1 m^2 , o que implica muitas vezes em um pilão superdimensionado.

7.2 Mina do Baltar

Através do Departamento de Engenharia de Minas da EPUSP, foi realizado contato com o Sr. Alacir Noronha Moreira, Gerente de Mineração, que permitiu a visita técnica à Mina do Baltar, localizada no município de Votorantom, no dia 17 de novembro de 1992.

O objetivo da visita foi a coleta de dados e informações sobre os planos de fogo praticados nas galerias de desenvolvimento da mina.

Toda a visita foi conduzida pelo Sr. Antonio de Paula Veiga, Encarregado da Mina, que atenciosamente forneceu todas as informações necessárias e respondeu às dúvidas que surgiram durante a visita.

A situação dos esquemas de fogo na época da visita era de estudo e readaptação, sendo feitas várias experiências dirigidas pelo Sr. A. P. Veiga, para se tentar obter melhores rendimentos, com economia de explosivo e material acessório.

Os planos de fogo empregados estão no ANEXO F. Tanto eles, quanto os dados gerais fornecidos não são considerados definitivos, devido ao processo de estudo. É uma situação de análise interessante, pois da utilização do programa, pode-se dizer que ele está sendo utilizado como que para análise de plano de fogo pré-existente e para projetar um novo plano de fogo.

Com relação aos pilões utilizado, são pilões cilíndricos com furo central de 102 mm e furos de mina de 45 mm. Podem ser considerados múltiplos, pois utilizam de dois a quatro furos de expansão, dependendo do material que atravessam e da área da seção em quesação. Esta construção parece promover melhor abertura do pilão (este se alarga em um ou dois passos apenas) e maior economia de explosivo. Na literatura encontra-se algo semelhante, com dois furos de expansão bem próximos entre si, com o desenvolvimento do

pilão como um de quatro seções normal. As vantagens deste tipo de pilão devem ser estudadas com relação à economia efetiva obtida, já que exigem mais furação de maior diâmetro.

Os desvios de perfuração são controlados indiretamente por constante treinamento e reciclagem de pessoal, visando minimizar este problema. O material desmontado varia entre calcáreo, dolomita e calcáreo silicatado, com densidade muito variável.

No momento não estava sendo utilizado desmonte cuidadoso, embora as condições do teto, em inspeção visual, eram excelentes. Também não estava sendo utilizado tampões nos furos de mina, considerando-se que na fase de experiências, não ofereciam resultados significativos.

O comprimento perfurado é de 3,60 m, com avanço esperado de 3,30 m, (92%), sendo que estava aumentando o rendimento do desmonte pelo ajuste do plano de fogo. Em alguns pontos, em inspeção, observou-se que o avanço atingira praticamente os 100%.

Os retardos tinham sido modificados de 50 ms para maiores, de 100 ms trazendo melhores resultados. Considera-se como grandes responsáveis pelos melhores rendimentos obtidos nas salvas, a precisão de perfuração e o uso de acessórios mais confiáveis.

Os explosivos utilizados são o granulado EXPLON IV, com densidade de 500 kg/m^3 , 3,6 MJ/kg, produção de gás de $0,96 \text{ m}^3/\text{kg}$ e velocidade de detonação de 2.800 m/s (US\$ 1,0008/kg); e o cartucho BELMEX 650, (38x609 mm) com densidade de 1.100 kg/m^3 , 3,53 MJ/kg, produção de gás de $0,95 \text{ m}^3/\text{kg}$ e velocidade de detonação de 3.300 m/s (US\$ 2,08/kg)

O custo de perfuração total da mina é de 0,365 US\$/ ton. e o custo de desmonte é de 0,216 US\$/ ton, sendo que este valor engloba também a perfuração em leque, predominante na mina.

O custo do homem-hora é de US\$ 1,30; o tempo para carregar

62x3,60 m é de 1 hora. As velocidades de perfuração são 60 m/h para jumbo pneumático e 100 m/h com jumbo hidráulico.

Nos furos de mina de 45 mm são usados 4 cartuchos de BELMEX mais escorva de EXPLON. Como experiência, estão sendo utilizados alguns furos de 64 mm, carregados com 1 cartucho de BELMEX e 4 de granulado EXPLON, mais barato.

Por fim, qualitativamente, sabe-se o rendimento da operação se altera bastante com a direção em que se penetra no maciço, a ponto de ser necessária a adoção de um novo tipo de plano de fogo, indicando que o fator geológico é mais significativo do que se costuma acreditar.

O programa foi rodado sobre a maior seção se desmonte (6,5x6,5 m) para se tentar minimizar a diferença de pilões. Os resultados obtidos com o programa mostram que:

- A abertura do pilão ocorre com uma espera no centro, seguida de um passo com os furos posicionados na mesma linha dos furos de expansão. Isto equivale a se fazer 5 primeiros passos no quatro seções convensional. Isto facilita o uso de mesmo cartucho para esta tarefa, criando uma consideravel face livre, que ampliada por mais dois ou três cargas, já configura a abertura total do pilão.

Os resultados obtidos com o programa indicam um superdimensionamento de cargas. Isto não ocorre na prática, visto a enorme estabilidade das paredes. A explicação para isto é que o programa não trata convenientemente a junção escorva mais explosivo, que tende a minimizar a carga utilizada. Esta é inclusive a prática que estava sendo estuda na época da visita, mesmo que de modo empírico. Mesmo assim, o programa obteve resultados satisfatórios.

Como curiosidade, o pilão que seria escolhido para esta seção de galeria seria o pilão em dupla espiral, pois apresentou o melhor avanço, com os outros parâmetros equivalentes ou menores

aos dos outros pilões. O pilão de pior desempenho foi o Taby, pois, com o menor avanço também esteve com seus parâmetros equivalentes aos demais, portanto com mal desempenho.

B. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentada uma metodologia de cálculo para desmonte de galerias e túneis à seção plena, englobando:

- Uso de pilões cilíndricos, cujas vantagens foram comentadas no decorrer do trabalho.

- Desmonte cuidadoso do contorno e controle de vibrações nas paredes da escavação.

- Uso de fatores de correção da energia do explosivo em função da razão de acoplamento de impedância explosivo-rocha e da razão de defasagem dos diâmetros explosivo-perfuração.

Ficam, desta forma, cobertas as técnicas mais utilizadas na atualidade, com a obtenção tanto de um projeto confiável, quanto a checagem de planos de fogo já existentes.

Adicionalmente, foi implementada uma análise expedita de custo, sem grande valor prático mas servindo como parâmetro de definição das melhores opções de projeto de plano de fogo.

Do emprego da metodologia desenvolvida, pode-se afirmar que:

Testes do programa demonstram bom enquadramento aos resultados internacionalmente reconhecidos expressos nas curvas de parâmetros: número de furos, razão específica de carregamento e razão específica de perfuração; versus área da seção de desmonte.

A aplicação do programa a casos reais demonstra a segurança no emprego do método e o fornecimento de resultados muito satisfatórios.

Há que se destacar a dificuldade na realização deste trabalho em virtude da lamentável lacuna de publicações básicas recentes, em língua portuguesa ou mesmo em língua estrangeira, versando sobre o assunto. Por conseguinte foi necessário um esforço para a

compilação das técnicas de desmonte mais usuais, tentando expô-las da maneira mais clara e concisa possível.

Agradecimentos :

ao Prof. Dr. Lineu Azuaga Ayres da Silva, orientador deste trabalho;

ao Dr. Evandro Moraes da Gamma, pelo incentivo e auxílio prestados durante o desenvolvimento do trabalho;

ao Geol. Nestor Kenji Yoshikawa, pela críticas construtivas e ótimas indicações bibliográficas;

ao Eng. Lúcio Flávio Coelho, pelo imenso auxílio prestado no entendimento da linguagem C;

ao Eng. P. A. Abel Fabiani, pela revisão técnica do texto e pelo auxílio no contato com programas comerciais de desmonte;

à Prof^a Débora Fiuza F. Orsi, pela revisão geral do texto;

ao Eng. Eduardo César Sansone, pelo grande auxílio prestado durante a realização deste trabalho e em especial pela ajuda na confecção dos ábacos de velocidade de vibração de partícula;

ao amigo Manoel Araujo Batista, pelo empréstimo do "hardware", sem o qual este trabalho não poderia ser concluído;

à BRITANITE S. A. na pessoa do eng. Ivar de Miranda Kohlman;

à VOTORANTIM, Indústrias S.A. nas pessoas do Sr. Alacir Noronha Moreira e do Sr. Antonio de Paula Veiga, pela visita técnica à Mina do Baltar, realizada em 17 de nov. de 1992;

à todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

Bibliografia :

- CINTRA, B. H. Condições geológicas. Curitiba: Britanite, 1989. /Apostila/
- _____. Fenômenos prejudiciais ao desmonte. Curitiba: Britanite, 1990. /Apostila/
- CUMMINS, A.B. Minning engineering handbbook. New York: AIME, 1973. 2v.
- HENPHILL, G.B. Blasting operation. New York: McGraw-Hill Book, 1981.
- HOLMERG, R. Charge calculations for tunneling. In: HUSTRULID, W.A. (Ed) Underground mining methods handbook; blasting. New York: Society of Mining Engineers. AIME, 1982. Chap. 1, p. 1580-1589.
- INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPANA. Manual de perforacion ..y voladura de rocas. Madrid: 1987. (Serie Geotecnia).
- KAWAMURA, J. L.; WIEGERICK, O.; SILVA, L. A. A. Determinação de um método racional para cálculo de plano de fogo em abertura de galerias e túneis. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTIFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA 6., São Carlos, 1997. Anais CICTE-87. São Carlos: CETEPE, 1987. p. 206.
- LANGFORS, U., KIHLLTRÖM, B. Técnica moderna de voladura de rocas. Bilbao: Ediciones Urno, 1973.
- REDAELLI, L. L. Escavação e desmonte de rochas. São Paulo: 1974. /Notas do curso de pós-graduação sobre escavação de rocha/
- _____. Novo método para o dimensionamento do desmonte de rocha com explosivo. Solos e Rocha, v. 10, n. 2, p. 23-26, ago. 1987.

HOPLER R. B. The hercudet nonelectric delay blasting cap system, new development in field usage. In: 1980 CONFERENCE ON EXPLOSIVES AND BLASTING TECHNIQUE, Tampa: Society of Explosive Engineers, 1992.

ATLAS COPCO. Guide book of underground equipment 1986/1987. Estocolmo, s.d.

HANDBOOK of underground drilling. Tampere: Tamrock, 1993. 307 p.

SCHILD, H. C avançado : guia do usuário. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1989.

WIENER, R. S. Linguagem C : guia do usuário. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1986.

_____. Turbo C, passo a passo. Rio de Janeiro: Ed. Campus, 1991.

ANEXO A

Regressões de Avanço de Pilão

As equações [3.19], [3.29], [3.32] e [3.48] foram obtidas a partir de regressão da de dados da tabela A.1, que fornece a profundidade de perfuração H estatisticamente levantada, como função do diâmetro do furo central ϕ e do tipo de pilão empregado, para um avanço relativo de 95% no fogo, e considerando-se desvios de perfuração máximo de 2%.

diâmetro (mm)	2x57*	75	83	2x69*	100	2x75*	110	125	150	200
Dupla Espiral	3.1	3.0	3.3	3.8	3.8	4.1	4.1	4.5	5.1	6.3
Quatro Seções	2.6	2.5	2.7	3.2	3.2	3.4	3.8	3.8	4.4	5.4
Três Seções	2.5	2.4	2.6	3.0	3.0	3.2	3.6	3.6	4.2	5.1
Täby	2.2	2.1	2.3	2.6	2.6	2.8	3.1	3.1	3.6	4.5

Tabela A.1 - H como função do pilão e de ϕ .

* Dois furos secantes de diâmetro d, cujo diâmetro equivalente de

$$\phi \text{ é } (2 \times d) / \sqrt{2}$$

ou 2x57 $\Rightarrow$ 80,6 mm

2x69 $\Rightarrow$ 97,6 mm

2x75 $\Rightarrow$ 106,0 mm

Os gráficos das FIGURAS A.1, A.2, A.3, e A.4 mostram o comportamento das curvas, em relação aos pontos experimentais.

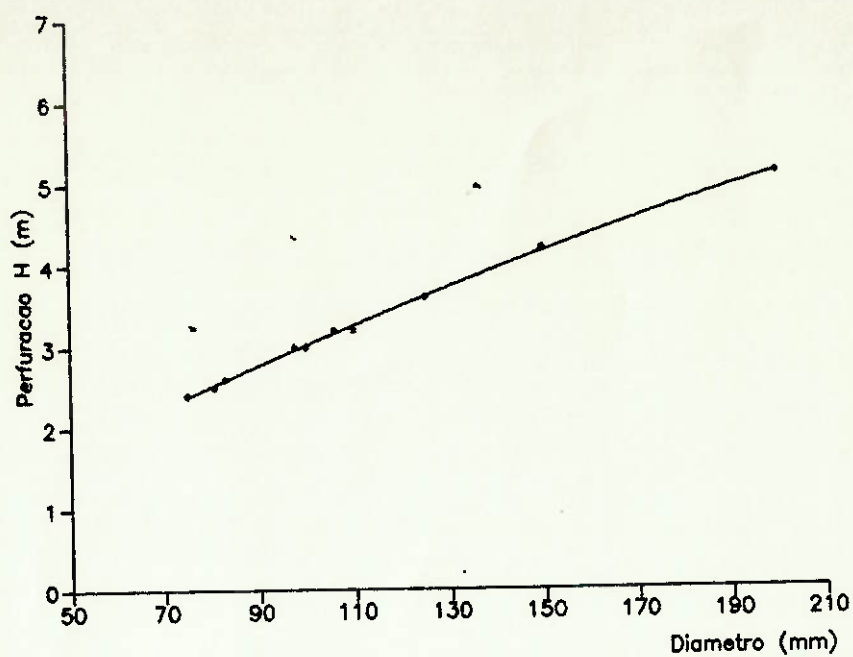


FIGURA A.1 - Pilão de três seções.

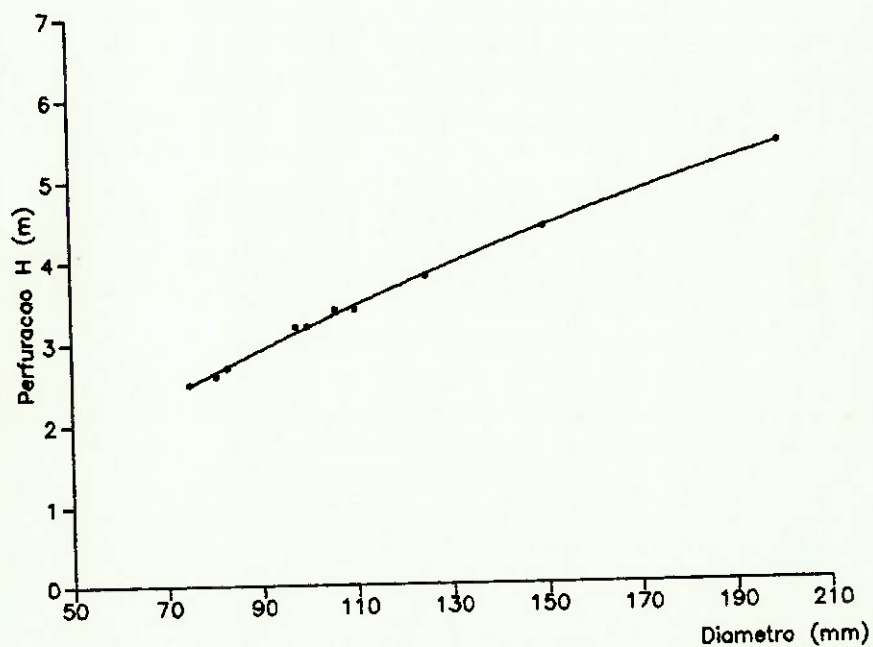


FIGURA A.2 - Pilão de quatro seções.

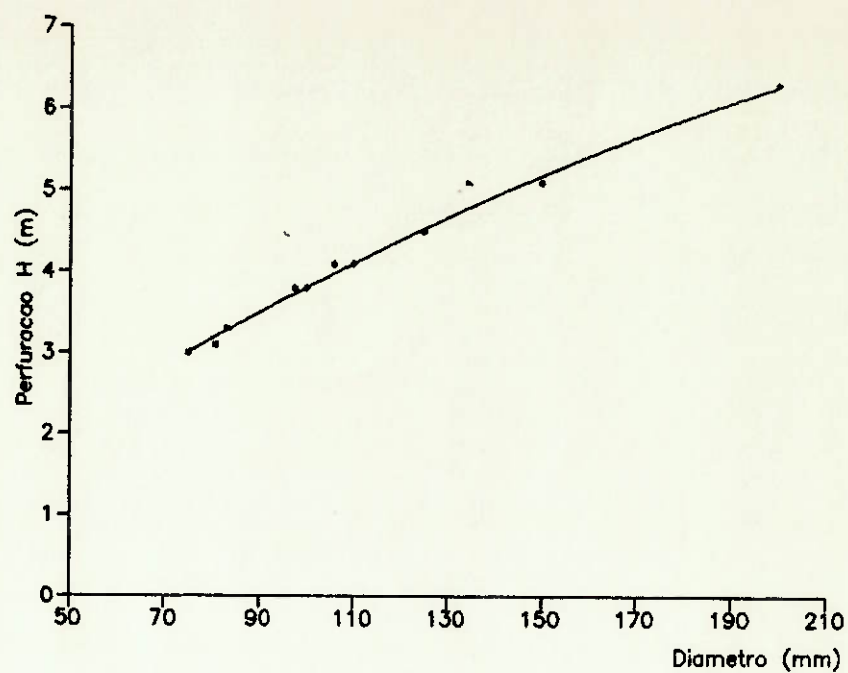


FIGURA A.3 - Pilão em dupla espiral.

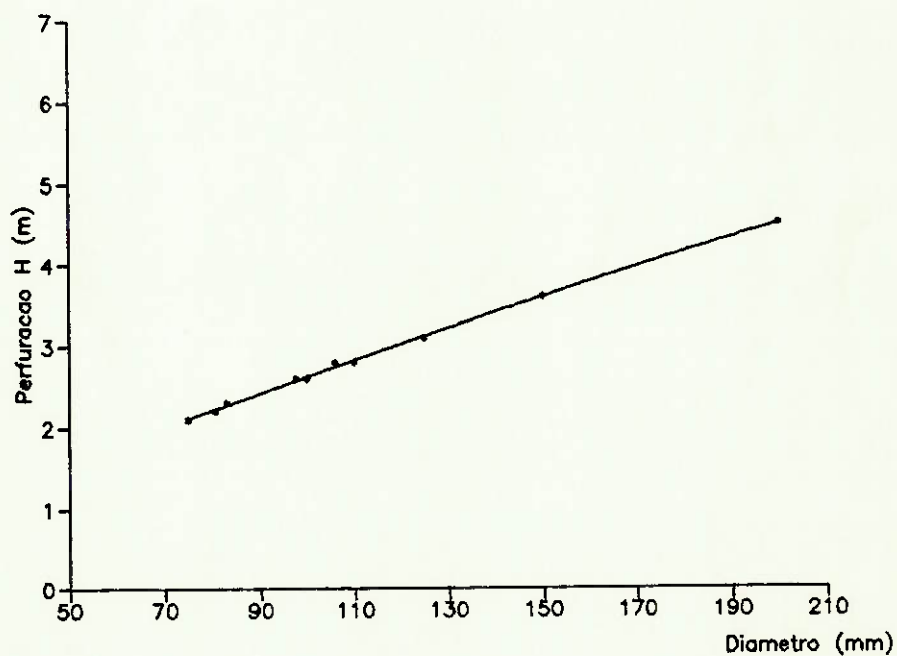


FIGURA A.4 - Pilão Täby.

