



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

**PMI-3101 INTRODUÇÃO À ENGENHARIA APLICADA À
INDÚSTRIA MINERAL**

AULA 3 – DESMONTE DE ROCHA POR EXPLOSIVOS

Wilson Siguemasa Iramina

São Paulo, 27 de março de 2017

PARTE I - INTRODUÇÃO À PERFURAÇÃO E DESMONTE

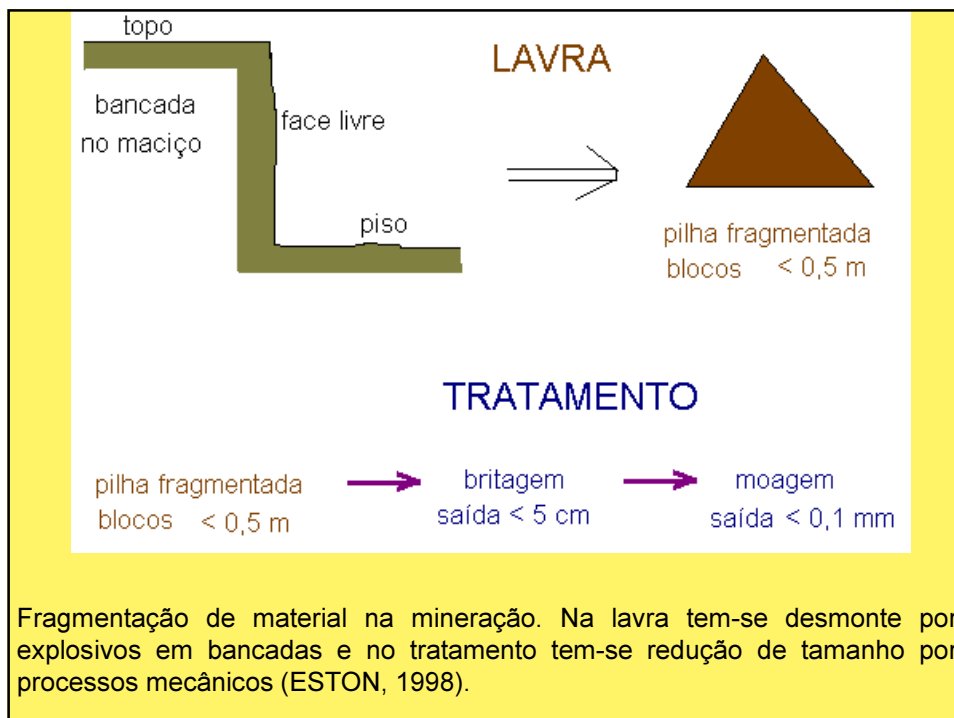
1. OBJETIVOS
2. DESMONTE DE ROCHA
3. ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DO PLANO DE FOGO -
— DIMENSIONAMENTO DO PLANO DE FOGO - INTRODUÇÃO
4. PROJETO DE DESMONTE DE ROCHA
5. OPERAÇÕES SUBSEQÜENTES
6. EXPLOSIVOS

DESMONTE DE ROCHA NA MINERAÇÃO

1. OBJETIVOS

Atenção: Não é a fragmentação pura e simples do maciço rochoso

O uso de explosivos na mineração tem por objetivo primordial a recuperação de certos minerais existentes no maciço rochoso. Esta recuperação envolve a fragmentação da rocha em diversas escalas. Portanto, a fragmentação na mineração envolve desde a cuidadosa separação de grandes blocos de rochas ornamentais até a moagem para a obtenção de pó de minério.



Fragmentação de material na mineração. Na lavra tem-se desmonte por explosivos em bancadas e no tratamento tem-se redução de tamanho por processos mecânicos (ESTON, 1998).

OBJETIVOS DO DESMONTE DE ROCHA

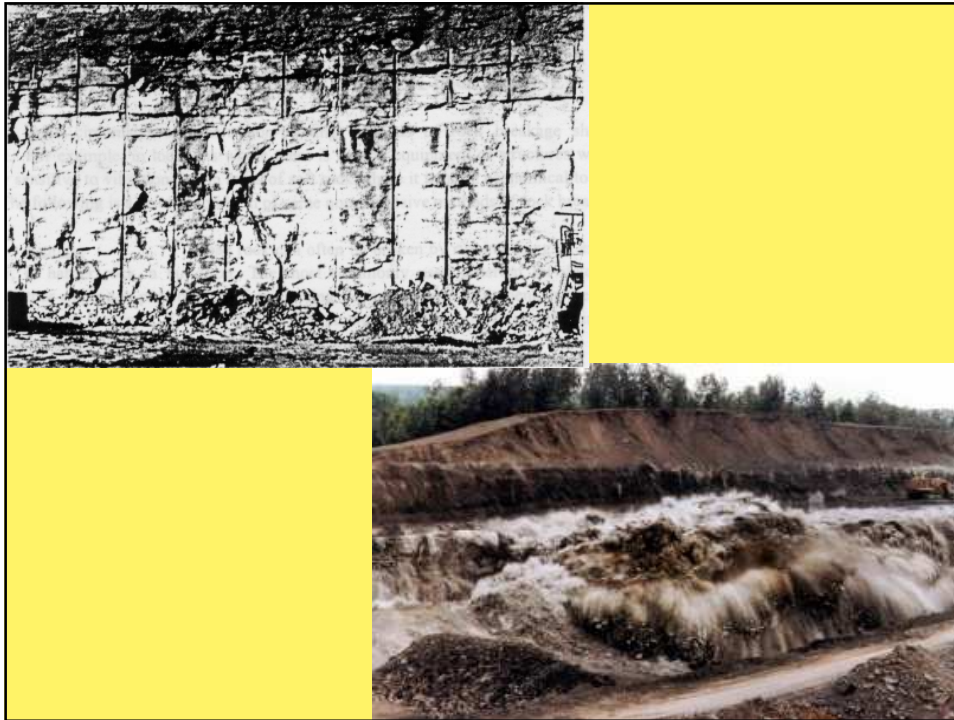
- Fragmentação e distribuição granulométrica adequadas que permitem carregamento, transporte, manuseio e beneficiamento eficientes (forma adequada, sem excesso de finos ou blocos muito grandes);
- Formação da pilha de material desmontado;
- Danos pouco significativos ao maciço remanescente;
- Minimização de impactos ambientais;
- Otimizar os custos, inclusive os das operações subsequentes.

