



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

## PMI-3102 INTRODUÇÃO À ENGENHARIA DE MINAS

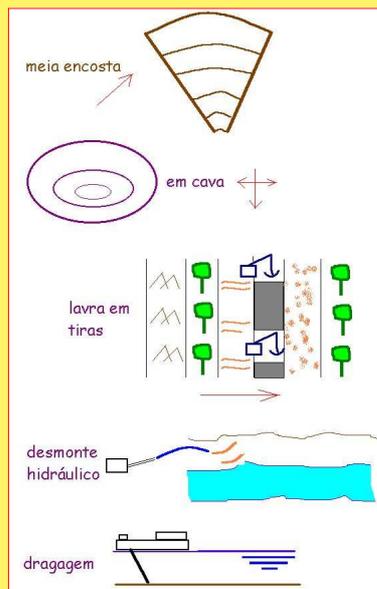
### AULA 4 – DESMONTE DE ROCHA POR EXPLOSIVOS

Wilson Siguemasa Iramina

São Paulo, 19 de março de 2020

1

### REVISÃO DA AULA PASSADA - Métodos a céu aberto



Meia encosta

Cava inteira ou quase

Em tiras (carvão)

Desmonte hidráulico

Dragagem

2

## 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

3

## DESMONTE DE ROCHA NA MINERAÇÃO

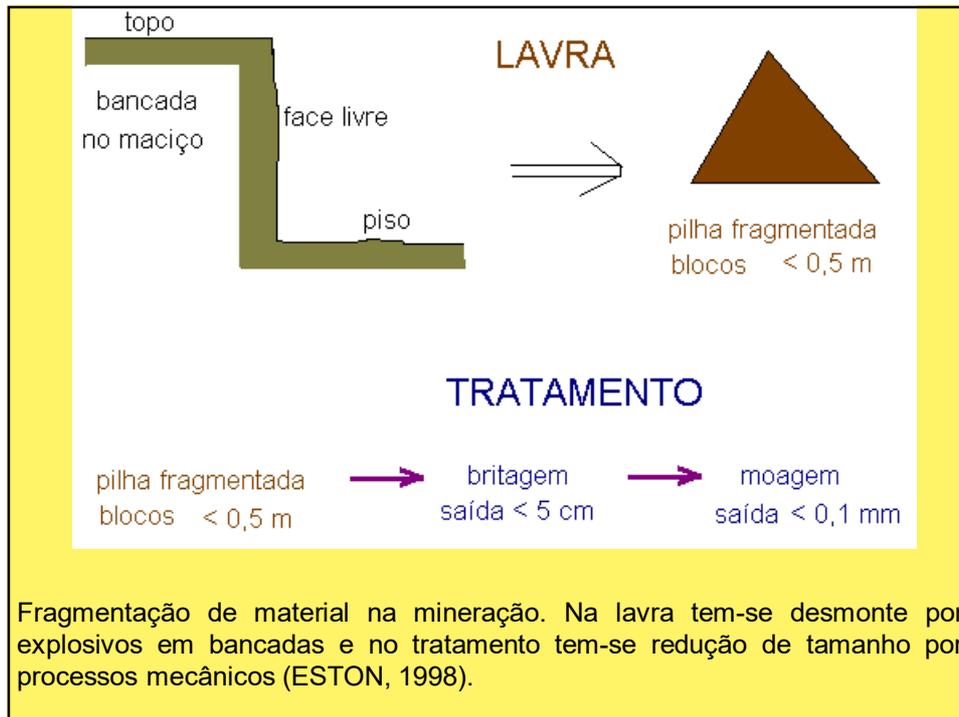
### 1. OBJETIVOS

**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.

4



5

### 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.

6

## 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.

7

### 2.2. Desmonte secundário

Quando o desmonte 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.