ANEXO B

Ábacos de Velocidade de Partícula

Os ábacos seguintes fornecem a velocidade de partícula gerada

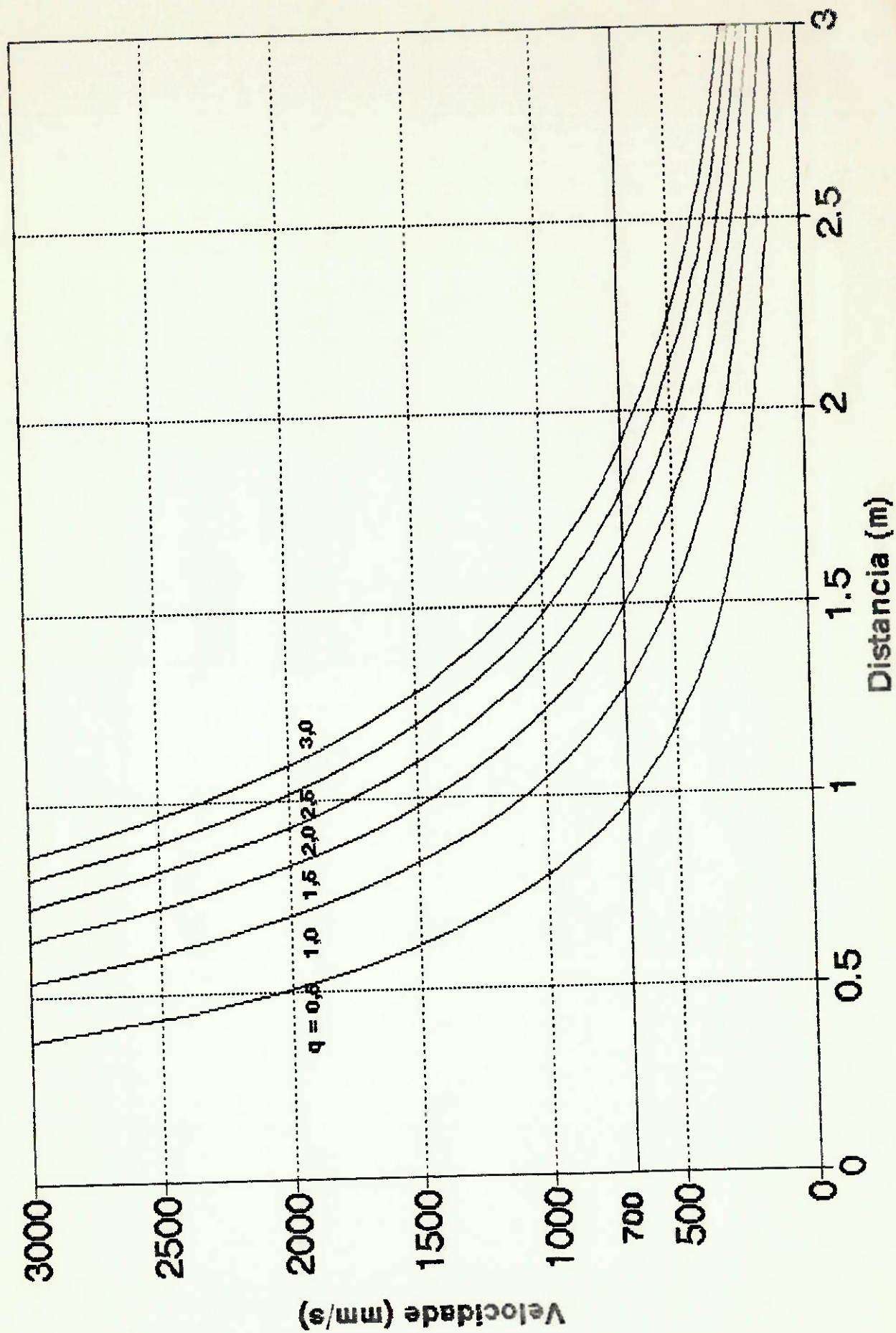
por uma carga de explosivo (q) em kg/m, para seus vários comprimentos, com a distância carga-partícula dada medida no plano normal a linha da carga e que a intercepta em seu ponto central.

Para se obter um valor intermediário, basta interpolar os valores.

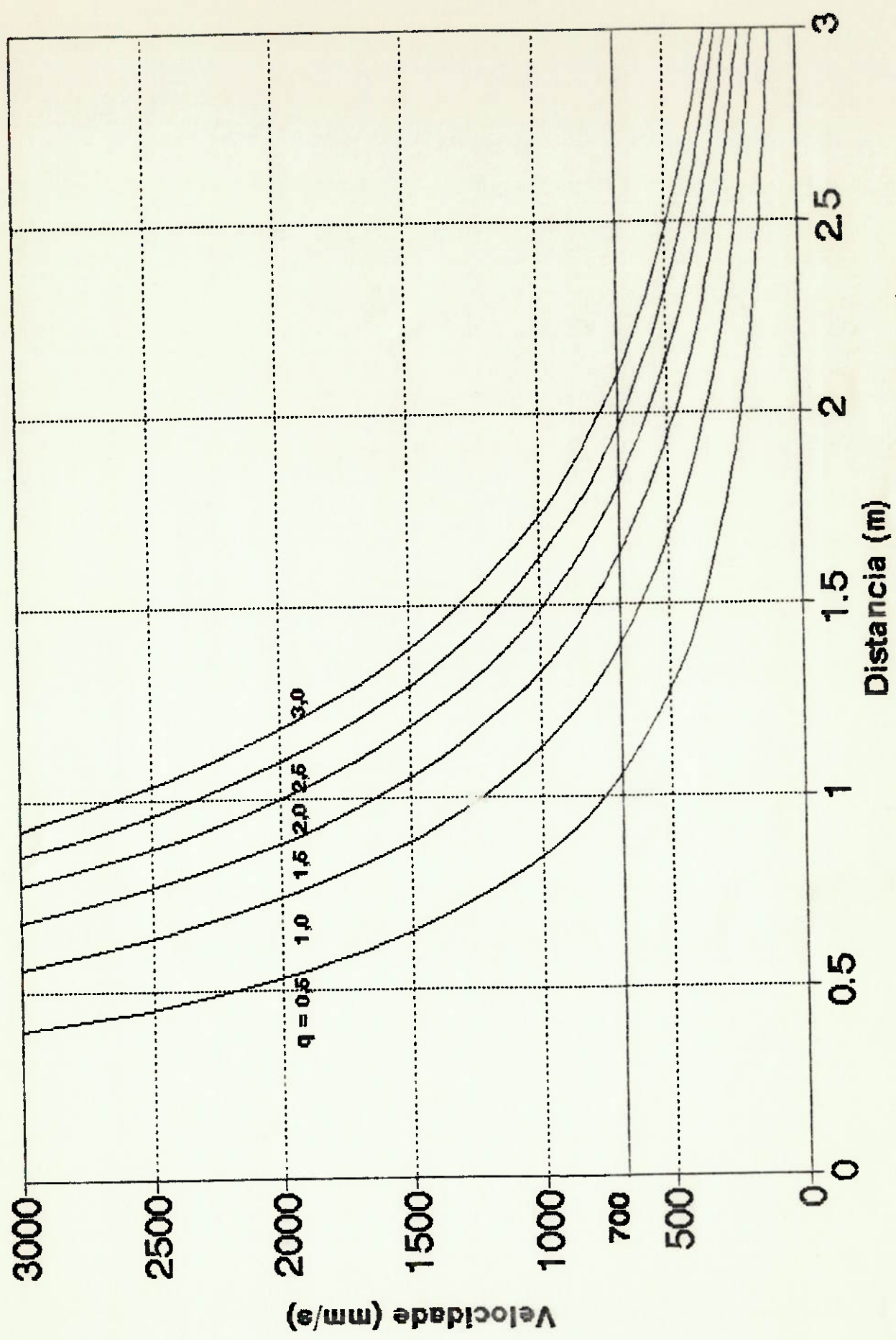
Quando a velocidade de partícula atinge um valor entre 700 e 1.000 mm/s, são induzidas trincas em um maciço rochoso, necessitando-se a diminuição da carga de explosivo ou aumento da distância carga-partícula.

Assim, com estes ábacos pode-se verificar estas situações de risco.