2. DESMONTE DE ROCHA

O problema central do desmonte por explosivos é sua otimização, o que envolve aspectos da perfuração, da carga explosiva nos furos e da detonação em si. Estes aspectos serão discutidos nas próximas aulas, com a apresentação dos parâmetros necessários em um projeto de desmonte de rochas.

2.1. DESMONTE PRIMÁRIO

Pode ser chamado também de desmonte de produção. O objetivo é fragmentar e liberar a rocha preparando-a para a sua escavação através de pás-carregadoras, escavadoras, “draglines” ou tratores. O montante de preparação ou condicionamento da rocha, a ser feito pelo desmonte por explosivos, depende tanto das características do maciço rochoso, como do tipo, tamanho e modo de operação do equipamento de escavação.



2.2. Desmorte secundário

Quando o desmorte primário não produz blocos com tamanhos adequados para as operações subseqüentes (blocos muito grandes) há a necessidade de novos desmontes.

- “Fogacho” – uso restrito em minerações e pedreiras localizadas em áreas urbanas;
- Martelo rompedor hidráulico;
- “Drop Ball”;
- Bolder buster, etc.

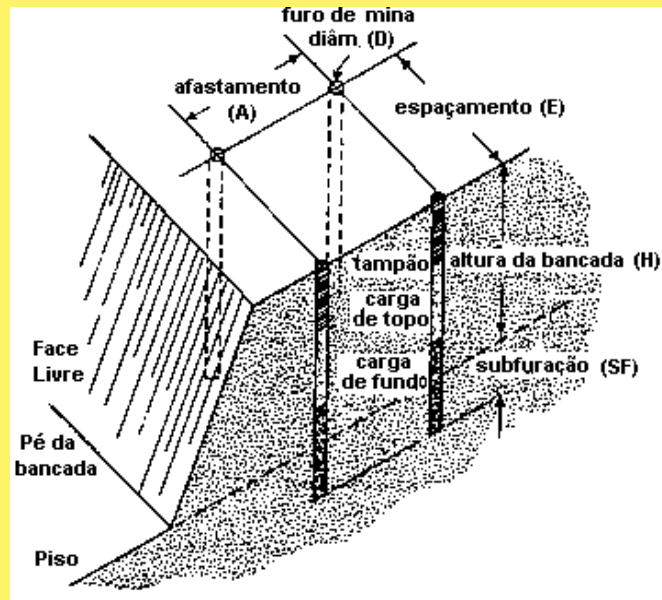
**Martelo Rompedor
Hidráulico**



“Drop Ball”



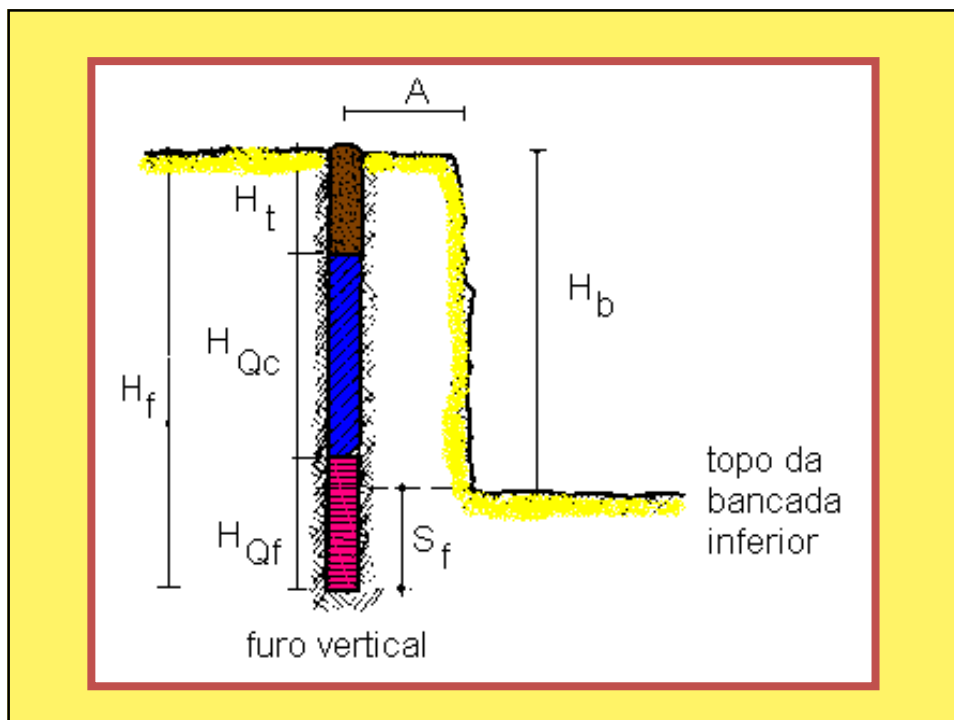
3. ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DO PLANO DE FOGO



3.1. FUROS VERTICAIS

- a. Face livre – superfície exposta da rocha, para onde a carga de explosivo direcionará os esforços de fragmentação;
- b. Altura da bancada (H);
- c. Diâmetro dos furos – dependem da perfuratriz, da produção desejada associada à altura da bancada e da capacidade da caçamba das máquinas;
- d. Afastamento (A) – distância entre a face livre e a 1ª linha de furos ou entre 2 linhas consecutivas de furos;
- e. Espaçamento (E) – distância entre furos consecutivos de uma mesma linha;
- f. Repé – irregularidade junto ao pé da bancada.

- g. Subfuração (SF) – comprimento do furo abaixo do nível do piso da bancada para arrancar a parte mais confinada da rocha;
- h. Colar e Tampão – Parte vazia na parte superior do furo (junto à sua boca) deixada após o carregamento com explosivos.