8

**Martelo Rompedor  
Hidráulico**



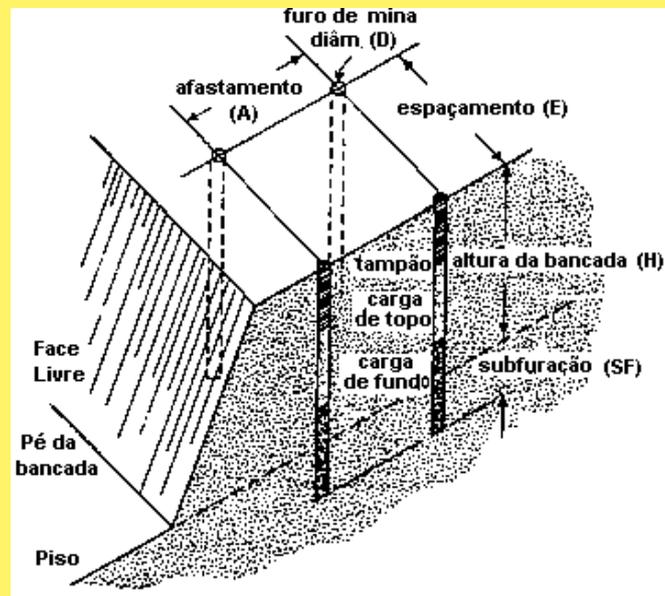
9

**“Drop Ball”**

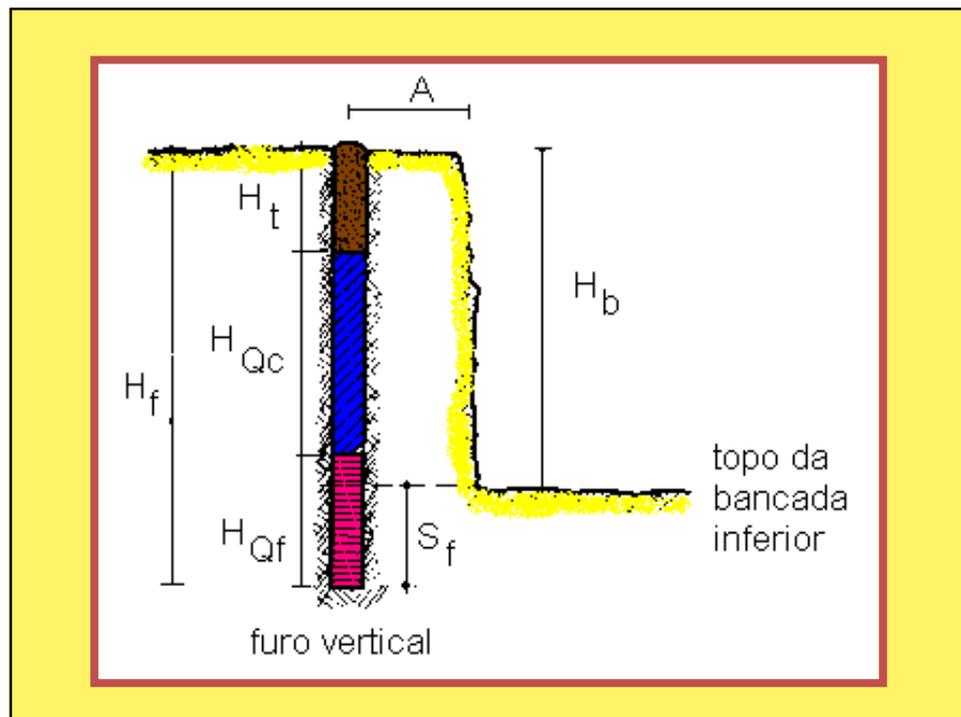


10

### 3. ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DO PLANO DE FOGO

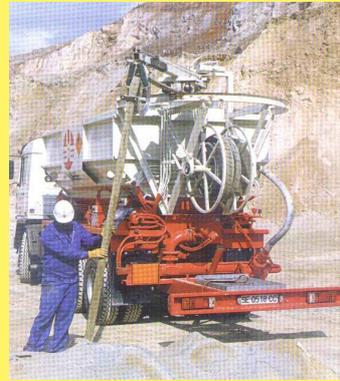
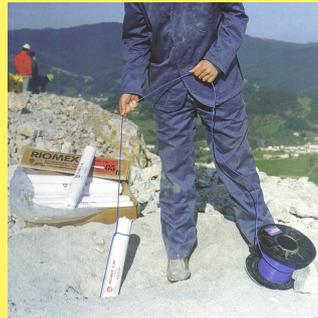