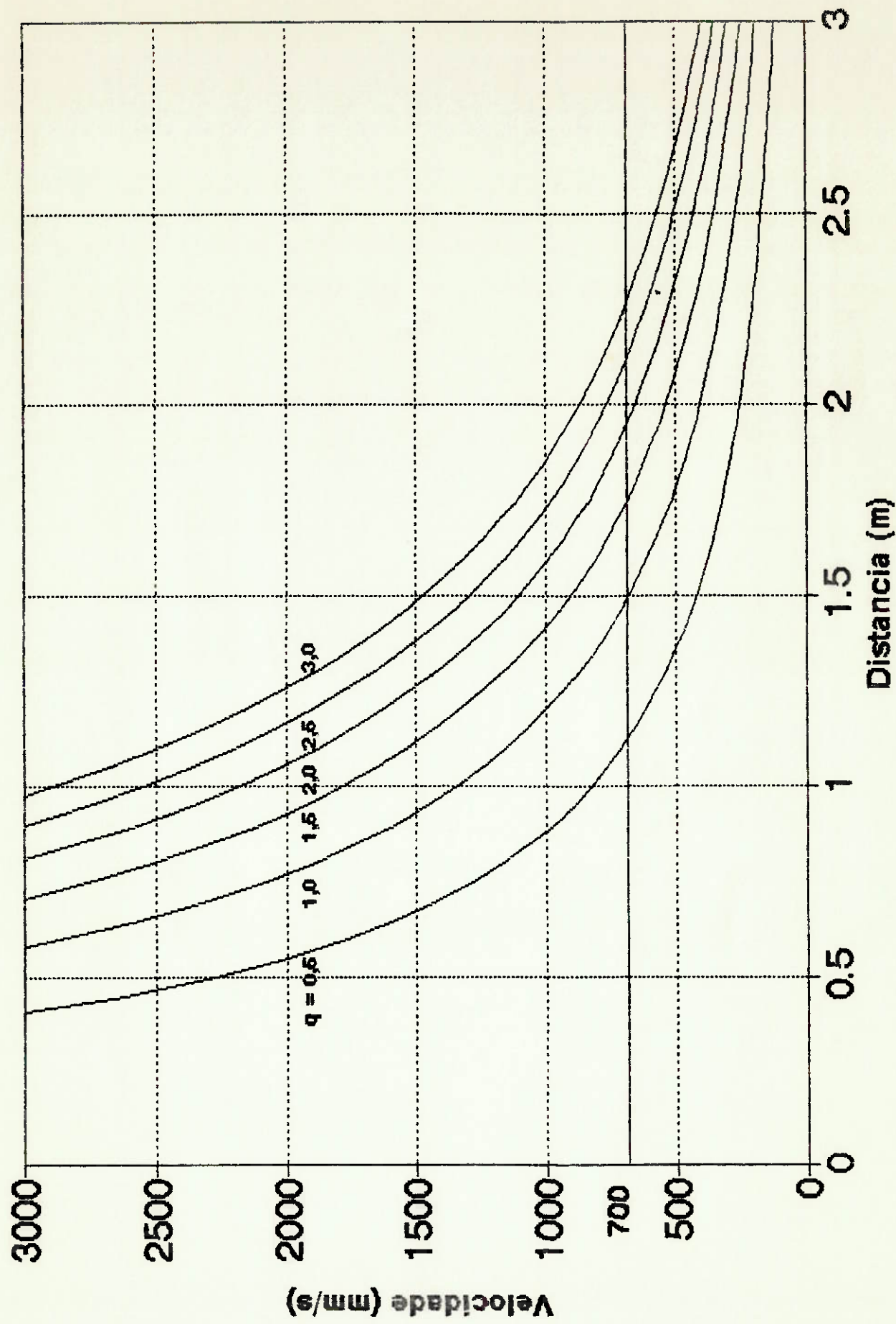
Comprimento da Carga = 2,0 m



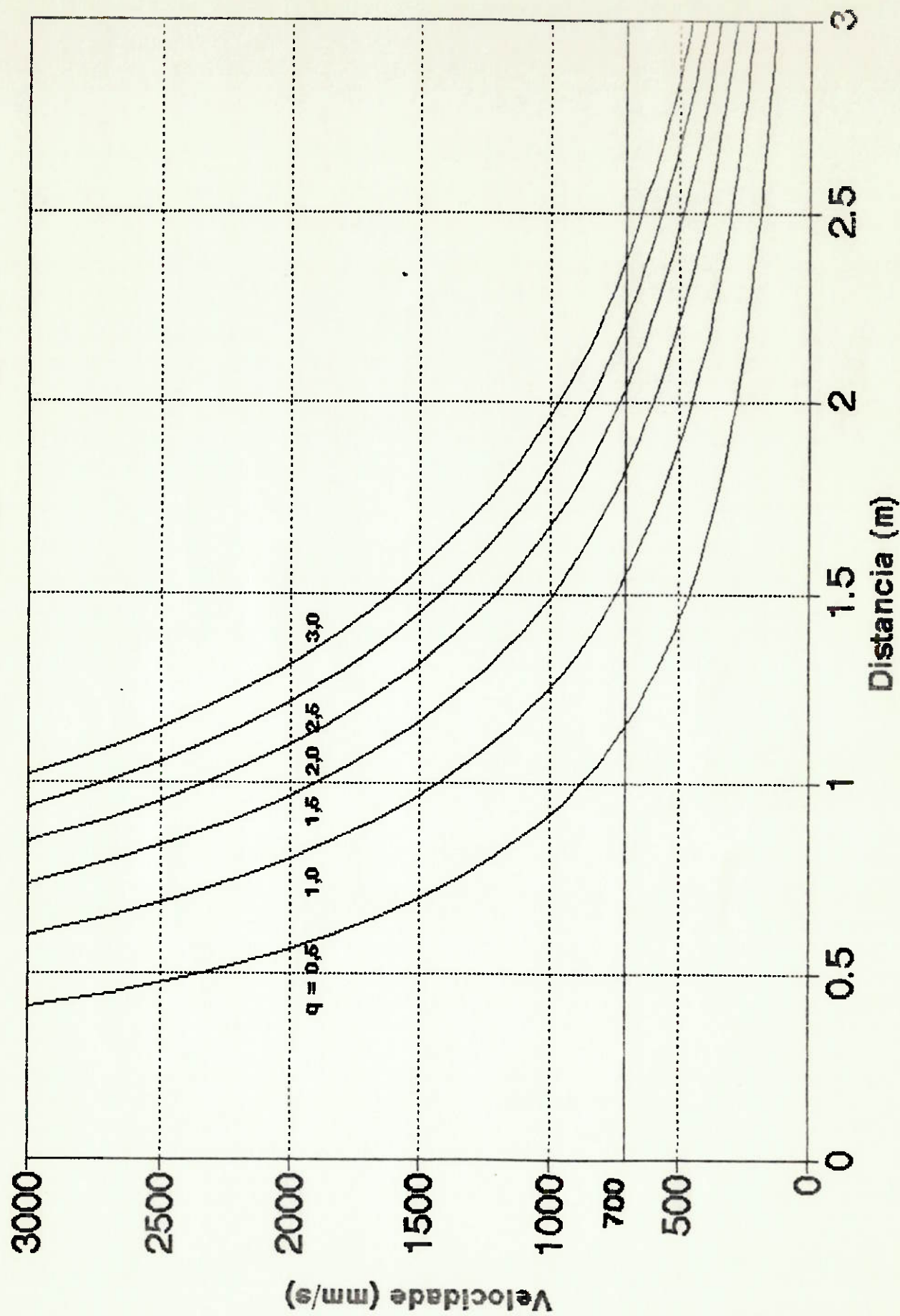
Comprimento da Carga = 2,5 m



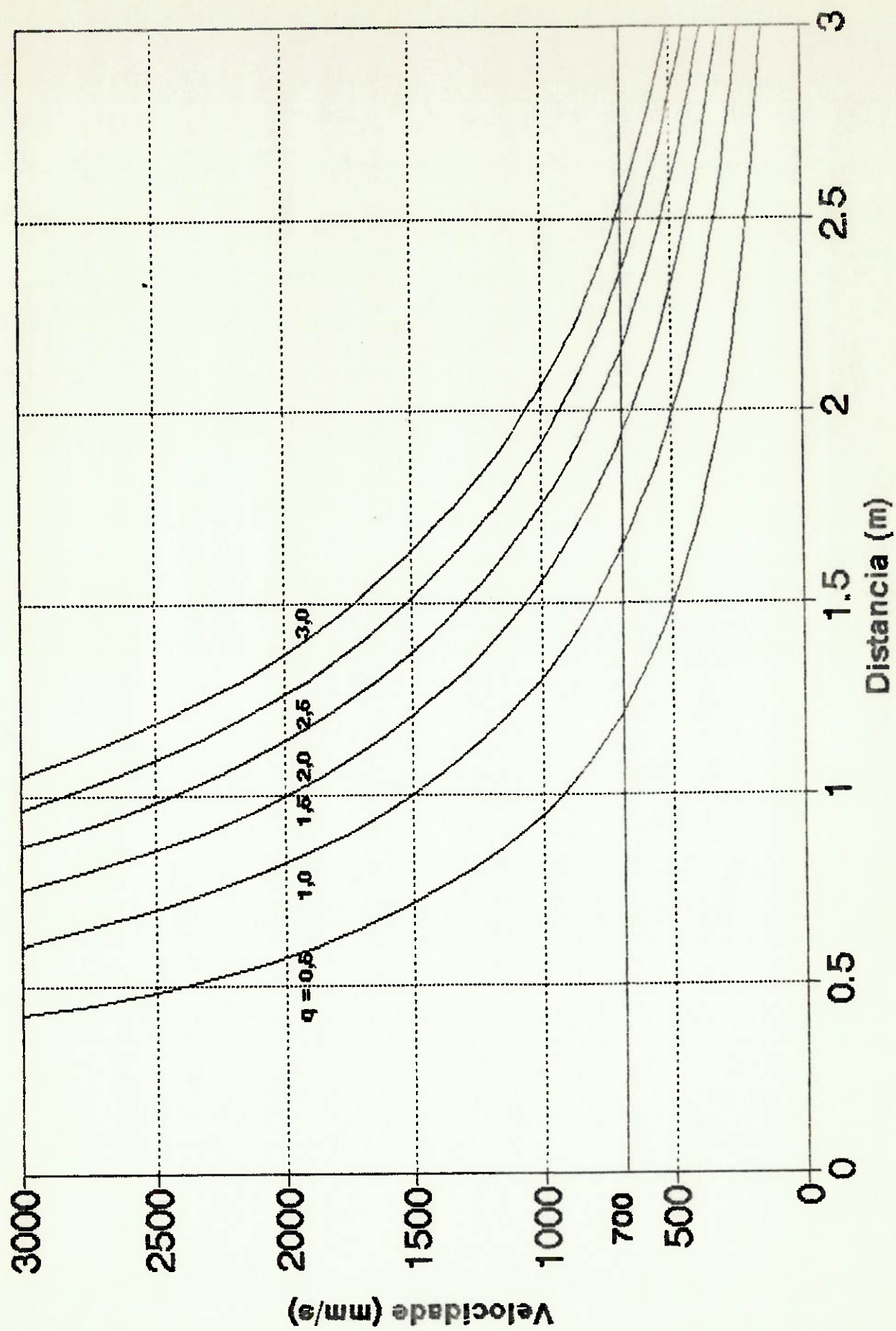
Comprimento da Carga = 3,0 m



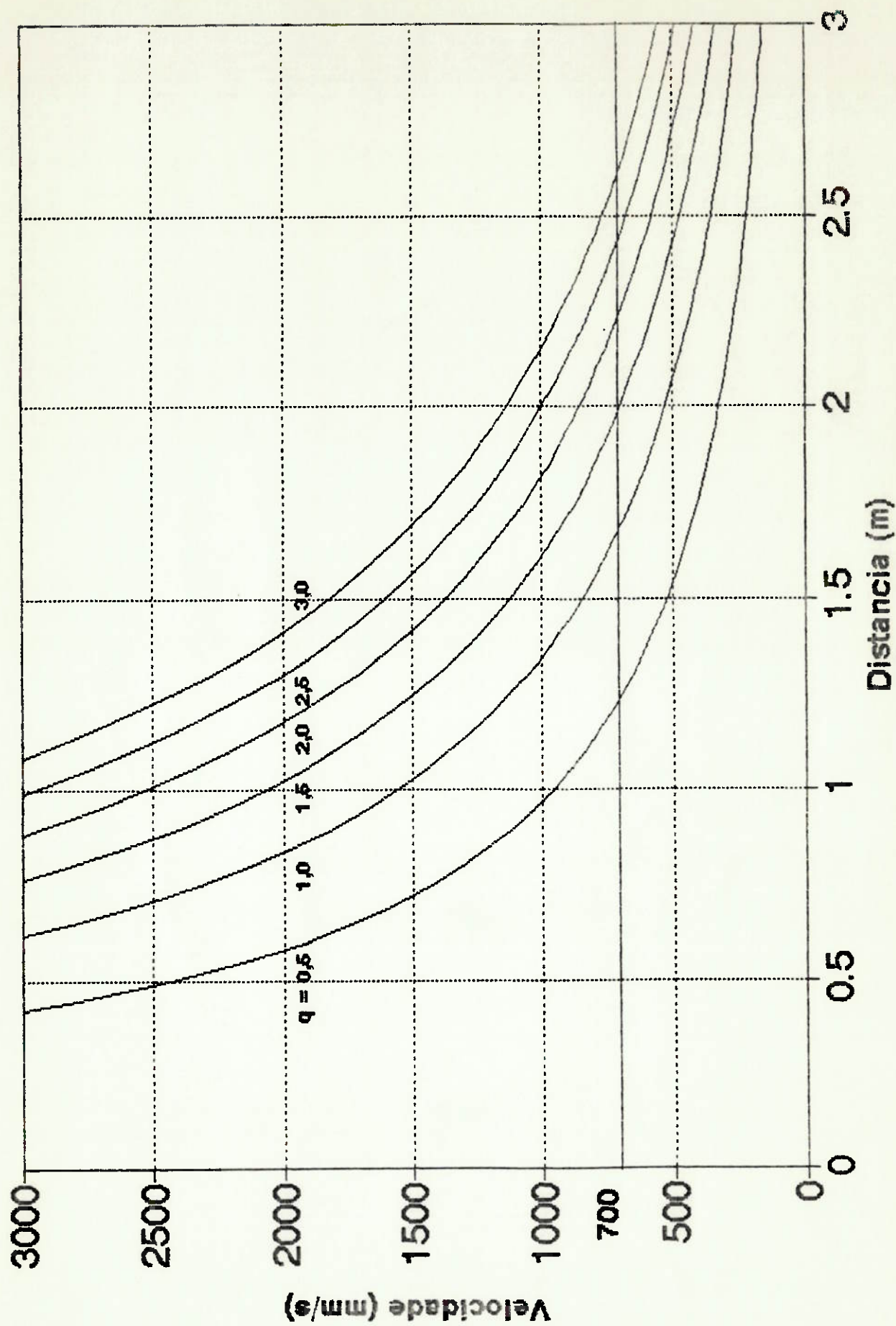
Comprimento da Carga = 3,5 m



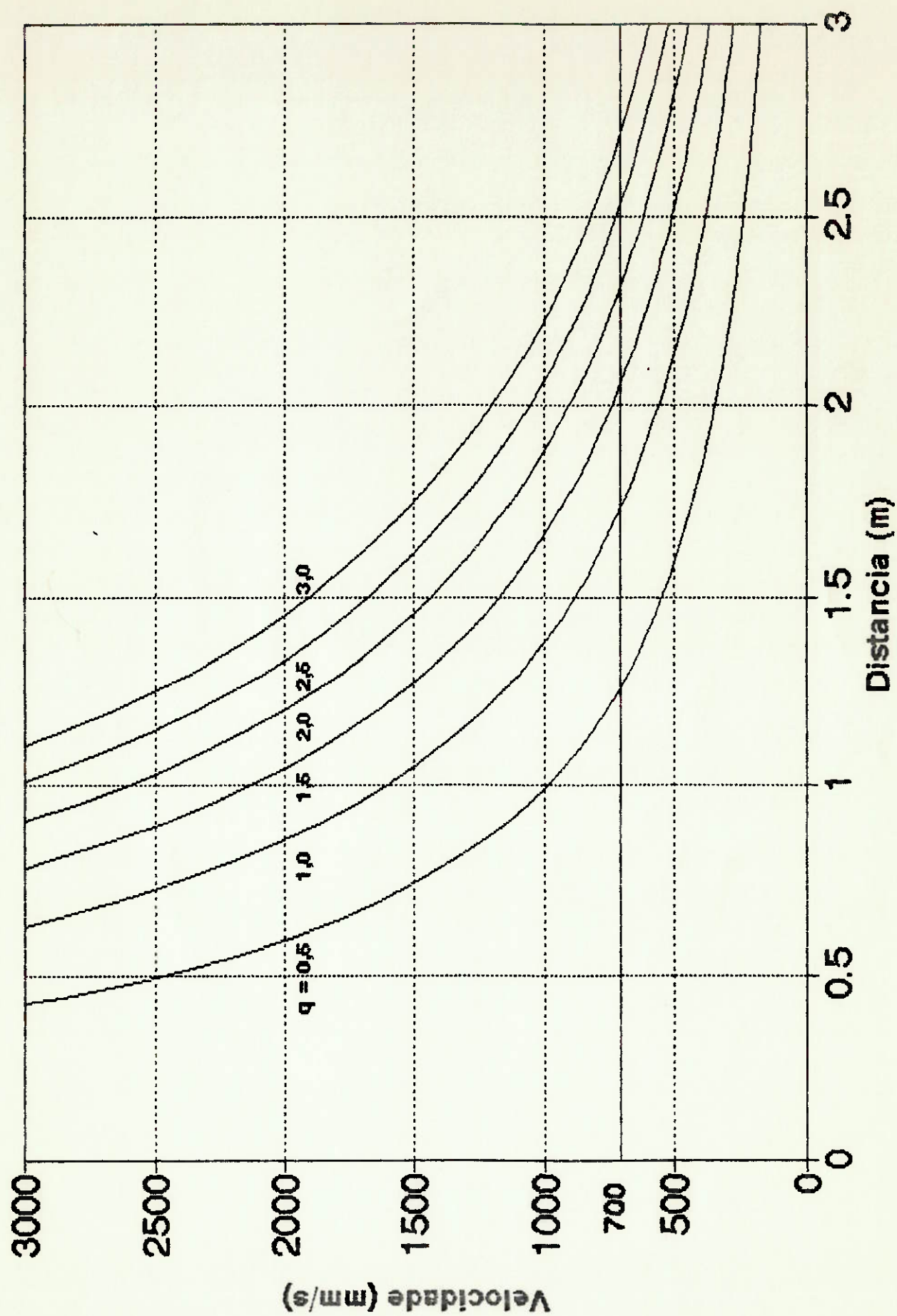
Comprimento da Carga = 4,0 m



Comprimento da Carga = 4,5 m



Comprimento da Carga = 5,0 m



ANEXO C

**Tabela de Valores Médios de Densidade e
Velocidade de Onda Sísmica**

Caso se queira utilizar os rendimentos de transferência, será necessário fornecer ao programa os valores de densidade da rocha e velocidade de onda sísmica na rocha.

Assim, os valores da tabela C.1 podem ser utilizados como primeira aproximação dos cálculos, quando não se tem estes dados à disposição.

ROCHA	DENSIDADE (kg/m ³)	VEL. SÍSMICA (m/s)
Granitos	2.700	5.000
Sienitos	2.600	4.200
Gabros	2.600	4.200
Pórfiros	2.800	5.200
Basaltos	2.900	5.400
Diabásios	3.100	5.000
Arenitos	2.250	2.750
Quartzitos	2.650	4.500
Calcários	2.600	4.000
Dolomitos	2.650	4.000
Salgemas	2.200	3.500
Gnaisses	2.700	5.000
Serpentinitos	2.650	4.200
Xistos	2.600	3.100

Tabela C.1 - valores de densidade e vel. sísmica das rochas.

ANEXO D

Listagem Completa do Programa

"VOLADOR versão 1.0"

/*

 Programa para Calculo de Planos de Fogo em Abertura
 de Galerias e Tuneis v. 1.0 (11-11-92)

*/

```
#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <math.h>
#include <ctype.h>
#include <string.h>
#include "m.h"
```

```
#define num_dados 16      /* no. de dados de entrada          */
#define num_enc 8         /* no. max. de encargos do pilao     */
#define cart_max 10       /* no. max. de diametros de cartuchos */
#define q(x) ((x)*(x))    /*                                     */
#define pi 3.14159        /*                                     */
#define eul 2.71828       /* -- constantes                      */
#define rad2 1.41421      /* -----                            */
#define rad3 1.73205      /*                                     */
#define Pilao_1 1         /* Pilao de Tres Secoes               */
#define Pilao_2 2         /* Pilao de Quatro Secoes             */
#define Pilao_3 3         /* Pilao em Dupla Espiral             */
#define Pilao_4 4         /* Pila Taby                          */
#define err_desvio 1       /* desvio de perf. excessivo          */
#define err_inad_1 2       /* explosivos inadequados p/ 1# afast. */
#define err_inad_n 3       /* explosivos inadequados p/ n# afast. */
#define err_inad_alarg 4   /* explosivos inad. para o alargamento */
#define err_inad_cont 5    /* expl. inad. para o contorno cuidadoso */
#define mesmo_cart 1       /* opcao de manter o mesmo cartucho   */
#define muda_cart 2        /* mudar os cartuchos nos passos do pilao */
```

DECLARACAO DE FUNCOES :

```
apresentacao ( void );
entrada_de_dados ( void );
correcao_de_dados ( float x[num_dados] );
correcao_de_custos ( float x[num_dados] );
correcao_de_cartuchos ( void );
float vmaxf ( float x , float y );
float N1_N2f ( float x );
float l_furo_vazio ( void );
float l_outros_furos ( int x , int y );
float vlf ( float x );
calculo_do_3secoes ( void );
calculo_do_4secoes ( void );
calculo_do_dupla_espiral ( void );
calculo_do_taby ( void );
float areaf ( int x , int y );
alargamentof ( float y , float z );
float calculo_cartucho ( float x , int y );
float afastamento_do_alargamentof ( float x , float y , int z );
```

*/

```

advertenciaf (int x, int y );
cabecariof ( void );
saida_de_resultadosf (int w, int x, int y, float z );
parametros_economf ( float w, float x, float y, int z );
resultadof ( void );
continuacaof ( void );
finalf ( void );

/* DADOS DE ENTRADA :

char cEmpr[40],          /* nome da empresa
   *cNome_ark;           /* nome do arquivo de dados
int iTeste;              /* numero do teste

Dados Geometricos:

float fLar_tun,          /* largura do tunel
   fAlt_tun,             /* altura do tunel
   fFlec_ab,             /* flecha (altura) da abobada
   fPhi,                 /* diametro do furo central
   fD,                   /* diametro dos furos de mina
   fAng_fur_cont,        /* desvia ang. dos furos de contorno
   fDesv_ang,            /* desvio ang. de perfuracao
   fDesv_emb,            /* desvio de emboque de perfuracao

Dados Geotecnicos:

fC,                      /* constante da rocha
fDens_rocha,             /* densidade da rocha (!) (@)
fVel_sism,               /* velocidade de onda sismica na rocha (!)

Dados de Explosivo:

fSanfo,                  /* forca-peso do expl. relativa ao anfo(&)*
fEnerg_expl,             /* energia do explosivo (&)*
fGas_expl,               /* gas produzido pelo exposivo (&)*
fDens_expl,              /* densidade do explosivo
fVel_expl,               /* veloc. de detonacao do explosivo (!)*
fD_explo[cart_max];      /* diametros de cartucho

int iNum_cart;           /* no. de diametros de explosivo

Dados de Custo:

float fPreco_explo,       /* preco por Kg do explosivo
   fHomem_hora,           /* custo do homem/hora medio
   fVel_perf;             /* velocidade de perfuracao do equip.

char cCorrecao,          /* verif. uso dos fatores de rendimento
   cUnico,                /* verif. uso de unico tipo de cartucho
   cZorgo,                /* verif. uso de desmonte cuidadoso

```

```

        cCusto;                /* verif. calculo de custos */

int    iAdv = 0;                /* verif. inadequacao de dados

(&) -> Du e' fornecido o Sadio ou sao fornecidos dados do explosivo
(!) -> Valores necessarios para os fatores de correcao
(e) -> Valor necessario para calculo de custo

    VALORES CALCULADOS :

float  fF,                      /* desvio de perfuracao em (m) */
        fT,                      /* comprimento do tampao */
        fH,                      /* profundidade de perfuracao */
        fI,                      /* avanço da secao */
        fN3,                    /* rendimento de fraturamento */
        fL_explo[cart_max],     /* razao de carga linear do cartucho */

        fVmax[num_enc],         /* encargo maximo do furo de mina */
        fVcorr[num_enc],        /* encargo corrigido */
        fBmax[num_enc],         /* espacamento maximo do furo */
        fBcorr[num_enc],        /* espacamento corrigido */
        fCoord_x[num_enc],      /* coordenadas x dos furos do Taby */
        fCoord_y[num_enc],      /* coordenadas y dos furos do Taby */
        fL[num_enc],            /* razao de carr. linear do furo */

        fL_alarga,              /* razao de carr.lin. no alargamento */
        fL_cont,                /* razao. de carr.lin. no contorno */
        fV[4],                  /* afastamentos no alargamento */
        fE[4],                  /* espacamentos no alargamento */
        fN[4];                  /* numero de furos no alargamento */

FILE   *ark;                    /* fluxo para arquivo de resultados */

main ( void )                   /*   FUNCAO PRINCIPAL   */
{
    int i,

        iOpcao;

    char n[10];

    clrscr ();
    my_rect (1,1,79,25,2);
    window (2,2,78,24);
    textcolor(15);
    textbackground(0);

    apresentacao ();

    iOpcao = entrada_de_dadosf();

    strcat ( cNome_ark, ".VOL",4 );

    ark = fopen ( cNome_ark , "w" );

```

```

labecariof ();

switch ( iOpcao )
{
    case 1 :

        calculo_do_3secoesf();
        break;

    case 2 :

        calculo_do_4secoesf();
        break;

    case 3 :

        calculo_do_dupla_espiralf();
        break;

    case 4 :

        calculo_do_tabyf();
        break;

    case 5 :

        calculo_do_3secoesf();
        iAdv = 0;

        calculo_do_4secoesf();
        iAdv = 0;

        calculo_do_dupla_espiralf();
        iAdv = 0;

        calculo_do_tabyf();
        iAdv = 0;

        break;

}

finalf ();

fclose ( ark );

return 0;

}
/*----- */

apresentacaof ()
{
    char *L1, *L2, *L3, *L4, *L5, *L6, *L7, *L8, *L9, *L10, *L11, *L12;

```

```

L1 = " Este programa dimensiona quatro tipos de piloes
cilindricos e as";
L2 = "outras regioes da secao a ser desmontada, calculando
valores de";
L3 = "espracamento, afastamento e quantidade de explosivo de cada
furo de mina.";
L4 = "alem de varios outros parametros necessarios a caracterizacao
e escolha";
L5 = "do melhor esquema de desmonte.";

L6 = " Deve-se fornecer os dados de entrada nas unidades indicadas e
escolher";
L7 = "as opcoes convenientes que vao sendo apresentadas na tela.
Caso seja";
L8 = "indicado valor padrao, basta teclar <ENTER> para que o
programa receba";
L9 = "este valor.";

L10 = " Para maiores informacoes, consultar ' Desenvolvimentos
no Projeto e";
L11 = "Analise de Desmonte de Galerias e Tuneis por Explosivo ',
cujo presente";
L12 = "programa e' parte integrante.";

```

```

clrscr ();
my_rect (19,5,58,18,2);
gotoxy (35,8);
cprintf ("VOLADOR");
gotoxy (34,9);
cprintf ("-----"); /* OK */
gotoxy (32,11);
cprintf ("Versao 1.0");
gotoxy (33,13);
cprintf ("* 1992 *");
gotoxy (30,15);
cprintf ("Luiz C. Rusilo");
gotoxy (77,23);
cprintf ("");
delay (1500);

flushall ();
clrscr ();
gotoxy (8,2);
cprintf ("PROGRAMA PARA O CALCULO DE PLANOS DE FOGO EM GALERIAS E
TUNEIS");
gotoxy (8,3);
cprintf ("-----
-----");

gotoxy (3,6); cprintf (L1);
gotoxy (3,7); cprintf (L2);
gotoxy (3,8); cprintf (L3);
gotoxy (3,9); cprintf (L4);
gotoxy (3,10); cprintf (L5);
gotoxy (3,12); cprintf (L6);

```

```

gotoxy (3,13): cprintf (L7);
gotoxy (3,14): cprintf (L8);
gotoxy (3,15): cprintf (L9);
gotoxy (3,17): cprintf (L10);
gotoxy (3,18): cprintf (L11);
gotoxy (3,19): cprintf (L12);

```

```

continuaçao ();

```

```

return 0;

```

```

}

```

```

/* ----- */

```

```

entrada_de_dados () /* entrada e selecao de dados */

```

```

{

```

```

    float fL[ num_dados ];

```

```

    char n[10];

```

```

    int i, iOpcao;

```

```

    flushall ();

```

```

    clrscr ();

```

```

    gotoxy (5,1);

```

```

    cprintf("DADOS GERAIS :");

```

```

    gotoxy (3,3);

```

```

    cprintf ("FORNECA O NOME DA EMPRESA : ");

```

```

    gets( cEmpr );

```

```

    flushall ();

```

```

    gotoxy (3,5);

```

```

    cprintf ("FORNECA O NUMERO DO TESTE : ");

```

```

    scanf("%d", &iTeste );

```

```

    flushall ();

```

```

    gotoxy (3,7);

```

```

    cprintf ("* FORNECA O NOME DO ARQUIVO DE DADOS ( max. 8 letras

```

```

) ==> ");

```

```

    gets( cNome_ark );

```

```

    gotoxy (3,9);

```

```

    cprintf ("ESCOLHA A OPCAO [Padrao = 5] :");

```

```

    gotoxy (4,11);

```

```

    cprintf ("1 - Filao de Tres Secoes");

```

```

    gotoxy (4,12);

```

```

    cprintf ("2 - Filao de Quatro Secoes");

```

```

    gotoxy (4,13);

```

```

    cprintf ("3 - Filao em Dupla Espiral");

```

```

    gotoxy (4,14);

```

```

cprintf ("4 - Filao Tabo");

gotoxy (4,15);
cprintf ("5 - Todos os Filoes");

flushall ();
gotoxy (34,9);
gets(n);
if (n[0] == '\x0')
    iOpcao = 5;
else
    iOpcao = ((int) atof(n));

flushall ();
gotoxy (3,18);
cprintf ("* DESEJA ANALISE DE CUSTO ? ( S / N )    [Padrao =
NAO] ==> ");
gets(n);
if (toupper(n[0]) == 'S')
    cCusto = 'S';
else
    cCusto = 'N';

flushall ();
gotoxy (3,20);
cprintf ("Desmonte Cuidadoso do Contorno ?");
gotoxy (3,21);
cprintf ("( S / N )    [Padrao = NAO] ==> ");
gets(n);
if (toupper(n[0]) == 'S')
    cZorgo = 'S';
else
    cZorgo = 'N';

flushall ();
clrscr ();
gotoxy (5,1);
cprintf("DADOS DO PROBLEMA :");

gotoxy (2,3);
cprintf("* Dados Geometricos:");

gotoxy (3,6);
cprintf("Largura da Galeria (m) ==> ");
scanf("%f",&fL [ 0 ]);

gotoxy (3,8);
cprintf("Altura da Galeria (m) ==> ");
scanf("%f",&fL [ 1 ]);

flushall ();
gotoxy (3,10);
cprintf("Altura da Abobada (m)    [Padrao = 0] ==> ");
gets(n);

```

```

    if (n[0] == '\x0')
        fL[5] = 3.0;
    else
        fL[2] = ((float) atof(n));

gotoxy (3,12);
cprintf("Diametro do Furo Central (mm) ==> ");
scanf("%f",&fL [ 3 ]);

gotoxy (3,14);
cprintf("Diametro dos Furos de Mina (mm) ==> ");
scanf("%f",&fL [ 4 ]);

flushall();
gotoxy (3,16);
cprintf("Angulo dos Furos de Contorno (graus) [Padrao = 3] ==> ");
gets(n);
if (n[0] == '\x0')
    fL[5] = 3.0;
else
    fL[5] = ((float) atof(n));

flushall();
gotoxy (3,18);
cprintf("Desvio Angular (mm/m) [Padrao = 10] ==> ");
gets(n);
if (n[0] == '\x0')
    fL[6] = 10.0;
else
    fL[6] = ((float) atof(n));

flushall();
gotoxy (3,20);
cprintf("Desvio de Emboque (mm) [Padrao = 20] ==> ");
gets(n);
if (n[0] == '\x0')
    fL[7] = 20.0;
else
    fL[7] = ((float) atof(n));

clrscr ();
gotoxy (2,1);
cprintf("%* Dados do Explosivo:");

flushall();
gotoxy (3,3);
cprintf("%* Deseja utilizar fatores de correcao para o");
gotoxy (3,4);
cprintf("calcula da razao de carregamento de explosivo ? ( S / N )");
gotoxy (3,5);
cprintf("[Padrao = NAO] ==> ");
gets(n);
if (toupper(n[0]) == 'S')
    cCorrecao = 'S';

```

else

cCorrecao = 'N';

flushall();

gotoxy (3,7);

cprintf("% Forneca a (F)orca-peso do explosivo em relacao ao");

gotoxy (3,8);

cprintf("ANFO ou forneca (P)arametros de energia e producao");

gotoxy (3,9);

cprintf("de gas do explosivo nas CNTF : (F / P) ?");

gotoxy (3,10);

cprintf("[Padrao = F] ==> ");

gets(n);

if (toupper(n[0]) == '\x0')

n[0] = 'F';

flushall();

if (toupper(n[0]) == 'F')

{

flushall();

gotoxy (3,12);

cprintf("Forca-Peso do Explosivo em Relacao ao ANFO ==> ");

scanf("%f",&fL [8]);

fL [9] = 0.0;

fL [10] = 0.0;

}

if (toupper(n[0]) == 'P')

{

gotoxy (3,12);

cprintf("Energia do Explosivo (MJ/Kg) ==> ");

scanf("%f",&fL [9]);

gotoxy (3,14);

cprintf("Producao de Gas do Explosivo (m3/Kg) ==> ");

scanf("%f",&fL [10]);

fL [8] = 0.0;

}

flushall();

if (toupper(n[0]) == 'P')

gotoxy (3,16);

else

gotoxy (3,14);

cprintf("Densidade do Explosivo (Kg/m3) ==> ");

scanf("%f",&fL [11]);

if (cCorrecao == 'S')