PLANEJAMENTO DAS ETAPAS DE PERFURAÇÃO E DESMONTE



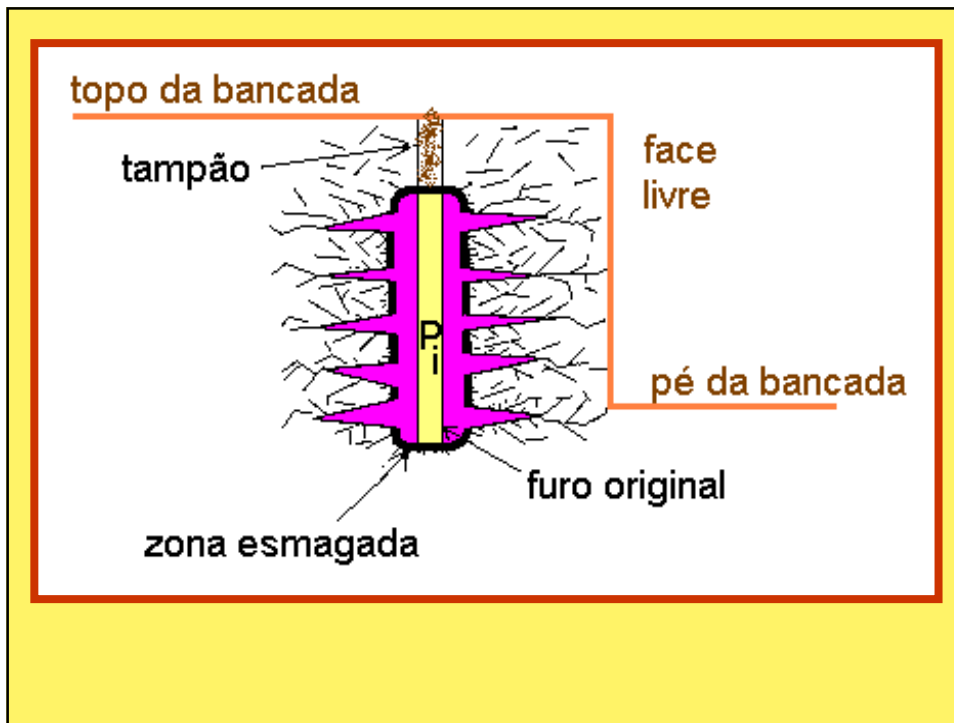
Plano de Fogo

Nome dado ao desmonte de cada Bancada
Contem todas as informações necessárias ao desmonte do maciço

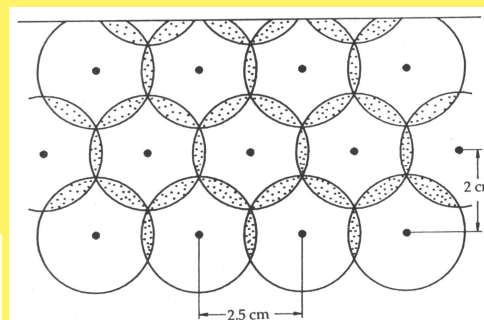
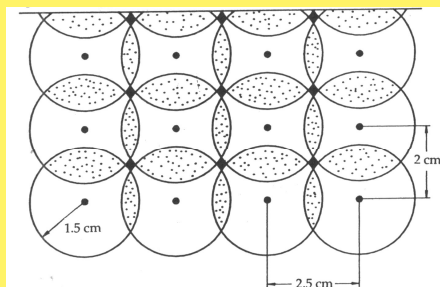
- Estudo Teóricos apoiados em experiências de campo – dados de difícil obtenção
- Regras Práticas obtidas com a experiência de muitos desmontes de rocha

Regras práticas estabelece valores iniciais para o Plano de Fogo e com os resultados vão-se ajustando os valores até chegar a um ótimo (no. pequeno de fatias é necessário)

Fabricantes de explosivo e equipamentos → equipes de assistência técnica
Conceitos Básicos



PLANEJAMENTO DAS ETAPAS DE PERFURAÇÃO E DESMONTE

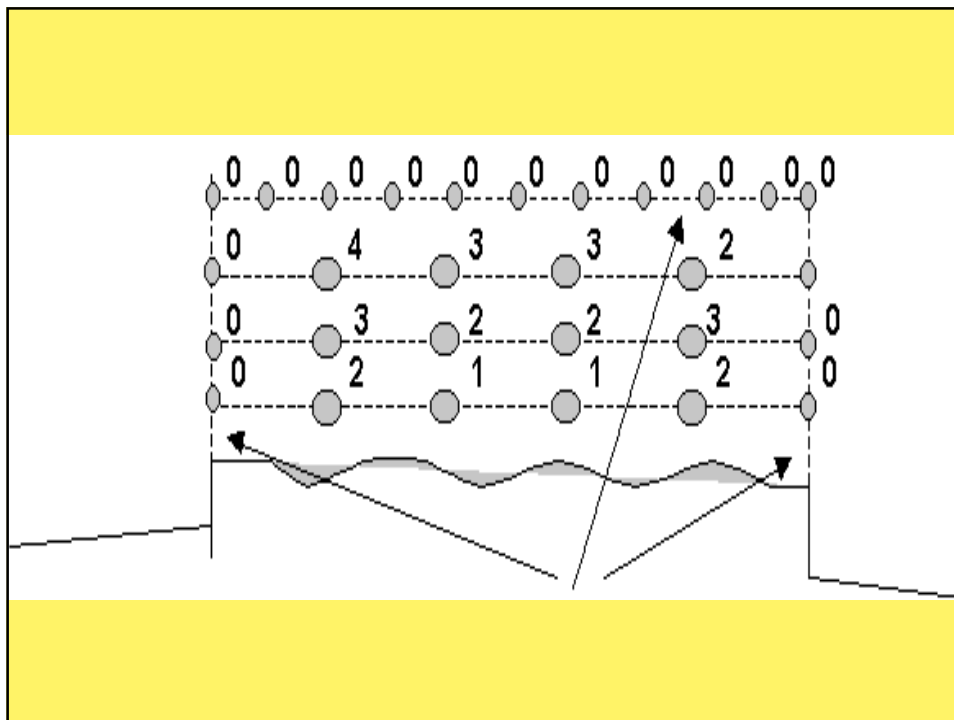
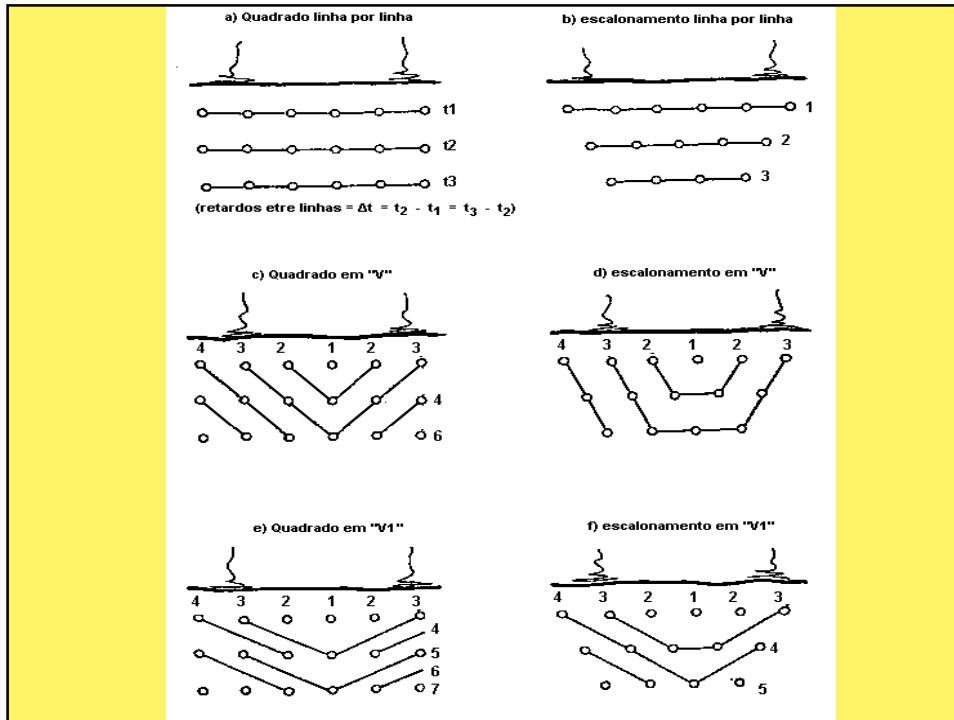