11



12

### PLANEJAMENTO DAS ETAPAS DE PERFURAÇÃO E DESMONTE



13

#### Plano de Fogo

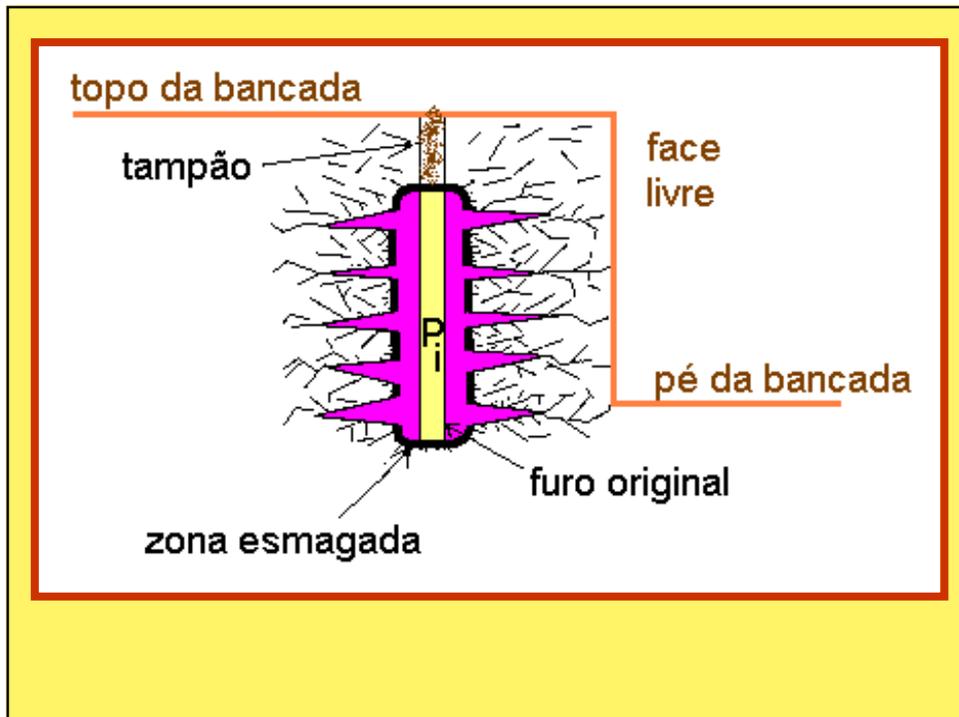
Nome dado ao desmonte de cada Bancada  
Contem todas as informações necessárias ao desmonte do maciço

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

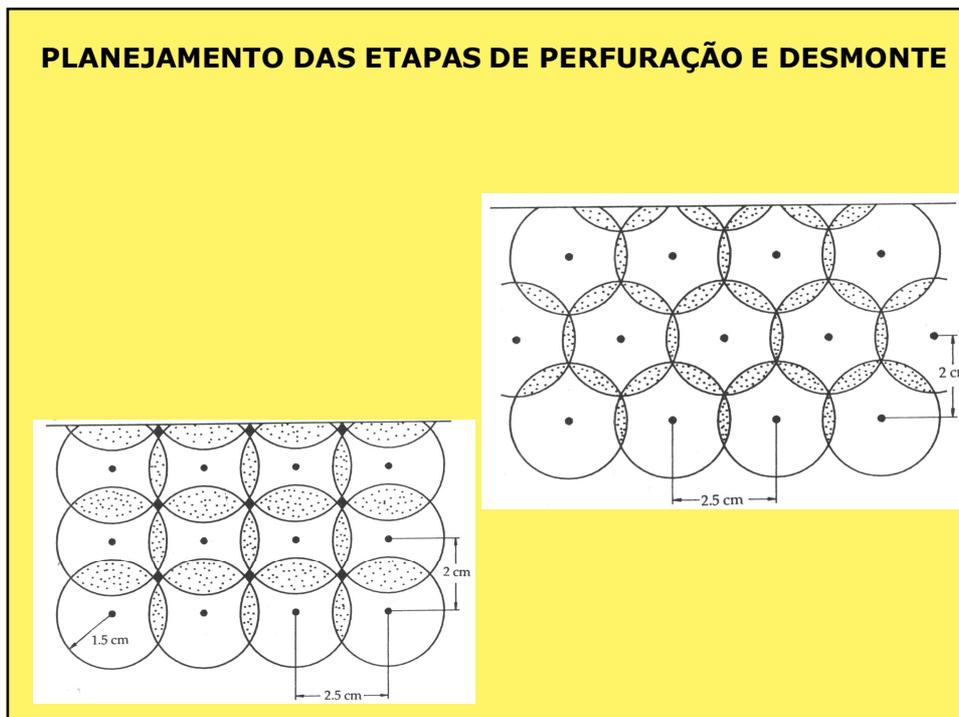
Regras práticas estabelece valores iniciais para o Plano de Fogo e com os resultados vão-se ajustando os valores até chegar a um ótimo (no. pequeno de fatias é necessário)