{

if (toupper(n[0]) == 'P')

gotoxy (3,18);

else

gotoxy (3,16);

cprintf("Velocidade de Detonacao do Explosivo (m/s) ==> ");

```

        scanf("%f",&fL [ 12 ]):
    }
    else
        fL [ 12 ] = 0.0;

clrscr ();
gotoxy (2,1);
cprintf("* Dados do Explosivo:");

flushall ();
gotoxy (3,3);
cprintf("Deseja Utilizar um Unico Tipo de Cartucho no Desmonte" );
gotoxy (3,4);
cprintf("do Pilao ? ( S / N )    [Padrao = NAO] ==> ");
    gets(n);
    if (toupper(n[0]) == 'S')
        cUnico = 'S';
    else
        cUnico = 'N';

flushall ();
gotoxy (3,6);
cprintf("Numero de Tipos Disponiveis de Cartuchos ==> ");
    scanf("%d",&iNum_cart);

gotoxy (3,8);
cprintf("Diametros dos Cartuchos :");
gotoxy (3,9);
cprintf("* Em Ordem Crescente ! *");

for (i=0;i < iNum_cart; i++)
{
    gotoxy (3,i+11);
    cprintf("Diametro do %d# Cartucho (mm) ==> ",i+1);
    scanf("%f",&fD_explo[i]);
}

clrscr ();
gotoxy (2,1);
cprintf("* Dados Geotecnicos:");

flushall ();
gotoxy (3,3);
cprintf("Constante da Rocha [Padrao = 0.4] ==> ");
    gets(n);
    if (n[0] == '\x0')
        fL[13] = .4;
    else
        fL[13] = (float) atof(n);

flushall ();
if ( cCorrecao == 'S' )
{
    gotoxy (3,5);

```

```

    cprintf("Densidade da Rocha (Kg/m3) ==> ");
    scanf("%f",&fL [ 14 ]);

    gotoxy (3,7);
    cprintf("Velocidade de Onda Sismica na Rocha (m/s) ==> ");
    scanf("%f",&fL [ 15 ]);
}
else
{
    fL [ 14 ] = 0.0;
    fL [ 15 ] = 0.0;
}

flushall ();

if ( cCusto == 'S' )
{
    clrscr ();
    gotoxy (2,1);
    cprintf(" * Dados de Custo :");

    gotoxy (3,3);
    cprintf ("Preco por Quilo do Explosivo (unid. monetaria) ==> ");
    scanf("%f", &fPreco_explo );

    gotoxy (3,5);
    cprintf ("Custo do Homem/Hora (unid. monetaria) ==> ");
    scanf("%f", &fHomem_hora );

    gotoxy (3,7);
    cprintf ("Velocidade de Perfuracao da Maquina (m/h) ==> ");
    scanf("%f", &fVel_perf );

    if ( cCorrecao == 'N' )
    {
        gotoxy (3,9);
        cprintf("Densidade da Rocha (Kg/m3) ==> ");
        scanf("%f",&fL [ 14 ]);
    }

}

correcao_de_dadosf(&fL[0]);

return iOpcao;
}
/* ----- */

correcao_de_dadosf(float fL[num_dados])
/* correcao virtual de dados */
{
    char cSim, n[10];

    int iModif, i;

```

```

float fLados;

do
{
    clrscr();
    gotoxy (2,1);
    cprintf("1 - Largura da Galeria (m) -----> %.2f",
fL[0]);

    gotoxy (2,2);
    cprintf("2 - Altura do Galeria (m) -----> %.2f",
fL[1]);

    gotoxy (2,3);
    cprintf("3 - Altura da Abobada (m) -----> %.2f",
fL[2]);

    gotoxy (2,4);
    cprintf("4 - Diametro do Furo Central (mm) -----> %.0f",
fL[3]);

    gotoxy (2,5);
    cprintf("5 - Diametro dos Furos de Mina (mm) -----> %.0f",
fL[4]);

    gotoxy (2,6);
    cprintf("6 - Angulo dos Furos de Contorno (graus) -----> %.0f",
fL[5]);

    gotoxy (2,7);
    cprintf("7 - Desvio Angular (mm/m) -----> %.0f",
fL[6]);

    gotoxy (2,8);
    cprintf("8 - Desvio de Emboque (mm) -----> %.0f",
fL[7]);

    if ( fL[8] == 0.0 )
    {
        gotoxy (2,9);
        cprintf("9 - Forca-Peso do Explosivo ----->
ITENS 10 E 11");

        gotoxy (2,10);
        cprintf("10 - Energia do Explosivo (MJ/Kg) ----->
%.2f",fL[9]);

        gotoxy (2,11);
        cprintf("11 - Producao de Gas do Explosivo (m3/Kg) ----->
%.2f", fL[10]);
    }
    else
    {

```

```

        gotoxy (2,9);
        cprintf("9 - Forca-Peso do Explosivo ----->
%.2f", fL[8]);

        gotoxy (2,10);
        cprintf("10 - Energia do Explosivo (MJ/Kg) ----->
ITEM 9");

        gotoxy (2,11);
        cprintf("11 - Producao de Gas do Explosivo (m3/Kg) ----->
ITEM 9");
    }

    gotoxy (2,12);
    cprintf("12 - Densidade do Explosivo (Kg/m3) ----->
%.0f", fL[11]);

    if (cCorrecao == 'N' )
    {
        gotoxy (2,13);
        cprintf("13 - Vel. de Detonacao do Explosivo (m/s) ----->
NAO CONSTA");
    }
    else
    {
        gotoxy (2,13);
        cprintf("13 - Vel. de Detonacao do Explosivo (m/s) ----->
%.0f", fL[12]);
    }

    gotoxy (2,14);
    cprintf("14 - Constante da Rocha ----->
%.2f", fL[13]);

    if ( cCorrecao == 'N' )
    {
        gotoxy (2,15);
        cprintf("15 - Densidade da Rocha (Kg/m3) ----->
NAO CONSTA");
    }

    gotoxy (2,16);
    cprintf("16 - Velocidade de Onda Sismica na Rocha (m/s) -->
NAO CONSTA");
    }
    else
    {
        gotoxy (2,15);
        cprintf("15 - Densidade da Rocha (Kg/m3) ----->
%.0f", fL[14]);

        gotoxy (2,16);
        cprintf("16 - Velocidade de Onda Sismica na Rocha (m/s) -->
%.0f", fL[15]);
    }
}

```

```

gotoxy (2,17);
cprintf("17 - Modificar Dados de Custo ? ");

gotoxy (2,18);
cprintf("18 - Modificar Diametro de Cartucho ? ");

flushall ();
gotoxy (8,20);
cprintf("MODIFICAR DADO ? ( S / N ) [Padrao = NAO] ==> ");
gets(n);
if (toupper (n[0]) == 'S')
    cSim = 'S';
else
    cSim = 'N';

flushall ();
if ( toupper(cSim) == 'S')
{
    gotoxy (8,21);
    cprintf("DIGITE O NUMERO DO DADO A SER MODIFICADO ==> ");
    scanf("%d",&iModif);

    switch ( iModif )
    {
        case 17 :
            correcao_de_custof ( &fL[0] );
            break;

        case 18 :
            correcao_de_cartuchof();
            break;

        default :
            gotoxy (8,22);
            cprintf("DIGITE O NOVO VALOR ==> ");
            scanf("%f",&fDados);
            fL[iModif-1] = fDados;
            break;
    }

    flushall ();
}

} while (toupper(cSim) == 'S');

fLar_tun = fL[0];
fAlt_tun = fL[1];
fFlec_ab = fL[2];
fPhi = fL[3] / 1000;
fD = fL[4] / 1000;
fAng_fur_cont = fL[5] * pi / 180;
fDeesv_ang = fL[6] / 1000;
fDeesv_emb = fL[7] / 1000;
fSanfo = fL[8];
/* atribuicao das var. globais */

```

```

fEnerg_expl = fL[9];
fGas_expl = fL[10];
fDens_expl = fL[11];
fVel_expl = fL[12];
fD = fL[13];
fDens_rocha = fL[14];
fVel_sism = fL[15];

for (i=0; i < iNum_cart; i++)
    fD_explo[i] /= 1000;

if (fSanfo == 0.0 )
    fSanfo = (fEnerg_expl/6.0 + fGas_expl/5.1)/0.84;

*fT = fD * 10.0;

for (i = 0; i < iNum_cart; i++)
    fL_explo[i] = pi * fDens_expl * q(fD_explo[i]) /4.0;

return 0;
}
/* ----- */

correcao_de_custof ( float fL[num_dados] ) /* correcao virtual de */
{ /* fatores de custo */
    float fDados2;

    int iModif2,i2;

    char cSim2, n2[10];

    do
    {
        clrscr ();
        gotoxy (2,3);
        cprintf("1 - Preco por Quilo do Expl. (unid. monetaria) -> %.2f",
                fPreco_explo);

        gotoxy (2,5);
        cprintf("2 - Custo do Homem/Hora (unid. monetaria) -----> %.2f",
                fHomem_hora);

        gotoxy (2,7);
        cprintf("3 - Velocidade de Perfuracao da Maquina (m/h) --> %.1f",
                fVel_perf);

        if ( cCorrecao == 'N')
        {
            gotoxy (2,9);
            cprintf("4 - Densidade da Rocha (kg/m3) ----->
%.0f", fL[14]);
        }

        flushall ();
    }

```

```

gotoxy (8,20);
cprintf("MODIFICAR DADO ? ( S / N ) [Padrao = NAO] ==> ");
gets( n2 );
if ( toupper( n2[0] ) == 'S' )
    cSim2 = 'S';
    else
        cSim2 = 'N';

flushall ();
if ( toupper(cSim2) == 'S' )
{
    flushall ();
    gotoxy (8,21);
    cprintf("DIGITE O NUMERO DO DADO A SER MODIFICADO ==> ");
    scanf("%d",&iModif2);

    flushall ();
    gotoxy (8,22);
    cprintf("DIGITE O NOVO VALOR ==> ");
    scanf("%f",&fDados2);

    switch ( iModif2 )
    {
        case 1 :
            fPreco_explo = fDados2;
            break;

        case 2 :
            fHomem_hora = fDados2;
            break;

        case 3 :
            fVel_perf = fDados2;
            break;

        case 4 :
            fL [ 14 ] = fDados2;
            break;

    }

    flushall ();

}

} while (toupper(cSim2) == 'S');

return 0;
}
/* ----- */
correcao_de_cartuchof() /* correcao virtual do diam. de cartucho
{
    float fDados2;

```

```

int iModif2,i2;
char cSim2, n[10];

do
{
    clrscr ();

    gotoxy (2,1);
    if (cUnico == 'S')
        cprintf("%* Uso de unico tipo de cartucho no pilao");
    else
        cprintf("%* Uso de varios tipos de cartuchos no pilao" );

    gotoxy (2,3);
    cprintf("Diametro dos Cartuchos:");

    for (i2=0; i2<iNum_cart; i2++)
    {
        gotoxy (3, i2 + 5);
        cprintf("%d# Cartucho (mm) -----> %.0f", i2 + 1, fD_explo[i2]);
    }

    flushall ();
    gotoxy (8,20);
    cprintf("%* MODIFICAR DADO ? ( S / N ) [Padrao = NAO] ==> ");
    gets(n);
    if (toupper(n[0]) == 'S')
        cSim2 = 'S';
    else
        cSim2 = 'N';

    flushall ();
    if ( toupper(cSim2) == 'S')
    {
        flushall ();
        gotoxy (8,21);
        cprintf("DIGITE O NUMERO DO CARTUCHO A SER MODIFICADO ==> ");
        scanf("%d",&iModif2);

        flushall ();
        gotoxy (8,22);
        cprintf("DIGITE O NOVO VALOR ==> ");
        scanf("%f",&fDados2);

        fD_explo[iModif2 - 1] = fDados2;

        flushall ();
    }

} while (toupper(cSim2) == 'S');

return 0;
}
/* ----- */

```

```

float vmaxf (float b, float l)      /* encargo maximo do furo */
{
    float v;
    v = 8.8E-2 * sqrt(b * l * fSanfo / (fD * fC));
    return v;
}
/* ----- */

float N1_N2f (float d_cart)
{
    float m, n,
           le, /* impedancia do explosivo */
           lr; /* impedancia da rocha */

    if (toupper(cCorrecao) == 'S')
    {
        le = fVel_expl * fDens_expl;
        lr = fVel_sism * fDens_rocha;
        n = 1.0 - q( le - lr ) * 1.2
            / q( le + lr );          /* rendimento de impedancia */

        m = 1.1 / (exp((double) (fD / d_cart ))
                    - (eul - 1.0)); /* rendimento de defasagem */

        n *= m;
    }
    else
        n = 1.0;

    return n;
}
/* ----- */

float l_furo_vaziof () /* razao linear de carga pratica      */
{
    /* para desmonte contra furo vazio */
    float l;

    fL[0] = 146.3 * fD * fPhi * (fC / 0.4) / fSanfo * 0.95 ;
    l = calculo_cartuchof (fL[0], err_inad_1 );

    return l;
}
/* ----- */

float l_outros_furos (int i, int m) /* razao linear de carga pratica */
{
    /* para desmonte contra face limitada */

    int j = iNum_cart,
        iLogico = 1;

    float d,
           x = 0.0;

    if (m == 2) /* muda cartucho */

```

```

do
{
    j--;

    if (vmaxf( fBcorr[i-1] , fL_explo[j] * N1_N2f(fD_explo[j]) ) - fF
        <= 2.0 * fBcorr[i-1]
        &&
        vmaxf( fBcorr[i-1] , fL_explo[j] * N1_N2f(fD_explo[j]) ) - fF
        >= 0.5 * fBcorr[i-1])
    {
        x = fL_explo[j];
        iLogico = 0;
    }

    else if ( j == 0 && iLogico != 0 )
    {
        iLogico = 0;
        iAdv = advertenciaf ( err_inad_n , i+1 );
    }

} while (iLogico);

if (m == 1) /* mesmo cartucho */
{
    d = sqrt (fL[0] * 4 / fDens_expl / pi);

    if (vmaxf( fBcorr[i-1] , fL[0] * N1_N2f( d ) ) - fF
        <= 2.0 * fBcorr[i-1]
        &&
        vmaxf( fBcorr[i-1] , fL[0] * N1_N2f( d ) ) - fF
        >= 0.5 * fBcorr[i-1])

        x = fL[0];
}

if (x == 0.0)
    iAdv = advertenciaf ( err_inad_n , i+1 );

return x;
}
/* ----- */

float v1f (float h) /* calculo do 1º encargo */
{
    float desvio_perf_rel, v;

    fF = fDesv_ang * fH + fDesv_emb;
    desvio_perf_rel = fF * 100 / h; /* desvio de perfuracao em % */
    if (desvio_perf_rel <= 1.0)
        v = 1.5 * fPhi;
    else if (desvio_perf_rel <= 2.0)

```

```

        v = 1.7 * fPhi - fF;
        else
            iAdv = advertenciaf ( err_desvio , 0 );
    return v;
}
/* ----- */

float areaf (int tipo_de_pilao, int i )
{
    float a;

    switch (tipo_de_pilao)
    {
        case 1 :
            a = q(fBcorr[i]) + (fBcorr[i-1] * fBcorr[i] / 2.0);
            break;
        case 2 :
            a = q(fBcorr[i]);
            break;
        case 3 :
            a = 2 * ( fVcorr[i-1] + fVcorr[i-3]) * ( fBcorr[i-1] +
fBcorr[i] );
            break;
        case 4 :
            a = (2 * fCoord_x[4]) * (2 * fCoord_y[5]) ;
            break;
    }

    return a;
}
/* ----- */

calculo_do_3secoesf ()
{
    int i = 0,                                /* contador */
        iMesmo_muda;                          /* verific. mesmo cartucho no pilao */

    float fArea,                               /* area do pilao */
        fFator_ar = 1.0;                     /* relacao de tamanho do pilao */

    fH = .24 + 31.1 * fPhi - 33.8 * q(fPhi);
    fI = .95 * fH;

    if ( ( fLar_tun * (fAlt_tun + 2.0* fFlec_ab/ 3.0) ) < 4.0 )
        /* area total */
        fFator_ar = 0.5;
    if ( toupper(cUnico) == 'S')
        iMesmo_muda = mesmo_cart;
    else
        iMesmo_muda = muda_cart;

    fL[0] = l_furo_vaziof ();                /* parametros do 1º passo */
    if (iAdv)
        return 0;
}

```

```

fVmax[0] = v1f(fH);
fVcorr[0] = fVmax[0];
fBmax[0] = rad3 * fVcorr[0];
fBcorr[0] = fBmax[0] - rad2 * fF;

do                                     /* parametros dos outros passos */
{
    i++;

    fL[i] = l_outros_furos( i , iMesmo_muda );
    if (iAdv)
        return 0;

    fVmax[i] = vmaxf( fBcorr[i-1] , fL[i] );
    fVcorr[i] = fVmax[i] - fF;
    fBmax[i] = rad3 * (fVcorr[i] + fBmax[i-1] / 2);
    fBcorr[i] = fBmax[i] - rad2 * fF;

    fArea = areaf( Pilao_1, i );

} while (q(fBmax[i]) < fI && fArea < fFator_ar);

if (!iAdv)
{
    alargamentof( fL[i], fArea);

    saida_de_resultadosf ( Pilao_1, i+1, 3 , fArea );

    /* --> i+1 = no. de passos          */
    /* --> 4 = furos/espera             */
}

return 0;
}
/* ----- */

calculo_do_4secoesf ( )
{
    int i = 0,                                     /* contador          */
        iMesmo_muda;                               /* verific. mesmo cartucho no pilao */

    float fArea,                                   /* area do pilao      */
        fFator_ar = 1.0;                           /* relacao de tamanho do pilao */

    fH = .15 + 33.1 * fPhi - 39.4 * q(fPhi);
    fI = .95 * fH;

    if ( ( fLar_tun * (fAlt_tun + 2 * fFlec_ab/ 3) ) < 4.0 )
        /* area total */
        fFator_ar = 0.5;

    if ( toupper(cUnico) == 'S')
        iMesmo_muda = mesmo_cart;

```

```

else
    iMesmo_muda = muda_cart;

fL[0] = l_furo_vaziof ();          /* parametros do 1º passo */
if (iAdv)
    return 0;

fVmax[0] = v1f(fH);
fVcorr[0] = fVmax[0];
fBmax[0] = rad2 * fVcorr[0];
fBcorr[0] = fBmax[0] - rad2 * fF;

do                                  /* parametros dos outros passos */
{
    i++;

    fL[i] = l_outros_furos ( i , iMesmo_muda );
    if (iAdv)
        return 0;

    fVmax[i] = vmaxf( fBcorr[i-1] , fL[i] );
    fVcorr[i] = fVmax[i] - fF;
    fBmax[i] = rad2 * (fVcorr[i] + fBmax[i-1] / 2);
    fBcorr[i] = fBmax[i] - rad2 * fF;

    fArea = areaf( Pilao_2, i );

} while (q(fBmax[i]) < fI && fArea < fFator_ar);

if (!iAdv)
{
    alargamentof( fL[i], fArea);

    saida_de_resultadosf ( Pilao_2, i+1, 4 , fArea );

    /* --> i+1 = no. de passos          */
    /* --> 4 = furos/espera            */
}

return 0;

}
/* ----- */

calculo_do_dupla_espiralf()
{
    int i,                                /* contador          */
        iMesmo_muda;                    /* verific. mesmo cartucho no pilao */

    float fArea,                          /* area do pilao      */
        x;                               /* variavel auxiliar */

    fH = 0.46 + 37.4 * fPhi - 41.5 * q(fPhi);
    fI = 0.95 * fH;

```

Nascido a 3 de março de 1968, em São Paulo, SP, formou-se em Engenharia de Minas pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, em 1992.

ESTÁGIOS REALIZADOS:

● Monitoria de Informática no Departamento de Engenharia de Minas da EPUSP.

Data : abril de 1989 a março de 1991.

Atividades : Realização de programas aplicativos em mineração e para fins didáticos; levantamento bibliográfico de informática em Mecânica de Rochas; programa de treinamento de alunos na utilização de microcomputadores; elaboração de manual do usuário, pesquisa de algoritmos de Mecânica de Rochas conversíveis à programas; estudo de linguagens e aplicativos computacionais.

● Aluno-assistente na Divisão de Geologia de Engenharia e Mecânica de Rochas do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), agrupamento de Engenharia de Rochas, sob a orientação do Dr. Eng. Evandro Moraes da Gamma.

Data : maio de 1991 (início)

Atividades : Auxílio no treinamento de equipe e transferência de tecnologia para o monitoramento e controle da estabilidade dos taludes da Mina de Cana Brava, GO - Mineração de Amianto S.A. - SAMA; participação na consultoria para a implantação do laboratório de Mecânica de Rochas - CENPES/PETROBRÁS; auxílio em diagnóstico técnico sobre otimização de lavra, segurança e impacto ao meio-ambiente - ICAL Indústria de Calcinação Ltda, Belo Horizonte, MG; desenvolvimento de técnicas de medidas e interpretação de tensões e de deformações "in situ" - Projeto FAPESP - IPT; estudo do "software" UDEC para implantação e análise comparativa de modelamento em MEF e MED - Projeto Interno IPT; assessoria em geomecânica nas minerações subterrâneas de Vazante e Morro Agudo - Companhia Mineira de Metais; elaboração de metodologia para cálculo de estabilidade de escavações à céu aberto e subterrânea; desenvolvimento de programas específicos e tratamento e interpretação de dados de ensaios de laboratório.