SEQUÊNCIA DE INICIAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DOS RETARDOS

- propriedades do maciço rochoso (resistência, módulo de Young, densidade, porosidade, estrutura etc);
- geometria do desmonte – malha de furos;
- geometria do furo (diâmetro, comprimento do furo e do tampão, etc);
- características do explosivo;
- sistema de iniciação - a eficiência de um explosivo na iniciação de um outro é uma função da quantidade de energia que é transmitida para o segundo explosivo e na velocidade em que ela é liberada.
- resultados desejados (fragmentação, deslocamento da pilha de fragmentos e o seu perfil etc.).
- outros

RETARDO ENTRE LINHAS E ENTRE FUROS

O resultado de qualquer desmonte de produção com diversos furos depende muito das interações entre os furos. A seqüência na qual os furos são iniciados e o intervalo de tempo entre as detonações sucessivas têm uma maior influência na performance total do desmonte. Um plano de fogo insatisfatório (até o ponto do esquema de iniciação) não pode ser corrigido por meio de um bom esquema de iniciação. A performance dos desmontes somente pode ser otimizada quando as cargas são detonadas em uma seqüência controlada, em intervalos de tempo adequadamente discretizados e espaçados corretamente.



4. PROJETO DE DESMONTE DE ROCHA

Um projeto de desmonte de rochas envolve a definição econômica de cargas explosivas, sua distribuição geométrica, o cronograma temporal de deflagração, a definição de acessórios e tipo de utilização de cada um.

Um projeto tecnicamente correto é aquele que maximiza a utilização da energia de detonação, canalizando-a para a fragmentação adequada da rocha (incluída aqui a localização da pilha desmontada).

Todavia sempre uma parcela da energia explosiva produz efeitos indesejáveis como vibrações de terreno, sobrepressão atmosférica (tanto na faixa audível como na não audível), ultra-lançamentos e emissão de material particulado e gases. Portanto, deve-se minimizar a probabilidade de ultra-lançamentos, e controlar a vibração do terreno e do ar (ruído e sobrepressão).

Para conseguir resultados ótimos em ambas condições, é necessário um completo conhecimento dos seguintes parâmetros:

- altura da bancada
- natureza da face livre
- propriedades da rocha a ser desmontada
- tipo de explosivo
- diâmetro do furo
- inclinação do furo
- carga efetiva
- espaçamento efetivo
- subfuração efetiva
- afastamento efetivo
- tamponamento
- seqüência de iniciação das cargas explosivas
- retardo entre furos sucessivos /ou linhas de furos

5. OPERAÇÕES SUBSEQUENTES

Problemas com fragmentação

- blocos de tamanho superior ao desejado;
- Quantidade de finos (pouco efeito no carregamento e transporte mas muito no tratamento e venda. Ex. carvão, pó de pedra, ferro)