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

14



15



16

### **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

17

### **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.

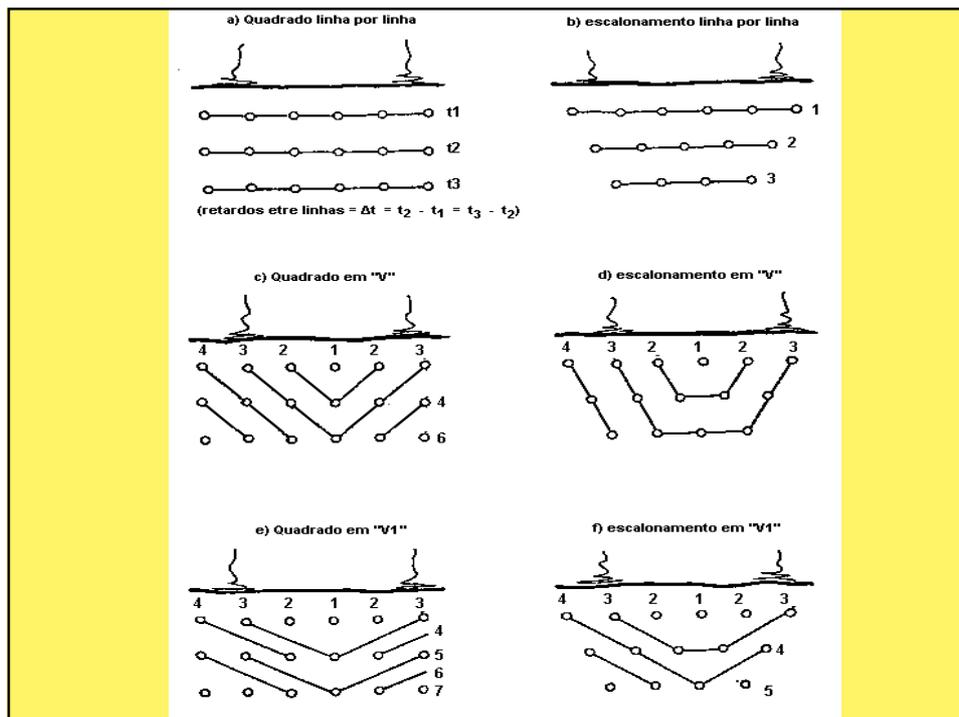
18

## RETARDO ENTRE LINHAS E ENTRE FUROS

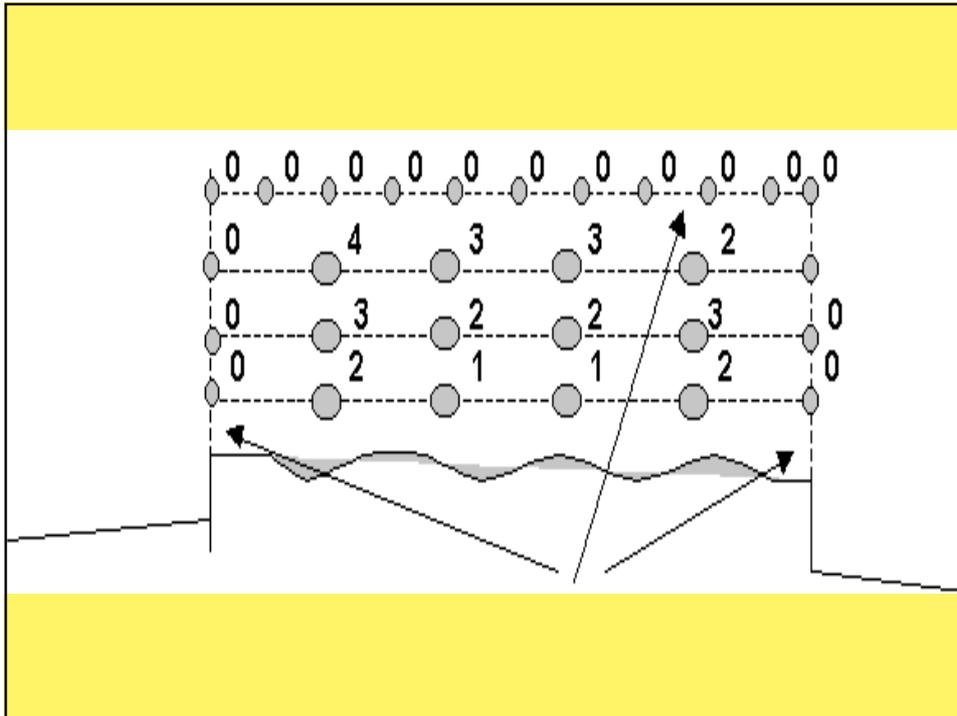
Um plano de fogo insatisfatório (até o ponto do esquema de iniciação) não pode ser corrigido por meio de um bom esquema de iniciação.