PUBLICAÇÕES :

Título : "Cálculo Automático de Rupturas Circulares. Caso Prático e Aplicação."

Pblicação : 5º Seminário Nacional "O Computador e sua Aplicação no Setor Mineral" - 17 a 19 de agosto de 1992.

```

if ( toupper(cUnico) == 'S')
    iMesmo_muda = mesmo_cart;
else
    iMesmo_muda = muda_cart;

fL[0] = l_furo_vaziof ();
if (iAdv)
    return 0;

fVmax[0] = v1f(fH); /* parametros do 1# passo */
fVcorr[0] = fVmax[0];
fBmax[0] = sqrt( (double) ( q(fVcorr[0]) + q(fPhi/2) ) );
fBcorr[0] = fBmax[0] - fF;

for (i = 1; i < 7; i++ ) /* parametros dos outros passos */
{
    fL[i] = l_outros_furos( i , iMesmo_muda );
    if (iAdv)
        return 0;

    switch ( i )
    {
        case 1 :
            fVmax[i] = vmaxf( fBcorr[i-1] , fL[i] );
            fVcorr[i] = fVmax[i] + fPhi/2 - fF;
            fBmax[i] = sqrt( q(fVcorr[i-1]) + q(fPhi/2) ) * 2;
            fBcorr[i] = fBmax[i] - 2 * fF;

            break;

        case 2 :
            fVmax[i] = vmaxf( fBcorr[i-1] , fL[i] );
            fVcorr[i] = fVmax[i] + fPhi/2 - fF;
            x = q( fVcorr[0] - fPhi/2 );
            fBmax[i] = sqrt( q(fVcorr[2]) - x ) +
                sqrt( q(fVcorr[1]) - x );
            fBcorr[i] = fBmax[i] - rad2 * fF;

            break;

        case 3 :
            fVmax[i] = vmaxf( fBcorr[i-1] , fL[i] );
            fVcorr[i] = fVmax[i] + fVcorr[0] - fPhi/4 - fF;
            fBmax[i] = sqrt( q(fVcorr[3]) - q(fVcorr[1]) )
                + sqrt( q(fVcorr[0]) + q(fVcorr[1]) );
            fBcorr[i] = fBmax[i] - rad2 * fF;

            break;

        case 4 :
            fVmax[i] = vmaxf( fBcorr[i-1] , fL[i] );
            fVcorr[i] = fVmax[i] + fVcorr[1] - fF;
            fBmax[i] = sqrt( q(fVcorr[4]) - q(fVcorr[2]) )
                + sqrt( q(fVcorr[3]) + q(fVcorr[1]) );

```

```
fBcorr[i] = fBmax[i] - rad2 * fF;
```

```
break;
```

```
case 5 :
```

```
fVmax[i] = vmaxf( fBcorr[i-1] , fL[i] );
```

```
fVcorr[i] = fVmax[i] + fVcorr[2] - fF;
```

```
fBmax[i] = sqrt( q(fVcorr[5]) - q(fVcorr[3]) )
```

```
          + sqrt( q(fVcorr[4]) + q(fVcorr[2]) );
```

```
fBcorr[i] = fBmax[i] - rad2 * fF;
```

```
break;
```

```
case 6 :
```

```
fVmax[i] = vmaxf( fBcorr[i-1] , fL[i] );
```

```
fVcorr[i] = fVmax[i] + fVcorr[2] - fF;
```

```
fBmax[i] = sqrt( q(fVcorr[5]) - q(fVcorr[3]) )
```

```
          + sqrt( q(fVcorr[4]) + q(fVcorr[2]) );
```

```
fBcorr[i] = fBmax[i] - rad2 * fF;
```

```
break;
```

```
}
```

```
}
```

```
fArea = areaf( Pilao_3 , i );
```

```
if ( (fLar_tun * ( 2 * fFlec_ab / 3 + fAlt_tun )) >= fArea  
    &&  
    !iAdv)
```

```
{
```

```
    alargamentof( fL[i-1], fArea);
```

```
    saida_de_resultadosf (Pilao_3, i , 2 , fArea );
```

```
    /* --> i = no. de passos */
```

```
    /* --> 2 = furos/espera */
```

```
}
```

```
return 0;
```

```
}
```

```
/* ----- */
```

```
calculo_do_tabyf()
```

```
{
```

```
    int i,
```

```
        iMesmo_muda;
```

```
    /* contador */
```

```
    /* verific. mesmo cartucho no pilao */
```

```
    float fArea,
```

```
          fX;
```

```
    /* area do pilao */
```

```
    /* auxiliar */
```

```
    fH = .53 + 21.9 * fPhi - 9.9 * q(fPhi);
```

```
    fI = .95 * fH;
```

```

if ( toupper(cUnico) == 'S')
    iMesmo_muda = mesmo_cart;
else
    iMesmo_muda = muda_cart;

fL[0] = l_furo_vaziof ();          /*  parametros do 1º passo */
if (iAdv)
    return 0;

fVmax[0] = v1f(fH);
fVcorr[0] = fVmax[0];
fX = sqrt ( q(fVcorr[0]) + q(fPhi/2) );
fBmax[0] = 1.4 * fX;
fBcorr[0] = fBmax[0] - fF;
fCoord_x[0] = fVcorr[0];
fCoord_y[0] = 0.0;

for (i = 1; i < 6 ; i++)          /*  parametros dos outros passos  */
{
    fL[i] = l_outros_furos f ( i , iMesmo_muda );
    if (iAdv)
        return 0;

    switch ( i )
    {
        case 1 :
            fVmax[i] = vmaxf( fBcorr[i-1] , fL[i] );
            fVcorr[i] = fVmax[i] - fF;
            fX = sqrt ( q(2 * fVcorr[0]) + q(fVcorr[1]) );
            fBmax[i] = 1.32 * fX;
            fBcorr[i] = fBmax[i] - 2 * fF;
            fCoord_x[i] = - fVcorr[0];
            fCoord_y[i] = fVcorr[i] * 0.91;

            break;

        case 2 :
            fVmax[i] = vmaxf( fBcorr[i-1] , fL[i] );
            fVcorr[i] = fVmax[i] - fF;
            fX = sqrt ( q(2 * fVcorr[1]) + q(fPhi) );
            fBmax[i] = 1.4 * fX;
            fBcorr[i] = fBmax[i] - fF;
            fCoord_x[i] = fVcorr[0];
            fCoord_y[i] = fVcorr[i];

            break;

        case 3 :
            fVmax[i] = vmaxf( fBcorr[i-1] , fL[i] );
            fVcorr[i] = fVmax[i] - fF;
            fX = fVcorr[1] + fVcorr[2] + fVcorr[3];
            fBmax[i] = fX;
            fBcorr[i] = fBmax[i] - fF;
    }
}

```

```
fCoord_x[i] = - fVcorr[0];
fCoord_y[i] = ( fVcorr[1] + fVcorr[1] ) * 0.91;
```

```
break;
```

```
case 4 :
```

```
fVmax[i] = vmaxf( fBcorr[i-1] , fL[i] );
fVcorr[i] = fVmax[i] - fF;
fX = fVcorr[2] + fVcorr[3] + fVcorr[4];;
fBmax[i] = fX;
fBcorr[i] = fBmax[i] - fF;
fCoord_x[i] = fVcorr[i] + fVcorr[0];
fCoord_y[i] = 0.0;
```

```
break;
```

```
case 5 :
```

```
fVmax[i] = vmaxf( fBcorr[i-1] , fL[i] );
fVcorr[i] = fVmax[i] - fF;
fBmax[i] = sqrt( q(fCoord_x[4]) + q(fCoord_y[3]) ) ;
fBcorr[i] = fBmax[i] - fF;
fCoord_x[i] = fVcorr[4] + fVcorr[0];
fCoord_y[i] = ( fVcorr[3] + fVcorr[1] ) * 0.91;
```

```
break;
```

```
}
```

```
}
```

```
fArea = areaf( Pilao_4, i );
```

```
if ( ( fLar_tun * ( 2 * fFlec_ab / 3 + fAlt_tun ) ) >= fArea
    &&
```

```
!iAdv)
```

```
{
```

```
alargamentof( fL[i-1], fArea);
```

```
saida_de_resultadosf (Pilao_4, i , 2 , fArea );
```

```
/* --> i = no. de passos */
/* --> 2 = furos/espera */
```

```
}
```

```
return 0;
```

```
}
```

```
/* ----- */
```

```
alargamentof (float l,float a)
```

```
{
```

```
double dN, dAux ;
```

```
fL_alarga = l;
```

```

fV[0] = afastamento_do_alargamentof ( 1.45 , 1.0 , 1 );
if (iAdv)
    return 0;
if ( fV[0] != 0.0 )
{
    modf( (double) (fLar_tun + 2.0 * fH * sin(fAng_fur_cont)) /
        fV[0] + 2.0 , &dAux );
    fN[0] = dAux;
}
else
    fN[0] = 0.0;
if ( fN[0] != 0.0 )
{
    fE[0] = (fLar_tun + 2.0 * fH * sin(fAng_fur_cont)) /
        (fN[0] - 1.0);
}
else
    fE[0] = 0.0;
fV[0] = fV[0] - ( fH * sin(fAng_fur_cont) + fF );

fV[1] = afastamento_do_alargamentof ( 1.45 , 1.25 , 0 );
if (iAdv)
    return 0;
fE[1] = fV[1] * 1.25 - fF;
fV[1] = fV[1] - fF ;

fV[2] = afastamento_do_alargamentof ( 1.2 , 1.25 , 0 );
if (iAdv)
    return 0;
fE[2] = fV[2] * 1.25 - fF;
fV[2] = fV[2] - fF ;

if ( cZorgo == 'N' )
{
    fV[3] = fV[2];
    fE[3] = fV[2];

    fL_cont = 0.0;
}
else
{
    fE[3] = 15.0 * fD - fF;
    fV[3] = fE[3] / 0.8 - fF;

    fL_cont = 90 * q(fD);
    fL_cont = calculo_cartuchof (fL_cont, err_inad_cont);
    if (iAdv)
        return 0;
}
if ( fE[3] != 0.0 )
{
    modf ( (double) ( 2.0 * fAlt_tun + fFlec_ab + fLar_tun / 2 +
        sqrt( q( fLar_tun / 2 ) + q( fFlec_ab ) ) ) / fE[3]

```

```

        - 1.0 , &dAux );
    fN[3] = dAux;
}
else
    fN[3] = 0.0;

if ( fV[1] != 0.0 )
{
    modf ( (double) (fLar_tun - 2.0 * fV[3] - sqrt ( a ) ) /
        fV[1] + 0.5 , &dAux );
    fN[1] = dAux;
}
else
    fN[1] = 0.0;

if ( fV[2] != 0.0 )
{
    modf ( (double) (fAlt_tun + fFlec_ab
        - fV[0] - fV[3] - sqrt ( a ) ) / fV[2] + 0.5 , &dAux);
    fN[2] = dAux;
}
else
    fN[2] = 0.0;

return 0;
}
/* ----- */

float calculo_cartuchof (float x, int adv )
{
    /* escolhe cartucho conveniente */
    float l;
    int i = 0,
        iLogico = 1;

    do
    {
        if (iNum_cart <= i )
        {
            iAdv = advertenciaf ( adv , 0 );
            iLogico = 0;
        }
        else if ( x <= fL_explo[i] * N1_N2f(fD_explo[i]) )
        {
            l = fL_explo[i];
            iLogico = 0;
        }

        i++;
    } while (iLogico);

    return l;
}

```

```

/* ----- */
float afastamento_do_alargamentof (float f, float rel, int chamada)
{
    float v = 1.4,
          v_ant,
          dif,
          c_;

    int i = 0;

    do
    {
        if ( v >= 1.4 )
            c_ = fC + .05;
        else
            c_ = fC + .07/v;      /* valor de c corrigido */

        v_ant = v ;
        v = 0.9 * sqrt ( fL_alarga * fSanfo
                        / ( c_ * f * rel ) );      /* afastamento */

        dif = ( v - v_ant );
        if ( dif < 0.0 )
            dif *= -1.0;

        i++;

    } while ( dif > 0.01 && i < 10 );

    i = 0;
    if ( chamada == 1 && v > (fH * 0.6) )
    {
        v = 0.6 * fH;
        fL_alarga = q(v) * c_ * rel / ( 0.81 * fSanfo);
        fL_alarga = calculo_cartuchof (fL_alarga, err_inad_alarg );
    }

    return v;
}
/* ----- */

advertenciaf (int ad, int n)      /* fuga em caso de ma' especificao */
{
    clrscr ();
    fprintf(ark, "\n\n\n      *** PROBLEMA NESTA SECAO ***\n\n");
    gotoxy (10,5);
    switch ( ad )
    {
        case 1 :
            cprintf("\aDESVIO DE PERFURACAO ACIMA DO PERMITIDO");
            fprintf(ark, "\n\n      DESVIO DE PERFURACAO ACIMA DO
PERMITIDO\n\n\n");
    }
}

```

```

        break;
    case 2 :
        cprintf("\aEXPLOSIVOS INADEQUADOS PARA O 1# AFASTAMENTO
                DO PILAO");
        fprintf(ark,"\n\n      EXPLOSIVOS INADEQUADOS PARA O 1#
AFASTAMENTO DO PILAO\n\n\n");
        break;
    case 3 :
        cprintf("\aEXPLOSIVOS INADEQUADOS PARA O %d# AFASTAMENTO DO
PILAO",n);
        fprintf(ark,"\n\n      EXPLOSIVOS INADEQUADOS PARA O %d#
AFASTAMENTO DO PILAO\n\n\n",n);
        break;
    case 4 :
        cprintf("\aEXPLOSIVOS INADEQUADOS PARA O ALARGAMENTO");
        fprintf(ark,"\n\n      EXPLOSIVOS INADEQUADOS PARA O
ALARGAMENTO\n\n\n");
        break;
    case 5 :
        cprintf("\aEXPLOSIVOS INADEQUADOS PARA O CONTORNO");
        fprintf(ark,"\n\n      EXPLOSIVOS INADEQUADOS PARA O
CONTORNO\n\n\n");
        break;
    }
    delay (4000);
    flushall ();

    return 1;
}
/* ----- */

cabecariof ()
{
    int k;

    flushall ();
    fprintf(ark,"\n          * RELATORIO DE PLANO DE FOGO *");
    fprintf(ark,"\n\n          programa VOLADOR      versao 1.0 1992");
    fprintf(ark,"\n\n\n      Empresa : %s",cEmpr);
    fprintf(ark,"\n      teste numero %d",iTeste);
    fprintf(ark,"\n\n      DADOS DO PROJETO :");
    fprintf(ark,"\n\n          Largura da Galeria = %.2f m",fLar_tun);
    fprintf(ark,"\n          Altura da Galeria = %.2f m",fAlt_tun);
    fprintf(ark,"\n          Altura da Abobada da Galeria = %.2f m",fFlec_ab);
    fprintf(ark,"\n          Diametro do Furo de Alargamento = %.0f mm",fPhi
*1000);
    fprintf(ark,"\n          Diametro dos Furos de Mina = %.0f mm",fD *1000);
    fprintf(ark,"\n          Desvio Esperado dos Furos de Contorno = %.0f
    graus",fAng_fur_cont *180 /pi);
    fprintf(ark,"\n          Desvio Angular de Perfuracao = %.0f mm/m",
    fDesv_ang * 1000);
    fprintf(ark,"\n          Desvio de Emboque = %.0f mm",fDesv_emb * 1000);
    fprintf(ark,"\n\n          Constante da Rocha = %.2f",fC);
    if (cCorrecao == 'S')

```

```

    {
        fprintf(ark, "\n      Densidade da Rocha = %.0f kg/m3", fDens_rocha);
        fprintf(ark, "\n      Velocidade de Onda Sismica na Rocha = %.0f",
            fVel_sism);
    }
    if (cCusto == 'S')
        fprintf(ark, "\n      Densidade da Rocha = %.0f kg/m3", fDens_rocha);
    fprintf(ark, "\n\n      Forca-Peso do Explosivo = %.2f", fSanfo);
    if ( fEnerg_expl != 0.0 )
    {
        fprintf(ark, "\n      Energia do Explosivo = %.2f MJ/Kg",
            fEnerg_expl);
        fprintf(ark, "\n      Producao de Gas nas CNTP = %.2f m3/Kg",
            fGas_expl);
    }
    if (cCorrecao == 'S')
        fprintf(ark, "\n      Velocidade de Detonacao do Explosivo = %.0f
            m/s", fVel_expl);
    fprintf(ark, "\n      Densidade do Explosivo = %.0f Kg/m3", fDens_expl);
    fprintf(ark, "\n\n      Cartuchos Disponiveis :\n");
    for (k = 0; k < iNum_cart; k++)
        fprintf(ark, "\n      %.0f mm de diametro ( l = %.2f Kg/m )",
            fD_explo[k] * 1000,
            fL_explo[k] = pi * fDens_expl * q(fD_explo[k]) / 4.0);
    if(cCusto == 'S')
    {
        fprintf(ark, "\n\n      Preco do Explosivo = %.2f unid. mon./ kg",
            fPreco_explo);
        fprintf(ark, "\n      Custo do Homem-hora = %.2f unid. mon./ h",
            fHomem_hora);
        fprintf(ark, "\n      Velocidade de Perfuracao do Equipamento = %.1f
            m/h", fVel_perf);
    }
    if(cZorgo == 'S')
        fprintf(ark, "\n\n      -> Desmonte Cuidadoso.");
    if(cUnico == 'S' && cZorgo == 'N')
        fprintf(ark, "\n\n      -> Uso de Um Unico Tipo de Cartucho.");
    if(cUnico == 'S' && cZorgo == 'S')
        fprintf(ark, "\n\n      -> Uso de Um Unico Tipo de Cartucho no
            Pilao.");
    if(cCorrecao == 'S')
        fprintf(ark, "\n\n      -> Uso de Correcao de Rendimento do
            Explosivo.");
    fprintf(ark, "\n\n\n\n      RESULTADOS :\n");

    return 0;
}
/* ----- */

saida_de_resultadosf (int tipo_de_pilao, int iNum_esperas,
    int iFuros_espera, float fAr )
{
    int j,
        k;

```

```

float fN_f,          /* Numero de furos de mina do pilao */
fComp_t_f,          /* Comprimento total de perfuracao */
fR_f,               /* Razao de perfuracao (m/m3) */
fConc_t_q = 0,      /* Concentr. de explosivo (kg/m3) */
fR_q,               /* Razao volumetrica de carga */
fD_c,               /* Diametro do cartucho utilizado */
fHb,                /* Comprimento da carga de fundo */
fHc,                /* Comprimento da carga de coluna */
fLc,                /* Razao linear de carga do fundo */
fC_furo,            /* Carga total do furo */
fAux,               /* Auxiliar */
fTon,               /* Toneladas de material desmontado */
fCusto_f,           /* Custo de perfuracao */
fCusto_d;           /* Custo de detonacao */
/* ----- PILAO ----- */

flushall ();

resultadof ();

switch (tipo_de_pilao)
{
    case 1 :
        gotoxy (3,4);
        cprintf("% Pilao utilizado : de Tres Secoes");
        fprintf(ark,"\n\n\n      * PILAO UTILIZADO : de
            Tres Secoes");
        break;

    case 2 :
        gotoxy (3,4);
        cprintf("% Pilao utilizado : de Quatro Secoes");
        fprintf(ark,"\n\n\n      Pilao Utilizado : de Quatro
            Secoes");
        break;

    case 3 :
        gotoxy (3,4);
        cprintf("% Pilao utilizado : em Dupla Espiral");
        fprintf(ark,"\n\n\n      Pilao Utilizado : em Dupla
            Espiral");
        break;

    case 4 :
        gotoxy (3,4);
        cprintf("% Pilao utilizado : Taby");
        fprintf(ark,"\n\n\n      Pilao Utilizado : Taby");
        break;
}

gotoxy (3,7);
if (toupper(cCorrecao) == 'S')
    cprintf("-> Com fatores de rendimento de transferencia.");
else
    cprintf("-> Sem uso de fatores de rendimento de
        transferencia.");

gotoxy (3,9);