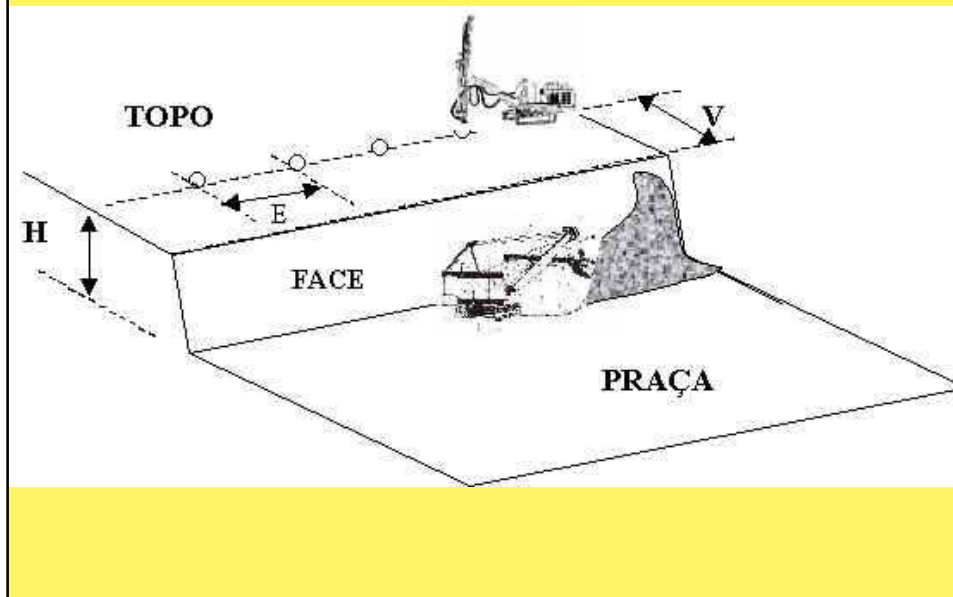
Escavação e carregamento

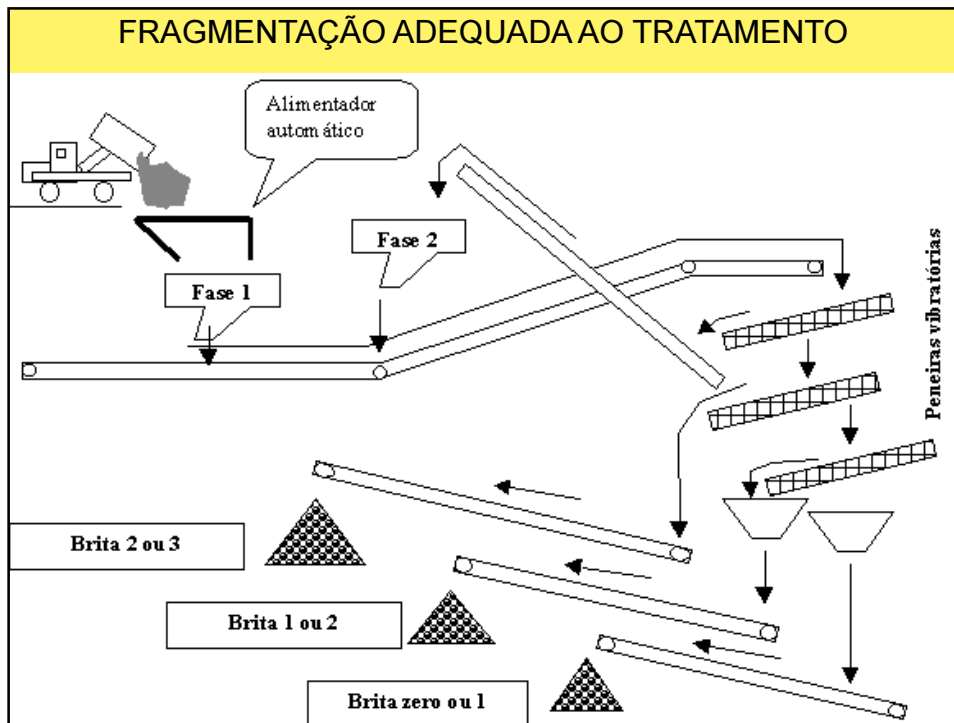
- Os fragmentos devem caber nas caçambas;
- Não podem reduzir a capacidade de preenchimento delas;
- Não podem alterar o tempo de ciclo de preenchimento.

Transporte

- Evitar impacto do matacão embora aceitem fragmento maiores do que os permitidos;
- Distribuir o peso ao longo da caçamba

FRAGMENTAÇÃO ADEQUADA E CARREGAMENTO





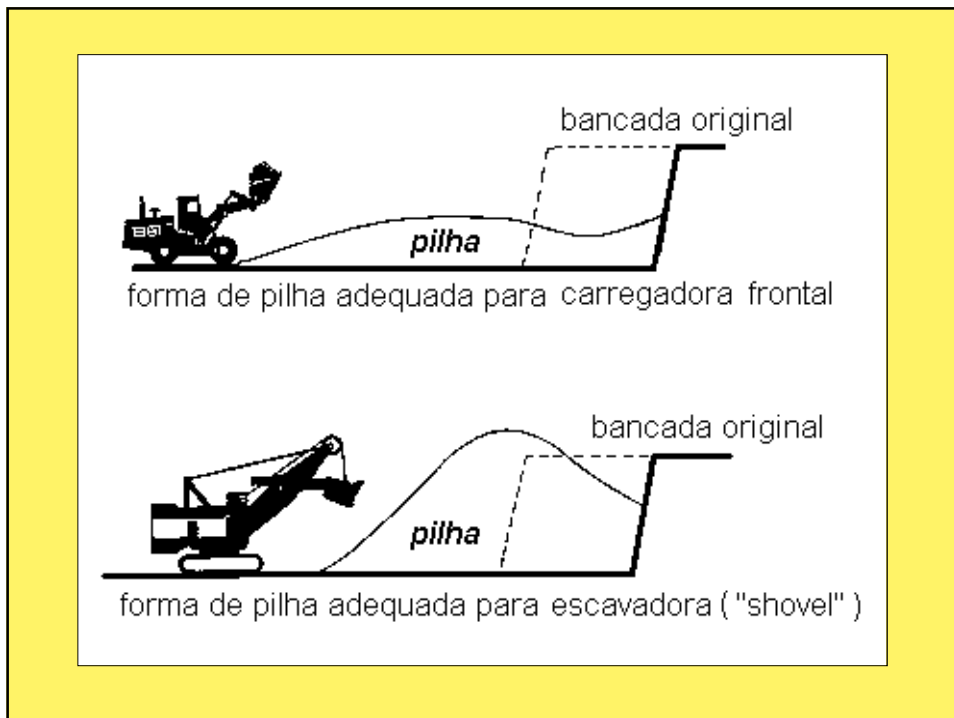
CARACTERÍSTICAS DA PILHA FORMADA

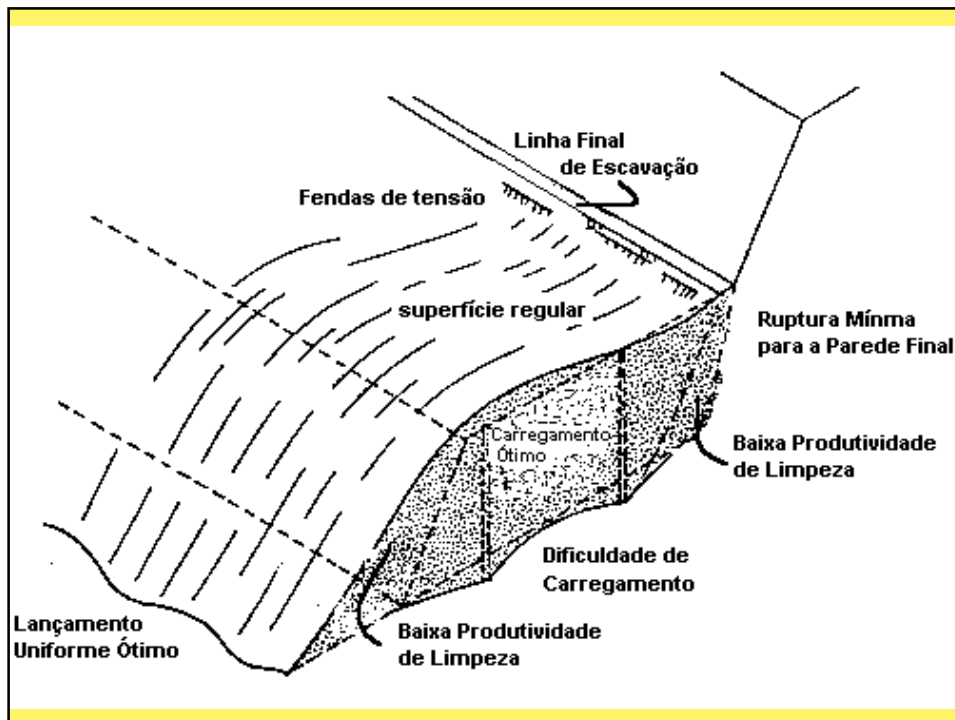
Dependem:

- da geometria original da bancada e da praça
- do empolamento e escavabilidade
- das máquinas de escavação e carregamento

MOVIMENTAÇÃO DE TEORES

- A pilha é formada a partir do deslocamento de fragmentos (granulometria de grau de liberdade dos blocos);
- Sinalização para evitar deslocamentos excessivos.
- Ex. minas de ouro e ferro



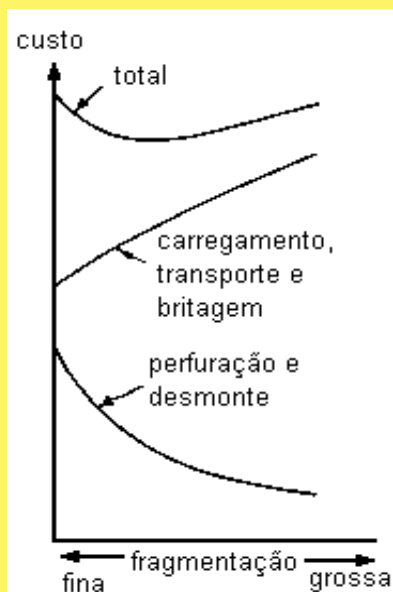


DANOS ESTRUTURAIS

- Volume pré-determinado de rocha tem a sua competência destruída e o resto deve ser preservado (controle estrutural operacional e de segurança);
- Evitar danos às paredes da cava (aumento da permeabilidade e porosidade e diminuição da rigidez);
- Evitar danos a taludes e faces (céu aberto);
- Evitar danos a tetos, pilares e camadas de minério (subterrânea)

ANÁLISE DE CUSTOS

Efeito da fragmentação no custo de perfuração, carregamento e transporte (Hoek & Bray, 1977)



EXPLOSIVOS

1. CONCEITUAÇÃO

Explosivos são substâncias sólidas, líquidas ou gasosas, individuais ou na forma de misturas, que se encontram em **Estado Meta-estável** e que através da aplicação de um estímulo adequado apresentam reação rápida de decomposição, transformando-se em substâncias quimicamente mais estáveis, gases (mais resíduos líquidos ou sólidos), com o desenvolvimento de calor e alta pressão.

2. HISTÓRICO

- A utilização da pólvora.
- 1847: nitroglicerina (alto poder de explosão) - problemas de segurança e serviu como um fator limitante ao seu uso pelas indústrias;
- 1863: evolução da nitroglicerina para a dinamite - uso pelas indústrias;
- 1923: uso do Nitrato de Amônio como explosivo;
- uso do ANFO (mistura de nitrato de amônio + óleo diesel) como explosivo;
- utilização das lamas explosivas
- adição de certos pós metálicos que em determinadas soluções aumentavam o poder explosivo

3. CAMPO DE APLICAÇÃO DOS EXPLOSIVOS

3.1. MINERAÇÃO

MINERAÇÃO A CÉU ABERTO E SUBTERRÂNEA

Excavação de galerias, túneis, poços e chaminés.

Prospecção de jazidas.

Exploração de minas.

Desenvolvimento de frentes de mineração.

Produção de minério.

PEDREIRAS

Produção de brita

EXPLORAÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

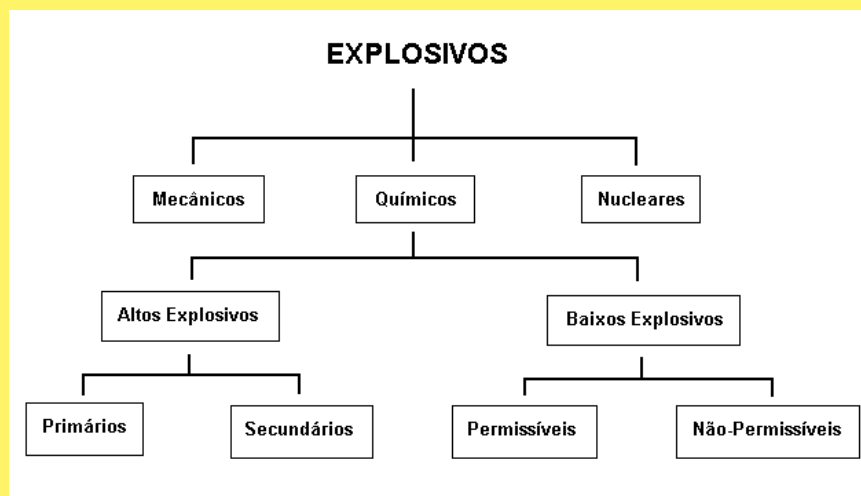
Cada furo de mina deve ser preparado, carregado e tamponado de modo que os gases da explosão permaneçam confinados por um período razoável de tempo. Estes gases devem quebrar, deslocar e liberar a rocha carregada satisfatoriamente sem criar lançamento excessivo (ultra-lançamento), ultraquebra (“overbreak”), vibrações do terreno e sopro de ar (sobreprensão atmosférica).

3.2. OUTRAS APLICAÇÕES

- Construção civil: Abertura de novas estradas, Túneis, Construção de canais, Alteração no curso dos rios, Construção de barragens, Recuperação de terras, Demolição de estruturas antigas, Escavação de túneis e poços.
- Engenharia agrícola: Excavação de poços, Abertura de valas, Limpeza de campos, Derrubada de árvores, Remoção de raízes.
- Extinção de fogo em poços de petróleo.
- Prospecção sísmográfica na pesquisa de novas reservas de gás e petróleo.
- Detonações subaquáticas: Rebaixamento e desobstrução de baías e canais, Desmonte de rochas submersas.
- Conformação e soldagem de chapas metálicas por explosão.
- Usos militares: Bombas, Rifles, Cargas de profundidade, Granadas, Mísseis teleguiados, Minas terrestres e navais, Projéteis, Foguetes e Torpedos.