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.

19



20



21

#### 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).

22

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

23

## 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

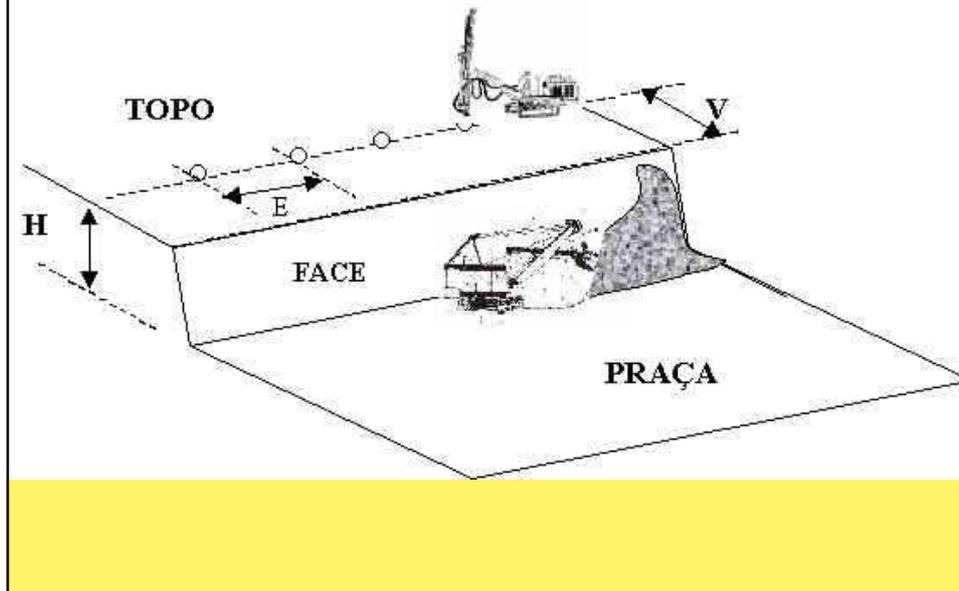
- Os fragmentos devem caber nas caçambas;
- Não podem reduzir a capacidade de preenchimento delas;
- Não podem alterar o tempo de ciclo de preenchimento.