```

```

if (cUnico == 'S')
    cprintf("-> Unico tipo de cartucho no pilao.");
else
    cprintf("-> Varios tipos de cartuchos no pilao." );

gotoxy (3,12);
cprintf("Comprimento de perfuracao = %.1f m",fH);

gotoxy (3,14);
cprintf("Avanco da Secao = %.1f m",fI);

gotoxy (3,16);
cprintf("Numero de Passos do Pilao = %d ",iNum_esperas);

gotoxy (3,18);
cprintf("Comprimento do Tampao do Furo de Mina = %.2f m",fT);
fprintf(ark,"\n\n      Comprimento das Perfuracoes = %.1f m",fH);
fprintf(ark,"\n      Avanco Esperado = %.1f m",fI);
fprintf(ark,"\n      Comprimento do Tampao do Furo de Mina = %.2f
m",fT);
fprintf(ark,"\n      Numero de Passos de Pilao = %d\n ",
iNum_esperas);

continuacaoof ();

for (j = 0; j < iNum_esperas; j++)
{
    resultadoof ();

    gotoxy (3,5);
    cprintf ("* %d# PASSO DO PILAO :",j+1);
    fprintf(ark,"\n\n      * %d# PASSO DO PILAO :",j+1);

    gotoxy (3,7);
    cprintf ("Afastamento (encargo) (V) = %.2f m", fVcorr[j]);
    fprintf(ark,"\n\n      Afastamento (encargo) (V) = %.2f m",
fVcorr[j]);

    gotoxy (3,9);
    cprintf ("Espacamento (E) = %.2f m",fBcorr[j]);
    fprintf(ark,"\n      Espacamento (E) = %.2f m",fBcorr[j]);

    gotoxy (3,11);
    cprintf ("Concentracao Linear de Carga (l) = %.2f Kg/m",fL[j]);
    fprintf(ark,"\n      Concentracao Linear de Carga (l) = %.2f
Kg/m",fL[j]);

    fD_c = sqrt ( fL[j] * 4 / fDens_expl / pi ) * 1000.0;
    gotoxy (3,13);
    cprintf ("Diametro do Cartucho Utilizado (d) = %.0f mm",fD_c);
    fprintf(ark,"\n      Diametro do Cartucho Utilizado (d) = %.0f
mm",fD_c);

```

```

gotoxy (3,15);
cprintf ("Carga por Furo (q) = %.2f Kg", fL[j] * (fH-fT));
fprintf(ark, "\n      Carga por Furo (q) = %.2f Kg", fL[j] *
      (fH-fT));

fConc_t_q += fL[j] * (float) iFuros_espera * (fH - fT);

/* total explosivo gasto */

if ( tipo_de_pilao == Pilao_4 )
{
    gotoxy (3,17);
    cprintf ("Coordenada do Furo no 1º Quadrante =
            ( %.2f, %.2f )", fCoord_x[j], fCoord_y[j] );
    fprintf(ark, "\n      Coordenada do Furo no 1º Quadrante =
            ( %.2f, %.2f )", fCoord_x[j], fCoord_y[j] );
}

continuacaof();

}

clrscr ();
gotoxy (3,2);
cprintf ("* PARAMETROS DO PILAO :");
fprintf(ark, "\n\n      * PARAMETROS DO PILAO :");

fN_f = (float) iNum_esperas * (float) iFuros_espera;
if (tipo_de_pilao == Pilao_1)
    fN_f -= 1.0;
if (tipo_de_pilao == Pilao_4)
    fN_f += 2.0;
gotoxy (3,5);
cprintf ("Numero de furos = %.0f      ( %d afastamentos no pilao )",
        fN_f, iNum_esperas);
fprintf(ark, "\n\n      Numero de furos = %.0f      ( %d afastamentos
        no pilao )", fN_f, iNum_esperas);

gotoxy (3,7);
cprintf ("Area do Pilao = %.1f m2      ( Volume no banco = %.1f m3 )",
        fAr, fAr*fI);
fprintf(ark, "\n      Area do Pilao = %.1f m2      ( Volume no banco =
%.1f m3 )", fAr, fAr*fI);

fComp_t_f = fN_f * fH;
gotoxy (3,9);
cprintf ("Comprimento total perfurado = %.1f m", fComp_t_f);
fprintf(ark, "\n      Comprimento total perfurado = %.1f m",
        fComp_t_f);

fR_f = fComp_t_f / fAr / fI;
gotoxy (3,11);
cprintf ("— Razao de Perfuracao = %.1f m/m3 de rocha", fR_f);
fprintf(ark, "\n      — Razao de Perfuracao = %.1f m/m3 de rocha",
        fR_f);

```

```

if (tipo_de_pilao == Pilao_1)
    fConc_t_q -= fL[j] * (fH - fT);
gotoxy (3,13);
cprintf("Concentracao Total de Carga = %.1f Kg",fConc_t_q);
fprintf(ark,"\n      Concentracao Total de Carga = %.1f Kg",
        fConc_t_q);

fR_q = fConc_t_q / fAr / fI;
gotoxy (3,15);
cprintf("- Razao de Carga Volumetrica = %.1f Kg/m3 de rocha",
        fR_q);
fprintf(ark,"\n      - Razao de Carga Volmetrica = %.1f Kg/m3 de
rocha", fR_q);

gotoxy (3,17);
cprintf (" - Razao Linear de Carga Media do Pilao = %.1f Kg/m",
        fConc_t_q/fComp_t_f);
fprintf(ark,"\n      - Concentracao Linear de Carga Media do Pilao =
        %.1f Kg/m\n", fConc_t_q/fComp_t_f);

continuacaof ();

if (cCusto == 'S')
    parametros_economf (fAr, fConc_t_q, fN_f, 1);

/* ----- ALARGAMENTO ----- */
for (j = 0; j < 4; j++)
{
    resultadof ();

    gotoxy (3,4);
    cprintf(" * ALARGAMENTO DA SECAO :");
    fprintf(ark,"\n      * ALARGAMENTO DA SECAO : ");

    gotoxy (33,4);
    switch ( j )
    {
        case 0 :
            cprintf("LEVANTE ");
            fprintf(ark,"LEVANTE ");
            break;
        case 1 :
            cprintf("ALIVIO LATERAL");
            fprintf(ark,"ALIVIO LATERAL");
            break;
        case 2 :
            cprintf("ALIVIO SUPERIOR ");
            fprintf(ark,"ALIVIO SUPERIOR ");
            break;
        case 3 :
            cprintf("CONTORNO");
            fprintf(ark,"CONTORNO ");
    }
}

```

```

if ( cZorgo == 'S' )
{
    gotoxy (43,4);
    cprintf("( com desmonte cuidadoso )");
    fprintf(ark,"( com desmonte cuidadoso )");
}
break;
}

if ( fN[j] != 0.0 && fE[j] != 0.0 && fV[j] != 0.0 )
{
    gotoxy (3,7) ;
    cprintf("Afastamento (V) = %.2f m", fV[j] );
    fprintf(ark,"\n\n      Afastamento (V) = %.2f m", fV[j] );

    gotoxy (3,9);
    cprintf("Espacamento (E) = %.2f m", fE[j] );
    fprintf(ark,"\n      Espacamento (E) = %.2f m", fE[j] );
    if (j == 0)
    {
        gotoxy (31,9) ;
        cprintf("( (E) de canto = %.2f m )",
            fE[j] - fH * sin(fAng_fur_cont) );
        fprintf(ark," ( (E) de canto = %.2f m )",
            fE[j] - fH * sin(fAng_fur_cont) );
    }

    if ( cUnico == 'N' && ( j != 3 || ( j == 3 &&
        cZorgo == 'N' ) ) )
    {
        fHb = 1.25 * fV[j];
        gotoxy (3,11);
        cprintf("Comprimento da Carga de Fundo = %.2f m", fHb );
        fprintf(ark,"\n      Comprimento da Carga de Fundo =
            %.2f m",fHb );

        gotoxy (3,13);
        cprintf("Concentracao Linear de Carga = %.2f Kg/m",
            fL_alarga );
        fprintf(ark,"\n      Concentracao Linear de Carga = %.2f
            Kg/m ",
            fL_alarga );
        fD_c = sqrt ( fL_alarga * 4 / fDens_expl / pi ) * 1000.0;
        gotoxy (42,13);
        cprintf("( Cartucho de %.0f mm )",fD_c);
        fprintf(ark,"( Cartucho de %.0f mm )",fD_c);

        fHc = fH - ( fHb + fT );
        gotoxy (3,15);
        cprintf("Comprimento da Carga de Coluna = %.2f m", fHc );
        fprintf(ark,"\n      Comprimento da Carga de Coluna =
            %.2f m",
            fHc );

        if ( j == 1 )

```

```

    }

    fConc_t_q += fC_furo * fN[j];

    gotoxy (3, k );
    cprintf("Numero de Furos = %.0f", fN[j] );
    fprintf(ark, "\n          Numero de Furos = %.0f\n", fN[j] );

}
else
{
    gotoxy (10,11);
    cprintf("* NAO EXISTEM FUROS DE MINA NESTA REGIAO.");
    fprintf(ark, "\n\n          * NAO EXISTEM FUROS DE MINA NESTA
    REGIAO.");
    fprintf (ark, "\n\n");
}

    continuacaoof ();

}

clrscr ();

gotoxy (3,2);
cprintf("* PARAMETROS DA SECAO DA GALERIA ( com o Pilao ) :");
fprintf (ark, "\n\n          * PARAMETROS DA SECAO DA GALERIA ( com o
Pilao ) :");

for (j = 0; j < 4; j++)
    fN_f += fN[j];
gotoxy (3,5);
cprintf("Numero de Furos Total = %.0f", fN_f);
fprintf (ark, "\n\n          Numero de Furos Total = %.0f", fN_f);

fAux = fLar_tun * ( 2 * fFlec_ab / 3 + fAlt_tun );
gotoxy (3,7);
cprintf("Area Total = %.1f m2 ( Volume no banco = %.1f m3 )",
    fAux, fAux * fI );
fprintf (ark, "\n          Area Total = %.1f m2 ( Volume no banco = %.1f
m3 )", fAux, fAux * fI );

fComp_t_f = fN_f * fH;
gotoxy (3,9);
cprintf("Comprimento Total Perfurado = %.1f m", fComp_t_f);
fprintf (ark, "\n          Comprimento Total Perfurado = %.1f m",
    fComp_t_f);

fR_f = fComp_t_f / fAux / fI;
gotoxy (3,11);
cprintf(" Razao de Perfuracao = %.1f m/m3 de rocha", fR_f);
fprintf (ark, "\n          - Razao de Perfuracao = %.1f m/m3 de rocha",
    fR_f);

gotoxy (3,13);

```

```

        fLc = fL_alarga * 0.7;
        else
            fLc = fL_alarga * 0.5;

    fLc = calculo_cartuchof (fLc , err_inad_alarg );
    if (iAdv)
        return 0;

    gotoxy (3,17);
    cprintf("Concentracao Linear de Carga = %.2f Kg/m",fLc );
    fprintf(ark,"\n          Concentracao Linear de Carga = %.2f
            Kg/m ",fLc );
    fD_c = sqrt ( fLc * 4 / fDens_expl / pi ) * 1000.0;
    gotoxy (42,17);
    cprintf("( Cartucho de %.0f mm )",fD_c);
    fprintf(ark,"( Cartucho de %.0f mm )",fD_c);
    fC_furo = fHb * fL_alarga + fHc * fLc;
    gotoxy (3,19);
    cprintf("Carga por Furo (q) = %.2f Kg", fC_furo);
    fprintf(ark,"\n          Carga por Furo (q) = %.2f Kg",
            fC_furo);

    k = 21;
}

else if ( (cUnico == 'S')  ||
          (j == 3  &&  cZorgo == 'S')  )
{
    fHb = fH - fT;

    gotoxy (3,11);
    cprintf("Comprimento da Carga = %.2f m", fHb );
    fprintf(ark,"\n          Comprimento da Carga = %.2f m",
            fHb );

    gotoxy (3,13);
    cprintf("Concentracao Linear de Carga = %.2f Kg/m",
            fL_cont);
    fprintf(ark,"\n          Concentracao Linear de Carga =
            %.2f Kg/m", fL_cont );
    fD_c = sqrt ( fL_cont * 4 / fDens_expl / pi ) *
            1000.0;
    gotoxy (42,13);
    cprintf("( Cartucho de %.0f mm )",fD_c);
    fprintf(ark,"( Cartucho de %.0f mm )",fD_c);

    fC_furo = fHb * fL_cont;
    gotoxy (3,15);
    cprintf("Carga por Furo (q) = %.2f Kg", fC_furo);
    fprintf(ark,"\n          Carga por Furo (q) = %.2f Kg",
            fC_furo);

    k = 17;
}

```

```

cprintf("Concentracao Total de Carga = %.1f kg",fConc_t_q);
fprintf (ark,"\n      Concentracao Total de Carga = %.1f kg",
        fConc_t_q);

fR_q = fConc_t_q /fAux/fI;
gotoxy (3,15);
cprintf(" Razao de Carga Volumetrica = %.1f Kg/m3 de rocha", fR_q);
fprintf (ark,"\n      - Razao de Carga Volumetrica = %.1f kg/m3 de
rocha", fR_q);

gotoxy (3,17);
cprintf (" Razao Linear de Carga Media = %.1f Kg/m",
        fConc_t_q/fComp_t_f);
fprintf (ark,"\n      - Concentracao Linear de Carga Media =
        %.1f Kg/m", fConc_t_q/fComp_t_f);

gotoxy (3,19);
cprintf("Comprimento de perfuracao = %.1f m ( Avanco = %.1f m ) ",
        fH , fI );
fprintf (ark,"\n      Comprimento de perfuracao = %.1f m
        ( Avanco = %.1f m )\n", fH , fI );

continuacaoof ();

if (cCusto == 'S')
    parametros_economf ( fAux, fConc_t_q, fN_f, 2 );

return 0;

}
/* ----- */

parametros_economf (float fA, float fKg, float fN_f, int x) /
/* parametros economicos */
{
    float fCusto_f,
          fCusto_d,
          fTon,
          fT_c;

    flushall ();
    clrscr ();

    fprintf(ark,"\n\n -----");
    gotoxy (3,2);
    cprintf(" *  PARAMETROS  ECONOMICOS :");
    fprintf(ark,"\n\n      *  PARAMETROS  ECONOMICOS :");

    fTon = fA * fI * fDens_rocha / 1000;
    gotoxy (3,5);
    cprintf("Toneladas Produzidas = %.1f t", fTon );
    fprintf(ark,"\n\n      Toneladas Produzidas = %.1f t", fTon );

    gotoxy (3,8);
    cprintf(" Custos  Expeditos :");

```

```

fprintf(ark, "\n\n      Custos  Expeditos :  ");
gotoxy (25,8);
if ( x == 1 )
{
    cprintf("PILAO");
    fprintf(ark, "PILAO");
}
    else
    {
        cprintf("TOTAL");
        fprintf(ark, "TOTAL");
    }
gotoxy (5,9);
cprintf("( Englobam apenas gasto com mao-de-obra e explosivo
        )");
fprintf(ark, "\n      ( Englobam apenas gasto com mao-de-obra e
        explosivo )");

if (cUnico == 'S')
    fT_c = 225;
    else
        fT_c = 195;
fCusto_f = (fN_f + 1) * fH / fVel_perf * 1.2 * fHomem_hora ;
gotoxy (3,11);
cprintf("--> Custo de Perfuracao =  %.2f (unid. monetaria)",
        fCusto_f);
fprintf(ark, "\n\n      --> Custo de Perfuracao =  %.2f (unid.
        monetaria)", fCusto_f);

fCusto_d = fPreco_explo * fKg + fN_f * fH * 2.0 *
        fHomem_hora / fT_c;
gotoxy (3,13);
cprintf("--> Custo de Detonacao = %.2f (unid. monetaria)",
        fCusto_d);
fprintf(ark, "\n      --> Custo de Detonacao = %.2f (unid.
        monetaria)", fCusto_d);

gotoxy (3,14);
cprintf("-----");
fprintf(ark, "\n-----");

gotoxy (3,15);
cprintf("-->      Custo      Total      = %.2f (unid. monetaria)",
        fCusto_f + fCusto_d );
fprintf(ark, "\n      -->      Custo      Total      = %.2f (unid.
monetaria)", fCusto_f + fCusto_d );

gotoxy (3,18);
cprintf(" Relacao (perf./deton.)  = %.2f", fCusto_f/fCusto_d);
fprintf(ark, "\n\n      Relacao (perf./deton.)  = %.2f", fCusto_f/
fCusto_d);

gotoxy (3,20);
cprintf(" Custo por Tonelada = %.2f (unid. mon./t)",
        (fCusto_f + fCusto_d)/fTon);

```

```

    fprintf(ark, "\n\n      Custo por Tonelada = %.2f (unid. mon./t)",
            (fCusto_f + fCusto_d)/fTon);
    fprintf(ark, "\n\n      ----- \n\n");
    continuacaof ();

    return 0;
}
/* ----- */

resultadof ()          /* auxiliar na apresentacao de resultados */
{
    flushall ();

    clrscr ();
    gotoxy (6,2);
    cprintf ("RESULTADOS :");

    return 0;
}
/* ----- */

continuacaof ()        /* auxiliar na apresentacao de resultados */
{
    flushall();

    gotoxy (76,23);
    cprintf ("]");
    gotoxy (45,23);
    cprintf ("[ TECLA ENTER PARA CONTINUAR ");
    getchar();

    flushall ();

    return 0;
}
/* ----- */

finalf ()
{
    clrscr();
    gotoxy (13,12);
    cprintf ("* RESULTADOS GRAVADOS NO ARQUIVO ");
    cprintf ( cNome_ark );
    continuacaof ();

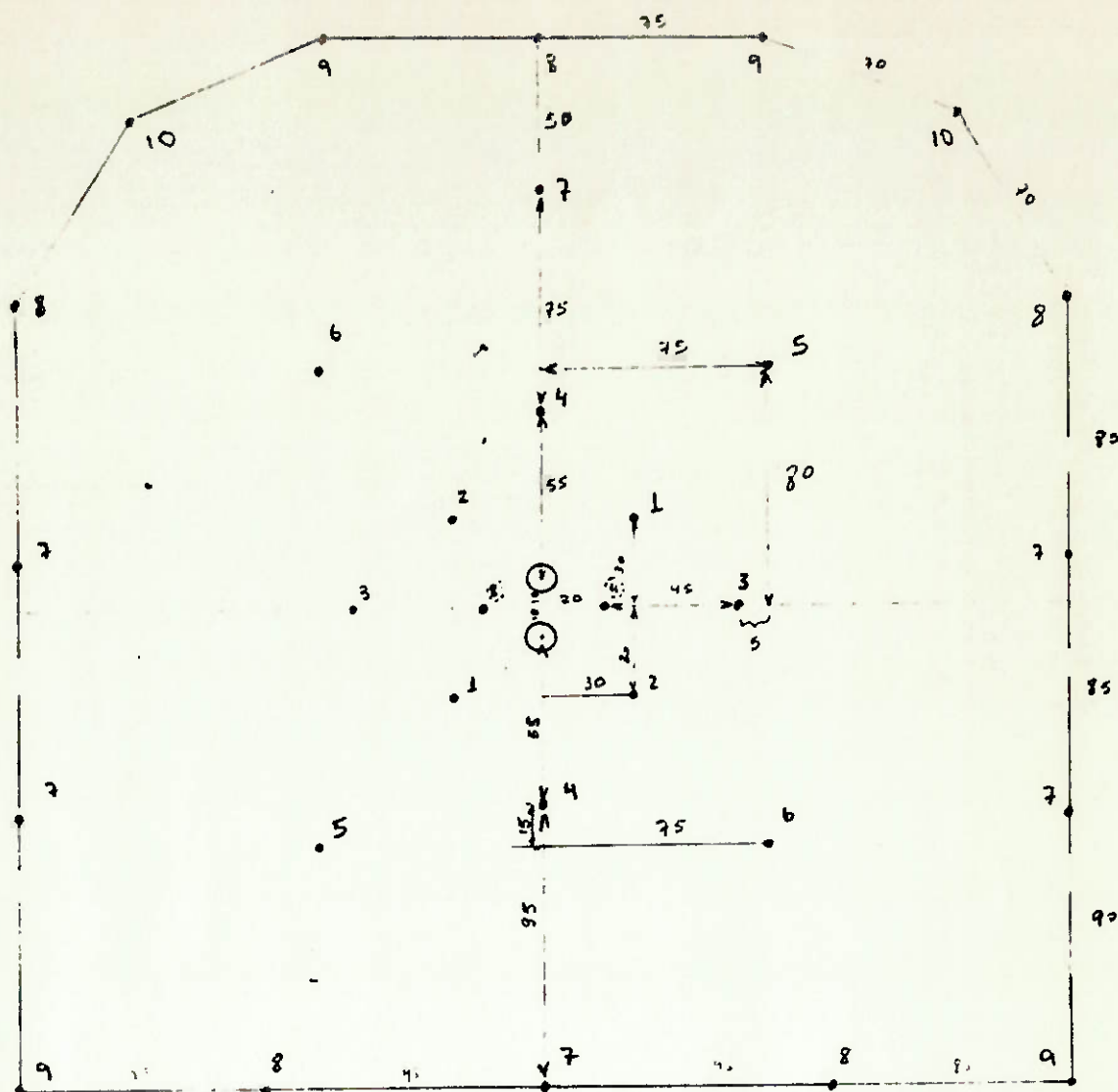
    clrscr ();
    my_rect (19,10,58,14,2);
    gotoxy (33,12);
    cprintf ("** FIM **");
    gotoxy (77,23);
    cprintf ("");
    delay (1500);
    window (1,1,80,25);
    clrscr ();
}

```

return 0;