4. CLASSIFICAÇÃO DOS EXPLOSIVOS

4.1. Teórica (tipos de ação)



5. TIPOS DE EXPLOSIVOS

Dinamite comum;

Gelatinas;

Lamas;

Emulsões;

Agentes de desmonte;

ANFO;

Nitrocarbonitratos;

Watergel

DINAMITES

Explosivos de base: TNT, Dinitrotoluol e Nitrocelulose.

Explosivos complementares: Trotil, Trioleína, MNT e Nitrobenzenos.

Substâncias ativas absorventes: Serragem de madeira, Cortiças, Aveia e Centeio.

Substâncias geradoras de oxigênio: Nitrato de Amônio, Nitrato de sódio, Nitrato de Potássio, Cloretos e Percloratos.

Substâncias que aumentam a potência: Pó de Silício, Pó de alumínio, e Pó de Magnésio.

Substâncias que abaixam o ponto de congelamento: Cloreto de Sódio e Bicarbonato de Sódio.

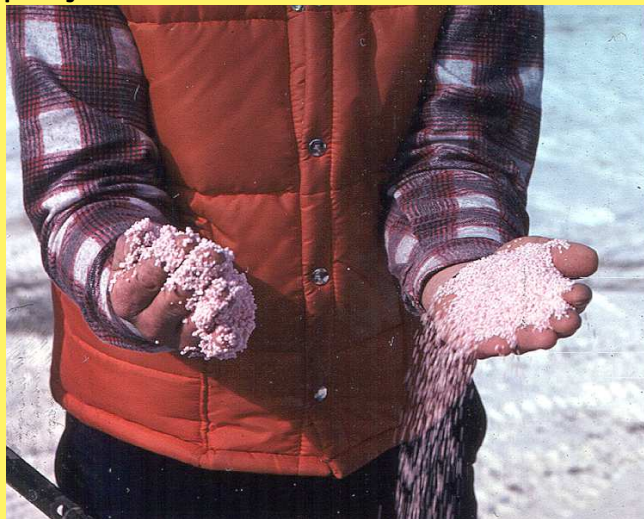
Velocidade de Detonação

1.300 a 7.700 m/s



Emulsões - Anfo blends

Proporções de 15 a 85% de emulsão



POWERGEL® SE





Transmissores de energia

Estopim (comum ou de segurança, estopim detonante)



Cordel detonante
Tipos: NP10, NP5



Iniciadores

Espoletas

Espoleta comum



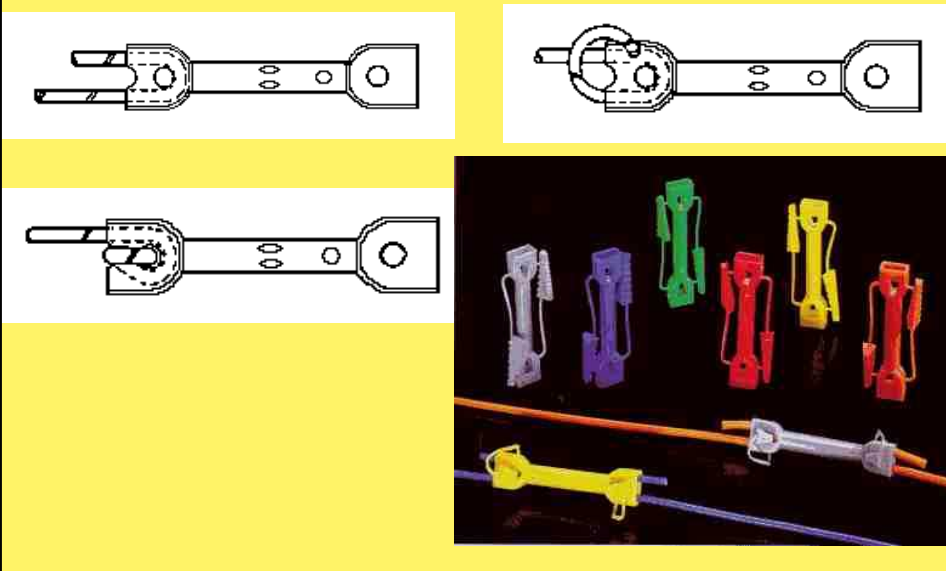
Espoleta elétrica instantânea

. Cordel detonante

Retardadores

Espoleta elétrica de tempo (de retardo comum, de milissegundos)

Retardo para cordel detonante



6. NORMAS DE SEGURANÇA

Gerais:

- Não permitir pessoal não-autorizado próximo a material explosivo;
- Não permitir qualquer fonte de ignição a um raio de 30 m da área de desmonte ou 15 m do paiol ou veículo de transporte;
- Não expor materiais explosivos a excessivo calor gerado por chamas, impacto, atrito ou impulsos elétricos;
- Não acender isqueiros ou fósforos próximos a material explosivo;
- Não efetuar disparos de arma de fogo próximos ao paiol ou veículo de transporte de explosivos;
- Não utilizar materiais explosivos deteriorados ou danificados

PARTE 2 - IMPLOÇÃO

Derrubar uma estrutura como um prédio envolve procedimentos-chaves e uma sequência lógica para ser bem sucedido (WORSEY, 2002):

- Testes preliminares;
- Remover estruturas desnecessárias;
- Enfraquecer o prédio ou a estrutura;
- Usar uma seqüência de retardos confiável;
- Usar cabos de aço
- Proteger estruturas circundantes; e
- **Segurança do público**



VETERAN'S BRIDGE
BLASTER-SCOTT GUSTAFSON
DEMTECH, INC.
JOSEPH B. FAY CO.

Fonte: <http://www.implosionworld.com/>

Implosão no Brasil

RAZÕES

- Progresso
- Segurança
- Irregularidade
- Tragédias

Implosão no Brasil

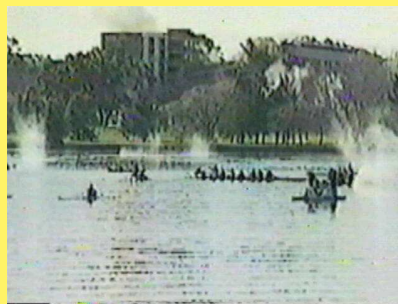
Tipos de estruturas

- Viadutos e pontes
- Prédios
- Silos e reservatórios de água
- Prédios e estruturas industriais diversas (chaminés, etc.)