### Transporte

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

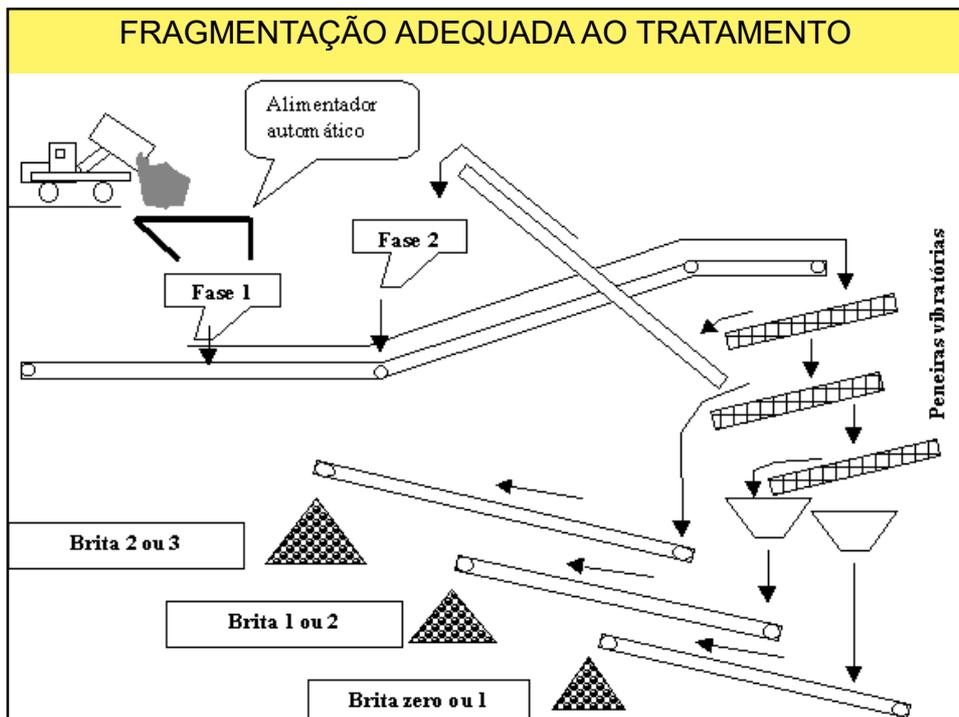
24

## FRAGMENTAÇÃO ADEQUADA E CARREGAMENTO



25

## FRAGMENTAÇÃO ADEQUADA AO TRATAMENTO



26

### CARACTERÍSTICAS DA PILHA FORMADA

Dependem:

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

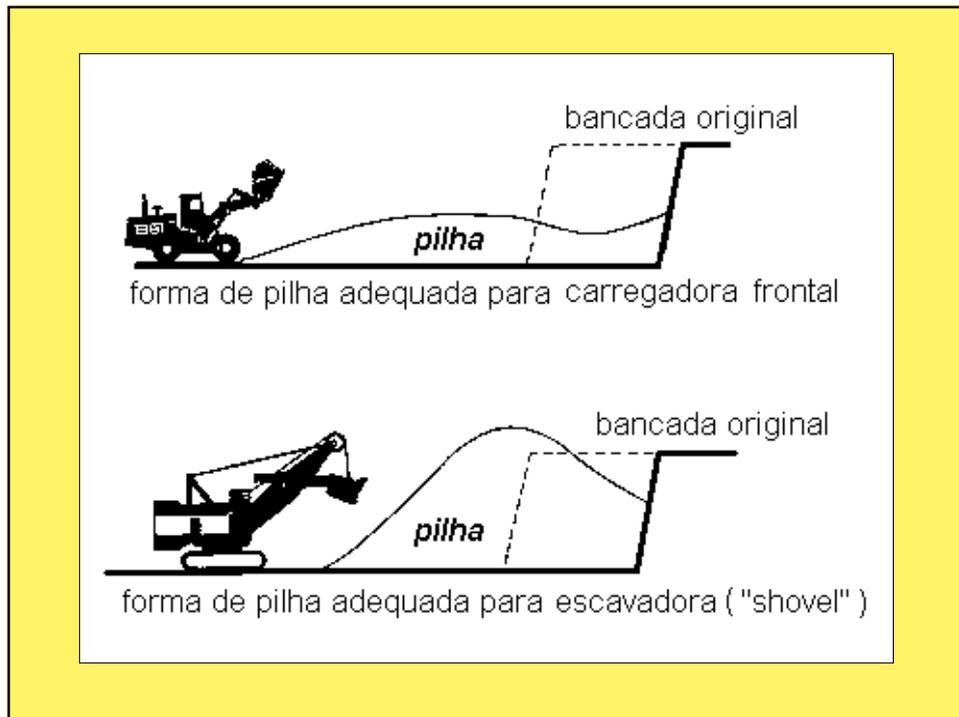
### MOVIMENTAÇÃO DE TEORES

- 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

27



28



29



30

### 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)

31



backbreak

32

## ANÁLISE DE CUSTOS

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



33

## 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.

34

## 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

35

## 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**

36

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).