}

/* ----- */

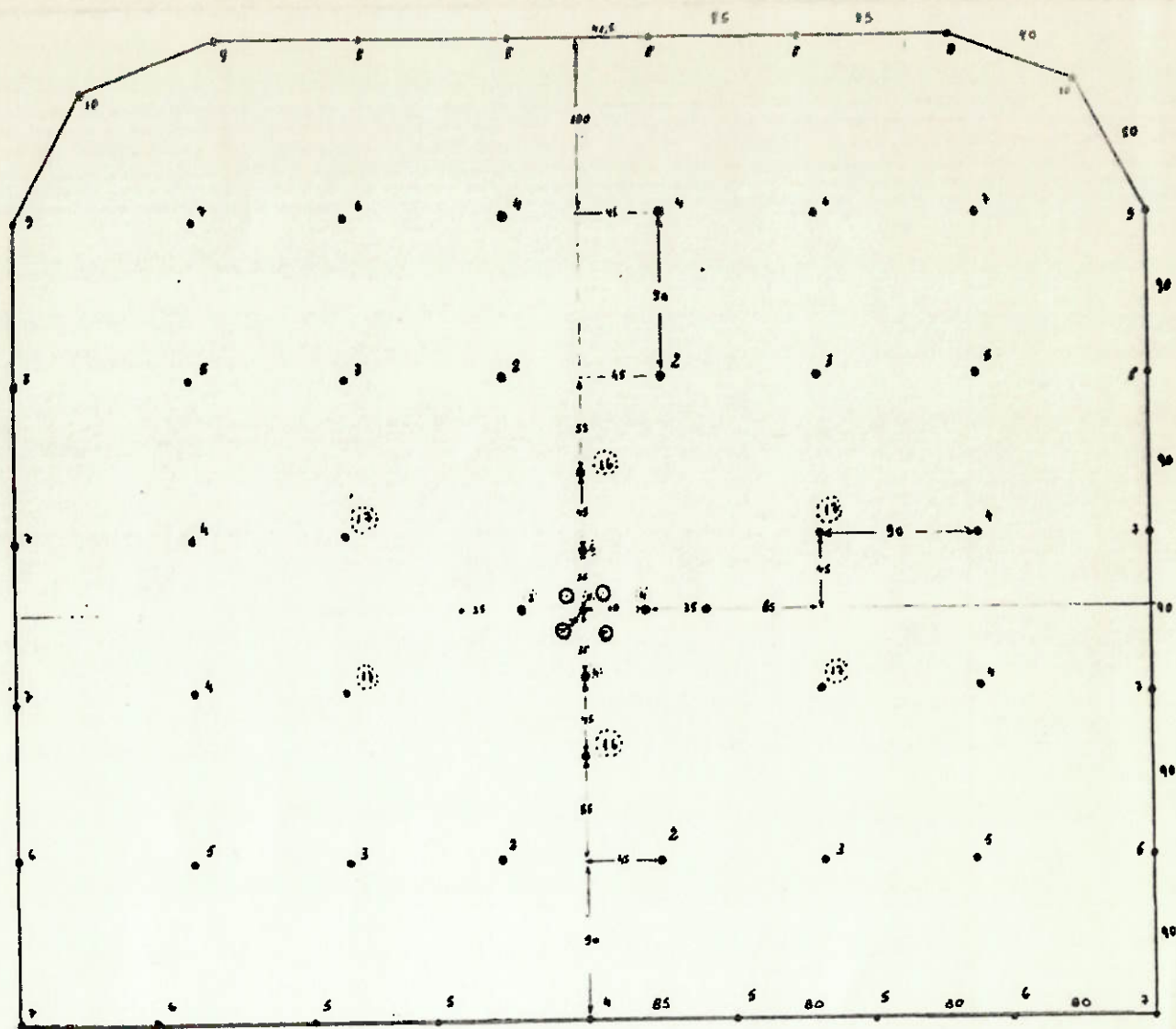


PLANO DE FOGO PARA CALCÁRIO

GALERIA : 3,5 X 3,5 m²

FUROS CENTRAIS : 4 pol.

FUROS DE MINA : 1 ³/₄ pol.



PLANO DE FOGO PARA CALCÁRIO

GALERIA : 6,5 X 6,5 m²

FUROS CENTRAIS : 4 pol.

FUROS DE MINA : 1 ³/₄ pol.

ANEXO G

Relatórios de Planos de Fogo

Túnel de Miranda

Mina do Baltar

* RELATORIO DE PLANO DE FOGO *

programa VOLADOR versao 1.0 1992

Empresa : TUNEL DE DESVIO DE MIRANDA
teste numero 1

DADOS DO PROJETO :

Largura da Galeria = 10.00 m
Altura da Galeria = 1.00 m
Altura da Abobada da Galeria = 5.00 m
Diametro do Furo de Alargamento = 76 mm
Diametro dos Furos de Mina = 38 mm
Desvio Esperado dos Furos de Contorno = 3 graus
Desvio Angular de Perfuracao = 10 mm/m
Desvio de Emboque = 20 mm

Constante da Rocha = 0.40

Forca-Peso do Explosivo = 0.85
Densidade do Explosivo = 1390 Kg/m³

Cartuchos Disponiveis :

25 mm de diametro (l = 0.68 Kg/m)
28 mm de diametro (l = 0.86 Kg/m)

-> Desmonte Cuidadoso.

-> Uso de Um Unico Tipo de Cartucho no Pilao.

RESULTADOS :

* PILAO UTILIZADO : de Tres Secoes

Comprimento das Perfuracoes = 2.4 m
Avanco Esperado = 2.3 m
Comprimento do Tampao do Furo de Mina = 0.38 m
Numero de Passos de Pilao = 4

* 1# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.09 m
Espacamento (E) = 0.09 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 0.68 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 25 mm
Carga por Furo (q) = 1.38 Kg

* 2# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.11 m
Espacamento (E) = 0.26 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 0.68 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 25 mm
Carga por Furo (q) = 1.38 Kg

* 3# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.24 m
Espacamento (E) = 0.63 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 0.68 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 25 mm
Carga por Furo (q) = 1.38 Kg

* 4# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.39 m
Espacamento (E) = 1.20 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 0.68 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 25 mm
Carga por Furo (q) = 1.38 Kg

* PARAMETROS DO PILAO :

Numero de furos = 11 (4 afastamentos no pilao)
Area do Pilao = 1.8 m² (Volume no banco = 4.2 m³)
Comprimento total perfurado = 26.5 m
- Razao de Perfuracao = 6.3 m/m³ de rocha
Concentracao Total de Carga = 16.6 Kg
- Razao de Carga Volmetrica = 4.0 Kg/m³ de rocha
- Concentracao Linear de Carga Media do Pilao = 0.6 Kg/m

* ALARGAMENTO DA SECAO : LEVANTE

Afastamento (V) = 0.65 m
Espacamento (E) = 0.79 m ((E) de canto = 0.66 m)
Comprimento da Carga = 2.03 m
Concentracao Linear de Carga = 0.68 Kg/m (Cartucho de 25 mm)
Carga por Furo (q) = 1.38 Kg
Numero de Furos = 14

* ALARGAMENTO DA SECAO : ALIVIO LATERAL

Afastamento (V) = 0.68 m
Espacamento (E) = 0.86 m
Comprimento da Carga = 2.03 m
Concentracao Linear de Carga = 0.68 Kg/m (Cartucho de 25 mm)
Carga por Furo (q) = 1.38 Kg
Numero de Furos = 11

* ALARGAMENTO DA SECAO : ALIVIO SUPERIOR

Afastamento (V) = 0.76 m
Espacamento (E) = 0.96 m
Comprimento da Carga = 2.03 m
Concentracao Linear de Carga = 0.68 Kg/m (Cartucho de 25 mm)
Carga por Furo (q) = 1.38 Kg
Numero de Furos = 4

* ALARGAMENTO DA SECAO : CONTORNO (com desmonte cuidadoso)

Afastamento (V) = 0.61 m
Espacamento (E) = 0.53 m
Comprimento da Carga = 2.03 m
Concentracao Linear de Carga = 0.68 Kg/m (Cartucho de 25 mm)
Carga por Furo (q) = 1.38 Kg
Numero de Furos = 35

* PARAMETROS DA SECAO DA GALERIA (com o Pilao) :

Numero de Furos Total = 75
Area Total = 43.3 m² (Volume no banco = 99.1 m³)
Comprimento Total Perfurado = 180.6 m
- Razao de Perfuracao = 1.8 m/m³ de rocha
Concentracao Total de Carga = 105.2 Kg
- Razao de Carga Volumetrica = 1.1 Kg/m³ de rocha
- Concentracao Linear de Carga Media = 0.6 Kg/m
Comprimento de perfuracao = 2.4 m (Avanco = 2.3 m)

Pilao Utilizado : de Quatro Secoes

Comprimento das Perfuracoes = 2.4 m
Avanco Esperado = 2.3 m
Comprimento do Tampao do Furo de Mina = 0.38 m
Numero de Passos de Pilao = 6

* 1# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.08 m
Espacamento (E) = 0.06 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 0.68 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 25 mm
Carga por Furo (q) = 1.40 Kg

* 2# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.09 m
Espacamento (E) = 0.14 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 0.68 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 25 mm
Carga por Furo (q) = 1.40 Kg

* 3# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.16 m
Espacamento (E) = 0.31 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 0.68 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 25 mm
Carga por Furo (q) = 1.40 Kg

* 4# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.26 m
Espacamento (E) = 0.57 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 0.68 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 25 mm
Carga por Furo (q) = 1.40 Kg

* 5# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.37 m
Espacamento (E) = 0.90 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 0.68 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 25 mm
Carga por Furo (q) = 1.40 Kg

* 6# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.47 m
Espacamento (E) = 1.28 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 0.68 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 25 mm
Carga por Furo (q) = 1.40 Kg

* PARAMETROS DO PILAO :

Numero de furos = 24 (6 afastamentos no pilao)
Area do Pilao = 1.6 m² (Volume no banco = 3.8 m³)
Comprimento total perfurado = 58.5 m
- Razao de Perfuracao = 15.3 m/m³ de rocha
Concentracao Total de Carga = 33.7 Kg
- Razao de Carga Volmetrica = 8.8 Kg/m³ de rocha
- Concentracao Linear de Carga Media do Pilao = 0.6 Kg/m

* ALARGAMENTO DA SECAO : LEVANTE

Afastamento (V) = 0.64 m
Espacamento (E) = 0.79 m ((E) de canto = 0.66 m)
Comprimento da Carga = 2.06 m
Concentracao Linear de Carga = 0.68 Kg/m (Cartucho de 25 mm)
Carga por Furo (q) = 1.40 Kg
Numero de Furos = 14

* ALARGAMENTO DA SECAO : ALIVIO LATERAL

Afastamento (V) = 0.68 m
Espacamento (E) = 0.86 m
Comprimento da Carga = 2.06 m

Concentracao Linear de Carga = 0.68 Kg/m (Cartucho de 25 mm)
Carga por Furo (q) = 1.40 Kg
Numero de Furos = 11

* ALARGAMENTO DA SECAO : ALIVIO SUPERIOR

Afastamento (V) = 0.76 m
Espacamento (E) = 0.96 m
Comprimento da Carga = 2.06 m
Concentracao Linear de Carga = 0.68 Kg/m (Cartucho de 25 mm)
Carga por Furo (q) = 1.40 Kg
Numero de Furos = 5

* ALARGAMENTO DA SECAO : CONTORNO (com desmonte cuidadoso)

Afastamento (V) = 0.61 m
Espacamento (E) = 0.53 m
Comprimento da Carga = 2.06 m
Concentracao Linear de Carga = 0.68 Kg/m (Cartucho de 25 mm)
Carga por Furo (q) = 1.40 Kg
Numero de Furos = 35

* PARAMETROS DA SECAO DA GALERIA (com o Pilao) :

Numero de Furos Total = 89
Area Total = 43.3 m² (Volume no banco = 100.4 m³)
Comprimento Total Perfurado = 217.0 m
- Razao de Perfuracao = 2.2 m/m³ de rocha
Concentracao Total de Carga = 125.0 Kg
- Razao de Carga Volumetrica = 1.2 Kg/m³ de rocha
- Concentracao Linear de Carga Media = 0.6 Kg/m
Comprimento de perfuracao = 2.4 m (Avanco = 2.3 m)

Pilao Utilizado : em Dupla Espiral

Comprimento das Perfuracoes = 3.1 m
Avanco Esperado = 2.9 m
Comprimento do Tampao do Furo de Mina = 0.38 m
Numero de Passos de Pilao = 7

* 1# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.08 m
Espacamento (E) = 0.04 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 0.68 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 25 mm
Carga por Furo (q) = 1.83 Kg

* 2# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.09 m

Espacamento (E) = 0.07 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 0.68 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 25 mm
Carga por Furo (q) = 1.83 Kg

* 3# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.13 m
Espacamento (E) = 0.14 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 0.68 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 25 mm
Carga por Furo (q) = 1.83 Kg

* 4# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.21 m
Espacamento (E) = 0.24 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 0.68 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 25 mm
Carga por Furo (q) = 1.83 Kg

* 5# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.31 m
Espacamento (E) = 0.43 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 0.68 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 25 mm
Carga por Furo (q) = 1.83 Kg

* 6# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.44 m
Espacamento (E) = 0.65 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 0.68 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 25 mm
Carga por Furo (q) = 1.83 Kg

* 7# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.52 m
Espacamento (E) = 0.65 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 0.68 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 25 mm
Carga por Furo (q) = 1.83 Kg

* PARAMETROS DO PILAO :

Numero de furos = 14 (7 afastamentos no pilao)
Area do Pilao = 6.9 m² (Volume no banco = 20.1 m³)
Comprimento total perfurado = 42.9 m
- Razao de Perfuracao = 2.1 m/m³ de rocha
Concentracao Total de Carga = 25.6 Kg
- Razao de Carga Volmetrica = 1.3 Kg/m³ de rocha
- Concentracao Linear de Carga Media do Pilao = 0.6 Kg/m

* ALARGAMENTO DA SECAO : LEVANTE

Afastamento (V) = 0.61 m
Espacamento (E) = 0.79 m ((E) de canto = 0.63 m)
Comprimento da Carga = 2.68 m
Concentracao Linear de Carga = 0.68 Kg/m (Cartucho de 25 mm)
Carga por Furo (q) = 1.83 Kg
Numero de Furos = 14

* ALARGAMENTO DA SECAO : ALIVIO LATERAL

Afastamento (V) = 0.67 m
Espacamento (E) = 0.85 m
Comprimento da Carga = 2.68 m
Concentracao Linear de Carga = 0.68 Kg/m (Cartucho de 25 mm)
Carga por Furo (q) = 1.83 Kg
Numero de Furos = 9

* ALARGAMENTO DA SECAO : ALIVIO SUPERIOR

Afastamento (V) = 0.75 m
Espacamento (E) = 0.95 m
Comprimento da Carga = 2.68 m
Concentracao Linear de Carga = 0.68 Kg/m (Cartucho de 25 mm)
Carga por Furo (q) = 1.83 Kg
Numero de Furos = 3

* ALARGAMENTO DA SECAO : CONTORNO (com desmonte cuidadoso)

Afastamento (V) = 0.60 m
Espacamento (E) = 0.52 m
Comprimento da Carga = 2.68 m
Concentracao Linear de Carga = 0.68 Kg/m (Cartucho de 25 mm)
Carga por Furo (q) = 1.83 Kg
Numero de Furos = 35

* PARAMETROS DA SECAO DA GALERIA (com o Pilao) :

Numero de Furos Total = 75
Area Total = 43.3 m² (Volume no banco = 126.1 m³)
Comprimento Total Perfurado = 229.7 m
- Razao de Perfuracao = 1.8 m/m³ de rocha
Concentracao Total de Carga = 137.3 Kg
- Razao de Carga Volumetrica = 1.1 Kg/m³ de rocha
- Concentracao Linear de Carga Media = 0.6 Kg/m
Comprimento de perfuracao = 3.1 m (Avanco = 2.9 m)

Pilao Utilizado : Taby

Comprimento das Perfuracoes = 2.1 m
Avanco Esperado = 2.0 m
Comprimento do Tampao do Furo de Mina = 0.38 m

Numero de Passos de Pilao = 6

* 1# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.09 m
Espacamento (E) = 0.09 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 0.68 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 25 mm
Carga por Furo (q) = 1.20 Kg
Coordenada do Furo no 1# Quadrante = (0.09, 0.00)

* 2# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.12 m
Espacamento (E) = 0.20 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 0.68 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 25 mm
Carga por Furo (q) = 1.20 Kg
Coordenada do Furo no 1# Quadrante = (-0.09, 0.11)

* 3# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.20 m
Espacamento (E) = 0.32 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 0.68 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 25 mm
Carga por Furo (q) = 1.20 Kg
Coordenada do Furo no 1# Quadrante = (0.09, 0.20)

* 4# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.27 m
Espacamento (E) = 0.55 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 0.68 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 25 mm
Carga por Furo (q) = 1.20 Kg
Coordenada do Furo no 1# Quadrante = (-0.09, 0.36)

* 5# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.36 m
Espacamento (E) = 0.79 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 0.68 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 25 mm
Carga por Furo (q) = 1.20 Kg
Coordenada do Furo no 1# Quadrante = (0.45, 0.00)

* 6# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.44 m
Espacamento (E) = 0.53 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 0.68 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 25 mm
Carga por Furo (q) = 1.20 Kg

Coordenada do Furo no 1º Quadrante = (0.45, 0.36)

* PARAMETROS DO PILAO :

Numero de furos = 14 (6 afastamentos no pilao)
Area do Pilao = 0.6 m² (Volume no banco = 1.3 m³)
Comprimento total perfurado = 29.9 m
- Razao de Perfuracao = 23.0 m/m³ de rocha
Concentracao Total de Carga = 14.4 Kg
- Razao de Carga Volmetrica = 11.1 Kg/m³ de rocha
- Concentracao Linear de Carga Media do Pilao = 0.5 Kg/m

* ALARGAMENTO DA SECAO : LEVANTE

Afastamento (V) = 0.66 m
Espacamento (E) = 0.79 m ((E) de canto = 0.67 m)
Comprimento da Carga = 1.76 m
Concentracao Linear de Carga = 0.68 Kg/m (Cartucho de 25 mm)
Carga por Furo (q) = 1.20 Kg
Numero de Furos = 14

* ALARGAMENTO DA SECAO : ALIVIO LATERAL

Afastamento (V) = 0.68 m
Espacamento (E) = 0.86 m
Comprimento da Carga = 1.76 m
Concentracao Linear de Carga = 0.68 Kg/m (Cartucho de 25 mm)
Carga por Furo (q) = 1.20 Kg
Numero de Furos = 12

* ALARGAMENTO DA SECAO : ALIVIO SUPERIOR

Afastamento (V) = 0.76 m
Espacamento (E) = 0.96 m
Comprimento da Carga = 1.76 m
Concentracao Linear de Carga = 0.68 Kg/m (Cartucho de 25 mm)
Carga por Furo (q) = 1.20 Kg
Numero de Furos = 5

* ALARGAMENTO DA SECAO : CONTORNO (com desmonte cuidadoso)

Afastamento (V) = 0.62 m
Espacamento (E) = 0.53 m
Comprimento da Carga = 1.76 m
Concentracao Linear de Carga = 0.68 Kg/m (Cartucho de 25 mm)
Carga por Furo (q) = 1.20 Kg
Numero de Furos = 35

* PARAMETROS DA SECAO DA GALERIA (com o Pilao) :

Numero de Furos Total = 80
Area Total = 43.3 m² (Volume no banco = 88.0 m³)
Comprimento Total Perfurado = 171.0 m
- Razao de Perfuracao = 1.9 m/m³ de rocha

Concentracao Total de Carga = 93.5 Kg
- Razao de Carga Volumetrica = 1.1 Kg/m³ de rocha
- Concentracao Linear de Carga Media = 0.5 Kg/m
Comprimento de perfuracao = 2.1 m (Avanco = 2.0 m)

* RELATORIO DE PLANO DE FOGO *

programa VOLADOR versao 1.0 1992

Empresa : VOTORANTIM S.A.
teste numero 2

DADOS DO PROJETO :

Largura da Galeria = 6.50 m
Altura da Galeria = 4.50 m
Altura da Abobada da Galeria = 1.00 m
Diametro do Furo de Alargamento = 102 mm
Diametro dos Furos de Mina = 45 mm
Desvio Esperado dos Furos de Contorno = 3 graus
Desvio Angular de Perfuracao = 10 mm/m
Desvio de Emboque = 20 mm

Constante da Rocha = 0.40
Densidade da Rocha = 2600 Kg/m³

Forca-Peso do Explosivo = 0.92
Energia do Explosivo = 3.53 MJ/Kg
Producao de Gas nas CNTP = 0.95 m³/Kg
Densidade do Explosivo = 1100 Kg/m³

Cartuchos Disponiveis :

25 mm de diametro (l = 0.54 Kg/m)
32 mm de diametro (l = 0.88 Kg/m)
38 mm de diametro (l = 1.25 Kg/m)

Preco do Explosivo = 2.08 unid. mon./ Kg
Custo do Homem-hora = 1.30 unid. mon./ h
Velocidade de Perfuracao do Equipamento = 107.0 m/h