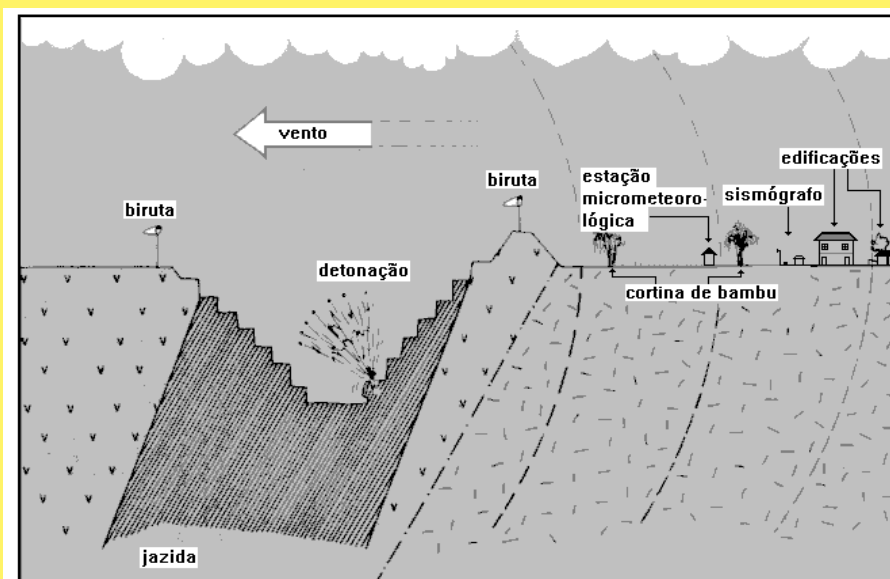


Segurança do público

- Todos querem ver
- Controle do público
- Coordenar com polícia e defesa civil
- Detonar bem cedo ou em finais de semana para evitar tumulto
- Certificar-se de que todos estão afastados
- Evitar euforia, convide a mídia e mantenha tranqüilidade



PROBLEMA AMBIENTAL ASSOCIADO AO USO DE EXPLOSIVOS



1. Desmonte de rocha por explosivos – objetivos conflitantes

Fragmentar a maior quantidade possível de rocha.

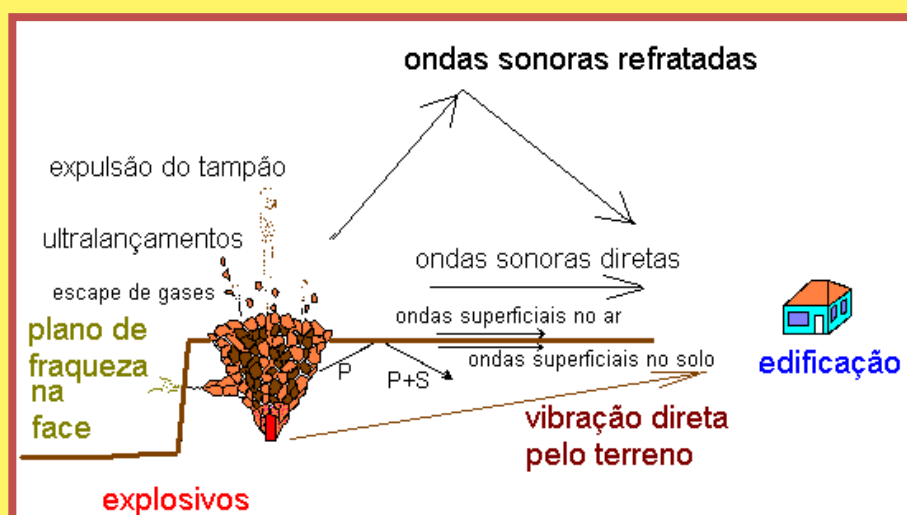
Não perturbar o meio ambiente externo.

Maiores furos	maciço remanescente
Maiores bancadas	vibrações de terreno
Mais explosivos	sobre-pressão atmosférica
Mais linhas e furos	gases e fumos
Pilha adequada	ultra-lançamentos
Granulometria adequada	água subterrânea

fragmentação:

- tamanho de blocos + quantidade de finos
- escavação + carregamento
- transporte
- cominuição primária.

2. As fontes geradoras



3. Efeitos desejados e indesejados

desejados - produção

indesejados - meio ambiente local e meio ambiente remoto



A vibração como problema de meio ambiente

Detonações em áreas urbanas

- Mineração → rigidez locacional
- Por que as pessoas reclamam da vibração?

R: Resposta estrutural da estrutura

Uma estrutura vibra {

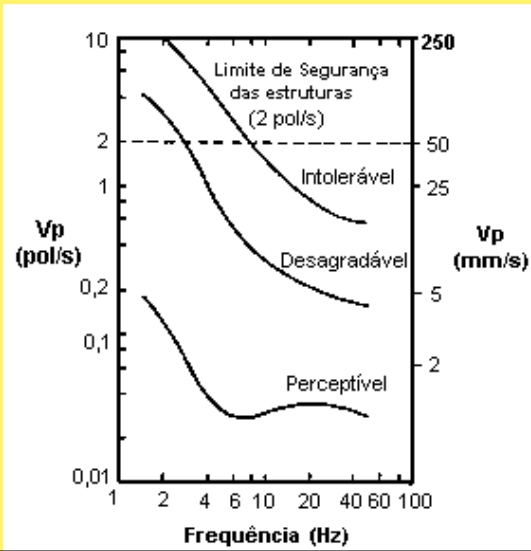
- com a amplitude da velocidade
- com o tempo de duração
- com a frequência

Danos provocados por vibrações excessivas

Vp (mm/s)	Efeitos observáveis
600	geração de novas descontinuidades na própria rocha
300	quedas de blocos de rocha em galerias e túneis sem revestimento
190	queda de reboco e formação de trincas em prédios
140	criação de pequenas novas trincas e abertura de antigas trincas
100	limite "seguro" para túneis revestidos e para concreto reforçado
50	limite "seguro" para prédios residenciais de bom estado (construção e manutenção)
30	severa percepção humana
10	incômodo para grande parte da população
5	incômodo para parte da população, algumas reclamações
1	vibrações apenas perceptíveis
<1	praticamente imperceptível na maioria dos casos

A vibração como problema de meio ambiente

Resposta humana às vibrações





FILMES DE IMPLOSÕES