RESULTADOS :

* PILAO UTILIZADO : de Tres Secoes

Comprimento das Perfuracoes = 3.1 m
Avanco Esperado = 2.9 m
Comprimento do Tampao do Furo de Mina = 0.45 m
Numero de Passos de Pilao = 3

* 1# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.12 m

Espacamento (E) = 0.14 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 0.88 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 32 mm
Carga por Furo (q) = 2.31 Kg

* 2# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.21 m
Espacamento (E) = 0.48 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 1.25 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 38 mm
Carga por Furo (q) = 3.26 Kg

* 3# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.44 m
Espacamento (E) = 1.17 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 1.25 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 38 mm
Carga por Furo (q) = 3.26 Kg

* PARAMETROS DO PILAO :

Numero de furos = 8 (3 afastamentos no pilao)
Area do Pilao = 1.6 m² (Volume no banco = 4.8 m³)
Comprimento total perfurado = 24.5 m
- Razao de Perfuracao = 5.1 m/m³ de rocha
Concentracao Total de Carga = 26.5 Kg
- Razao de Carga Volmetrica = 5.5 Kg/m³ de rocha
- Concentracao Linear de Carga Media do Pilao = 1.1 Kg/m

* PARAMETROS ECONOMICOS :

Toneladas Produzidas = 12.4 t

Custos Expeditos : PILAO
(Englobam apenas gasto com mao-de-obra e explosivo)

-> Custo de Perfuracao = 0.40 (unid. monetaria)

-> Custo de Detonacao = 55.38 (unid. monetaria)

--> Custo Total = 55.78 (unid. monetaria)

Relacao (perf./deton.) = 0.01

Custo por Tonelada = 4.49 (unid. mon./t)

* ALARGAMENTO DA SECAO : LEVANTE

Afastamento (V) = 0.97 m
Espacamento (E) = 1.14 m ((E) de canto = 0.98 m)
Comprimento da Carga de Fundo = 1.22 m
Concentracao Linear de Carga = 1.25 Kg/m (Cartucho de 38 mm)
Comprimento da Carga de Coluna = 1.40 m
Concentracao Linear de Carga = 0.88 Kg/m (Cartucho de 32 mm)
Carga por Furo (q) = 2.75 Kg
Numero de Furos = 7

* ALARGAMENTO DA SECAO : ALIVIO LATERAL

Afastamento (V) = 1.00 m
Espacamento (E) = 1.26 m
Comprimento da Carga de Fundo = 1.25 m
Concentracao Linear de Carga = 1.25 Kg/m (Cartucho de 38 mm)
Comprimento da Carga de Coluna = 1.36 m
Concentracao Linear de Carga = 0.88 Kg/m (Cartucho de 32 mm)
Carga por Furo (q) = 2.76 Kg
Numero de Furos = 3

* ALARGAMENTO DA SECAO : ALIVIO SUPERIOR

Afastamento (V) = 1.11 m
Espacamento (E) = 1.40 m
Comprimento da Carga de Fundo = 1.39 m
Concentracao Linear de Carga = 1.25 Kg/m (Cartucho de 38 mm)
Comprimento da Carga de Coluna = 1.22 m
Concentracao Linear de Carga = 0.88 Kg/m (Cartucho de 32 mm)
Carga por Furo (q) = 2.81 Kg
Numero de Furos = 2

* ALARGAMENTO DA SECAO : CONTORNO

Afastamento (V) = 1.11 m
Espacamento (E) = 1.11 m
Comprimento da Carga de Fundo = 1.39 m
Concentracao Linear de Carga = 1.25 Kg/m (Cartucho de 38 mm)
Comprimento da Carga de Coluna = 1.22 m
Concentracao Linear de Carga = 0.88 Kg/m (Cartucho de 32 mm)
Carga por Furo (q) = 2.81 Kg
Numero de Furos = 13

* PARAMETROS DA SECAO DA GALERIA (com o Pilao) :

Numero de Furos Total = 33
Area Total = 33.6 m² (Volume no banco = 97.6 m³)
Comprimento Total Perfurado = 101.0 m
- Razao de Perfuracao = 1.0 m/m³ de rocha
Concentracao Total de Carga = 96.2 Kg
- Razao de Carga Volumetrica = 1.0 Kg/m³ de rocha
- Concentracao Linear de Carga Media = 1.0 Kg/m
Comprimento de perfuracao = 3.1 m (Avanco = 2.9 m)

* PARAMETROS ECONOMICOS :

Toneladas Produzidas = 253.9 t

Custos Exeditos : TOTAL

(Englobam apenas gasto com mao-de-obra e explosivo)

-> Custo de Perfuracao = 1.52 (unid. monetaria)

-> Custo de Detonacao = 201.47 (unid. monetaria)

--> Custo Total = 202.99 (unid. monetaria)

Relacao (perf./deton.) = 0.01

Custo por Tonelada = 0.80 (unid. mon./t)

Pilao Utilizado : de Quatro Secoes

Comprimento das Perfuracoes = 3.1 m

Avanco Esperado = 3.0 m

Comprimento do Tampao do Furo de Mina = 0.45 m

Numero de Passos de Pilao = 4

* 1# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.12 m

Espacamento (E) = 0.10 m

Concentracao Linear de Carga (l) = 0.88 Kg/m

Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 32 mm

Carga por Furo (q) = 2.36 Kg

* 2# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.17 m

Espacamento (E) = 0.29 m

Concentracao Linear de Carga (l) = 1.25 Kg/m

Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 38 mm

Carga por Furo (q) = 3.33 Kg

* 3# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.33 m

Espacamento (E) = 0.65 m

Concentracao Linear de Carga (l) = 1.25 Kg/m

Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 38 mm

Carga por Furo (q) = 3.33 Kg

* 4# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.52 m

Espacamento (E) = 1.17 m

Concentracao Linear de Carga (l) = 1.25 Kg/m

Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 38 mm

Carga por Furo (q) = 3.33 Kg

* PARAMETROS DO PILAO :

Numero de furos = 16 (4 afastamentos no pilao)

Area do Pilao = 1.4 m² (Volume no banco = 4.1 m³)

Comprimento total perfurado = 49.9 m

- Razao de Perfuracao = 12.3 m/m³ de rocha

Concentracao Total de Carga = 49.4 Kg

- Razao de Carga Volmetrica = 12.2 Kg/m³ de rocha

- Concentracao Linear de Carga Media do Pilao = 1.0 Kg/m

* PARAMETROS ECONOMICOS :

Toneladas Produzidas = 10.6 t

Custos Exeditos : PILAO

(Englobam apenas gasto com mao-de-obra e explosivo)

-> Custo de Perfuracao = 0.77 (unid. monetaria)

-> Custo de Detonacao = 103.31 (unid. monetaria)

--> Custo Total = 104.09 (unid. monetaria)

Relacao (perf./deton.) = 0.01

Custo por Tonelada = 9.86 (unid. mon./t)

* ALARGAMENTO DA SECAD : LEVANTE

Afastamento (V) = 0.97 m

Espacamento (E) = 1.14 m ((E) de canto = 0.97 m)

Comprimento da Carga de Fundo = 1.21 m

Concentracao Linear de Carga = 1.25 Kg/m (Cartucho de 38 mm)

Comprimento da Carga de Coluna = 1.46 m

Concentracao Linear de Carga = 0.88 Kg/m (Cartucho de 32 mm)

Carga por Furo (q) = 2.80 Kg

Numero de Furos = 7

* ALARGAMENTO DA SECAO : ALIVIO LATERAL

Afastamento (V) = 1.00 m
Espacamento (E) = 1.26 m
Comprimento da Carga de Fundo = 1.25 m
Concentracao Linear de Carga = 1.25 Kg/m (Cartucho de 38 mm)
Comprimento da Carga de Coluna = 1.42 m
Concentracao Linear de Carga = 0.88 Kg/m (Cartucho de 32 mm)
Carga por Furo (q) = 2.81 Kg
Numero de Furos = 3

* ALARGAMENTO DA SECAO : ALIVIO SUPERIOR

Afastamento (V) = 1.11 m
Espacamento (E) = 1.40 m
Comprimento da Carga de Fundo = 1.39 m
Concentracao Linear de Carga = 1.25 Kg/m (Cartucho de 38 mm)
Comprimento da Carga de Coluna = 1.28 m
Concentracao Linear de Carga = 0.88 Kg/m (Cartucho de 32 mm)
Carga por Furo (q) = 2.86 Kg
Numero de Furos = 2

* ALARGAMENTO DA SECAO : CONTORNO

Afastamento (V) = 1.11 m
Espacamento (E) = 1.11 m
Comprimento da Carga de Fundo = 1.39 m
Concentracao Linear de Carga = 1.25 Kg/m (Cartucho de 38 mm)
Comprimento da Carga de Coluna = 1.28 m
Concentracao Linear de Carga = 0.88 Kg/m (Cartucho de 32 mm)
Carga por Furo (q) = 2.86 Kg
Numero de Furos = 13

* PARAMETROS DA SECAO DA GALERIA (com o Pilao) :

Numero de Furos Total = 41
Area Total = 33.6 m² (Volume no banco = 99.4 m³)
Comprimento Total Perfurado = 127.8 m
- Razao de Perfuracao = 1.3 m/m³ de rocha
Concentracao Total de Carga = 120.3 Kg
- Razao de Carga Volumetrica = 1.2 Kg/m³ de rocha
- Concentracao Linear de Carga Media = 0.9 Kg/m
Comprimento de perfuracao = 3.1 m (Avanco = 3.0 m)

* PARAMETROS ECONOMICOS :

Toneladas Produzidas = 258.5 t

Custos Expeditos : TOTAL
(Englobam apenas gasto com mao-de-obra e explosivo)

-> Custo de Perfuracao = 1.91 (unid. monetaria)
-> Custo de Detonacao = 251.95 (unid. monetaria)

--> Custo Total = 253.86 (unid. monetaria)

Relacao (perf./deton.) = 0.01

Custo por Tonelada = 0.98 (unid. mon./t)

Pilao Utilizado : em Dupla Espiral

Comprimento das Perfuracoes = 3.8 m
Avanco Esperado = 3.7 m
Comprimento do Tampao do Furo de Mina = 0.45 m
Numero de Passos de Pilao = 7

* 1# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.11 m
Espacamento (E) = 0.07 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 0.88 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 32 mm
Carga por Furo (q) = 3.00 Kg

* 2# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.18 m
Espacamento (E) = 0.13 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 1.25 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 38 mm
Carga por Furo (q) = 4.23 Kg

* 3# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.25 m
Espacamento (E) = 0.32 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 1.25 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 38 mm
Carga por Furo (q) = 4.23 Kg

* 4# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.43 m
Espacamento (E) = 0.52 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 1.25 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 38 mm
Carga por Furo (q) = 4.23 Kg

* 5# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.62 m
Espacamento (E) = 0.95 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 1.25 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 38 mm
Carga por Furo (q) = 4.23 Kg

* 6# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.88 m
Espacamento (E) = 1.36 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 1.25 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 38 mm
Carga por Furo (q) = 4.23 Kg

* 7# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 1.01 m
Espacamento (E) = 1.36 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 1.25 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 38 mm
Carga por Furo (q) = 4.23 Kg

* PARAMETROS DO PILAO :

Numero de furos = 14 (7 afastamentos no pilao)
Area do Pilao = 4.4 m² (Volume no banco = 16.1 m³)
Comprimento total perfurado = 53.8 m
- Razao de Perfuracao = 3.3 m/m³ de rocha
Concentracao Total de Carga = 56.8 Kg
- Razao de Carga Volmetrica = 3.5 Kg/m³ de rocha
- Concentracao Linear de Carga Media do Pilao = 1.1 Kg/m

* PARAMETROS ECONOMICOS :

Toneladas Produzidas = 41.8 t

Custos Exeditos : PILAO
(Englobam apenas gasto com mao-de-obra e explosivo)

-> Custo de Perfuracao = 0.84 (unid. monetaria)
-> Custo de Detonacao = 118.86 (unid. monetaria)

--> Custo Total = 119.70 (unid. monetaria)

Relacao (perf./deton.) = 0.01

Custo por Tonelada = 2.86 (unid. mon./t)

* ALARGAMENTO DA SECAO : LEVANTE

Afastamento (V) = 0.92 m
Espacamento (E) = 1.15 m ((E) de canto = 0.95 m)
Comprimento da Carga de Fundo = 1.15 m
Concentracao Linear de Carga = 1.25 Kg/m (Cartucho de 38 mm)
Comprimento da Carga de Coluna = 2.24 m
Concentracao Linear de Carga = 0.88 Kg/m (Cartucho de 32 mm)
Carga por Furo (q) = 3.42 Kg
Numero de Furos = 7

* ALARGAMENTO DA SECAO : ALIVIO LATERAL

Afastamento (V) = 0.99 m
Espacamento (E) = 1.25 m
Comprimento da Carga de Fundo = 1.24 m
Concentracao Linear de Carga = 1.25 Kg/m (Cartucho de 38 mm)
Comprimento da Carga de Coluna = 2.15 m
Concentracao Linear de Carga = 0.88 Kg/m (Cartucho de 32 mm)
Carga por Furo (q) = 3.45 Kg
Numero de Furos = 2

* ALARGAMENTO DA SECAO : ALIVIO SUPERIOR

Afastamento (V) = 1.10 m
Espacamento (E) = 1.39 m
Comprimento da Carga de Fundo = 1.38 m
Concentracao Linear de Carga = 1.25 Kg/m (Cartucho de 38 mm)
Comprimento da Carga de Coluna = 2.01 m
Concentracao Linear de Carga = 0.88 Kg/m (Cartucho de 32 mm)
Carga por Furo (q) = 3.50 Kg
Numero de Furos = 1

* ALARGAMENTO DA SECAO : CONTORNO

Afastamento (V) = 1.10 m
Espacamento (E) = 1.10 m
Comprimento da Carga de Fundo = 1.38 m
Concentracao Linear de Carga = 1.25 Kg/m (Cartucho de 38 mm)
Comprimento da Carga de Coluna = 2.01 m
Concentracao Linear de Carga = 0.88 Kg/m (Cartucho de 32 mm)
Carga por Furo (q) = 3.50 Kg
Numero de Furos = 14

* PARAMETROS DA SECAO DA GALERIA (com o Pilao) :

Numero de Furos Total = 38
Area Total = 33.6 m² (Volume no banco = 122.6 m³)
Comprimento Total Perfurado = 146.0 m
- Razao de Perfuracao = 1.2 m/m³ de rocha
Concentracao Total de Carga = 140.2 Kg
- Razao de Carga Volumetrica = 1.1 Kg/m³ de rocha
- Concentracao Linear de Carga Media = 1.0 Kg/m
Comprimento de perfuracao = 3.8 m (Avanco = 3.7 m)

* PARAMETROS ECONOMICOS :

Toneladas Produzidas = 318.8 t

Custos Expeditos : TOTAL

(Englobam apenas gasto com mao-de-obra e explosivo)

-> Custo de Perfuracao = 2.19 (unid. monetaria)

-> Custo de Detonacao = 293.52 (unid. monetaria)

--> Custo Total = 295.70 (unid. monetaria)

Relacao (perf./deton.) = 0.01

Custo por Tonelada = 0.93 (unid. mon./t)

Pilao Utilizado : Taby

Comprimento das Perfuracoes = 2.7 m

Avanco Esperado = 2.5 m

Comprimento do Tampao do Furo de Mina = 0.45 m

Numero de Passos de Pilao = 6

* 1# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.13 m

Espacamento (E) = 0.14 m

Concentracao Linear de Carga (l) = 0.88 Kg/m

Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 32 mm

Carga por Furo (q) = 1.96 Kg

Coordenada do Furo no 1# Quadrante = (0.13, 0.00)

* 2# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.22 m

Espacamento (E) = 0.35 m

Concentracao Linear de Carga (l) = 1.25 Kg/m

Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 38 mm

Carga por Furo (q) = 2.76 Kg

Coordenada do Furo no 1# Quadrante = (-0.13, 0.20)

* 3# PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.37 m

Espacamento (E) = 0.59 m

Concentracao Linear de Carga (l) = 1.25 Kg/m

Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 38 mm

Carga por Furo (q) = 2.76 Kg
Coordenada do Furo no 1º Quadrante = (0.13, 0.37)

* 4º PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.49 m
Espacamento (E) = 1.04 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 1.25 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 38 mm
Carga por Furo (q) = 2.76 Kg
Coordenada do Furo no 1º Quadrante = (-0.13, 0.65)

* 5º PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.67 m
Espacamento (E) = 1.49 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 1.25 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 38 mm
Carga por Furo (q) = 2.76 Kg
Coordenada do Furo no 1º Quadrante = (0.80, 0.00)

* 6º PASSO DO PILAO :

Afastamento (encargo) (V) = 0.81 m
Espacamento (E) = 0.98 m
Concentracao Linear de Carga (l) = 1.25 Kg/m
Diametro do Cartucho Utilizado (d) = 38 mm
Carga por Furo (q) = 2.76 Kg
Coordenada do Furo no 1º Quadrante = (0.80, 0.65)

* PARAMETROS DO PILAO :

Numero de furos = 14 (6 afastamentos no pilao)
Area do Pilao = 2.1 m² (Volume no banco = 5.2 m³)
Comprimento total perfurado = 37.3 m
- Razao de Perfuracao = 7.1 m/m³ de rocha
Concentracao Total de Carga = 31.5 Kg
- Razao de Carga Volmetrica = 6.0 Kg/m³ de rocha
- Concentracao Linear de Carga Media do Pilao = 0.8 Kg/m

* PARAMETROS ECONOMICOS :

Toneladas Produzidas = 13.6 t

Custos Expeditos : PILAO
(Englobam apenas gasto com mao-de-obra e explosivo)

-> Custo de Perfuracao = 0.58 (unid. monetaria)
-> Custo de Detonacao = 66.00 (unid. monetaria)

--> Custo Total = 66.58 (unid. monetaria)

Relacao (perf./deton.) = 0.01

Custo por Tonelada = 4.89 (unid. mon./t)

* ALARGAMENTO DA SECAO : LEVANTE

Afastamento (V) = 1.00 m

Espacamento (E) = 1.13 m ((E) de canto = 0.99 m)

Comprimento da Carga de Fundo = 1.25 m

Concentracao Linear de Carga = 1.25 Kg/m (Cartucho de 38 mm)

Comprimento da Carga de Coluna = 0.96 m

Concentracao Linear de Carga = 0.88 Kg/m (Cartucho de 32 mm)

Carga por Furo (q) = 2.41 Kg

Numero de Furos = 7

* ALARGAMENTO DA SECAO : ALIVIO LATERAL

Afastamento (V) = 1.00 m

Espacamento (E) = 1.27 m

Comprimento da Carga de Fundo = 1.25 m

Concentracao Linear de Carga = 1.25 Kg/m (Cartucho de 38 mm)

Comprimento da Carga de Coluna = 0.96 m

Concentracao Linear de Carga = 0.88 Kg/m (Cartucho de 32 mm)

Carga por Furo (q) = 2.41 Kg

Numero de Furos = 3

* ALARGAMENTO DA SECAO : ALIVIO SUPERIOR

Afastamento (V) = 1.12 m

Espacamento (E) = 1.41 m

Comprimento da Carga de Fundo = 1.39 m

Concentracao Linear de Carga = 1.25 Kg/m (Cartucho de 38 mm)

Comprimento da Carga de Coluna = 0.82 m

Concentracao Linear de Carga = 0.88 Kg/m (Cartucho de 32 mm)

Carga por Furo (q) = 2.46 Kg

Numero de Furos = 2

* ALARGAMENTO DA SECAO : CONTORNO

Afastamento (V) = 1.12 m

Espacamento (E) = 1.12 m

Comprimento da Carga de Fundo = 1.39 m

Concentracao Linear de Carga = 1.25 Kg/m (Cartucho de 38 mm)

Comprimento da Carga de Coluna = 0.82 m

Concentracao Linear de Carga = 0.88 Kg/m (Cartucho de 32 mm)

Carga por Furo (q) = 2.46 Kg

Numero de Furos = 13

* PARAMETROS DA SECAO DA GALERIA (com o Pilao) :

Numero de Furos Total = 39

Area Total = 33.6 m² (Volume no banco = 84.9 m³)

Comprimento Total Perfurado = 103.8 m

- Razao de Perfuracao = 1.2 m/m³ de rocha

Concentracao Total de Carga = 92.5 Kg

- Razao de Carga Volumetrica = 1.1 Kg/m³ de rocha

- Concentracao Linear de Carga Media = 0.9 Kg/m

Comprimento de perfuracao = 2.7 m (Avanco = 2.5 m)

* PARAMETROS ECONOMICOS :

Toneladas Produzidas = 220.7 t

Custos Expeditos : TOTAL

(Englobam apenas gasto com mao-de-obra e explosivo)

-> Custo de Perfuracao = 1.55 (unid. monetaria)

-> Custo de Detonacao = 193.80 (unid. monetaria)

--> Custo Total = 195.35 (unid. monetaria)

Relacao (perf./deton.) = 0.01

Custo por Tonelada = 0.89 (unid. mon./t)