37

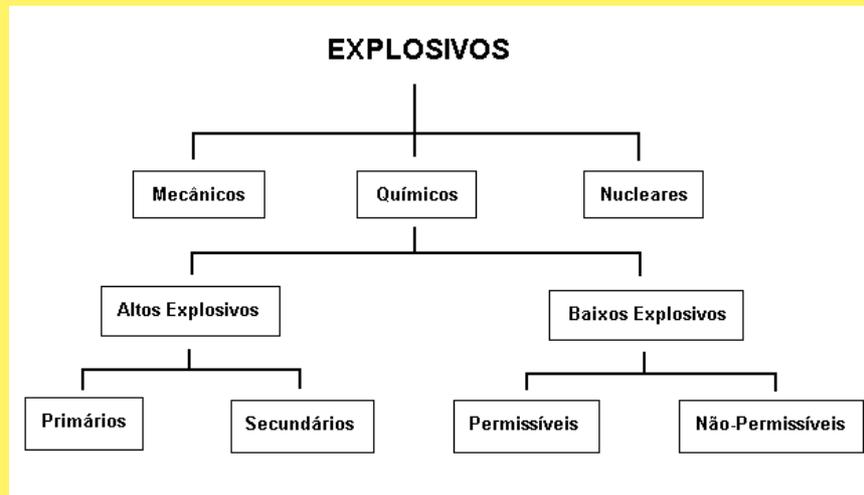
### **3.2. OUTRAS APLICAÇÕES**

- 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: Escavação de poços, Abertura de valas, Limpeza de campos, Derrubada de árvores, Remoção de raízes.
- Extinção de fogo em poços de petróleo.
- Prospecção sismográfica na pesquisa de novas reservas de gás e petróleo.
- Detonações subaquáticas: Rebaixamento e desobstrução de baias e canais, Desmonte de rochas submersas.
- Conformação e soldagem de chapas metálicas por explosão.
- Usos militares: Bombas, Rifles, Cargas de profundidade, Granadas, Misseis teleguiados, Minas terrestres e navais, Projéteis, Foguetes e Torpedos.

38

## 4. CLASSIFICAÇÃO DOS EXPLOSIVOS

### 4.1. Teórica (tipos de ação)



39

## 5. TIPOS DE EXPLOSIVOS

**Dinamite comum;**  
**Gelatinas;**  
**Lamas;**  
**Emulsões;**  
**Agentes de desmonte;**  
**ANFO;**  
**Nitrocarbonitratos;**  
**Watergel**

40



41



42

## Emulsões - Anfo blends

Proporções de 15 a 85% de emulsão

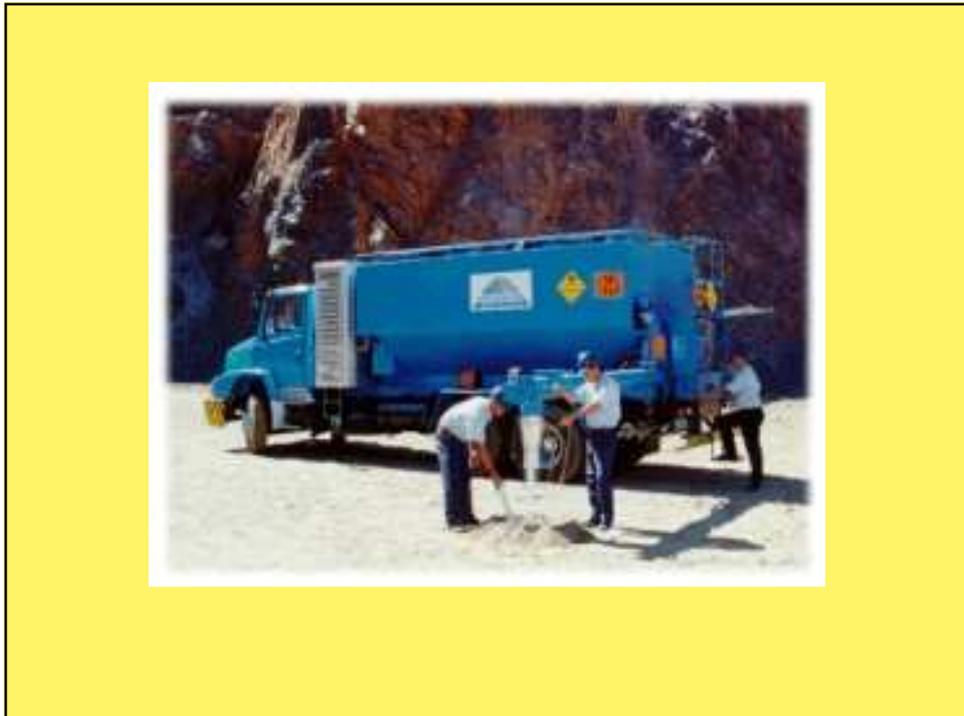


43

## POWERGEL® SE



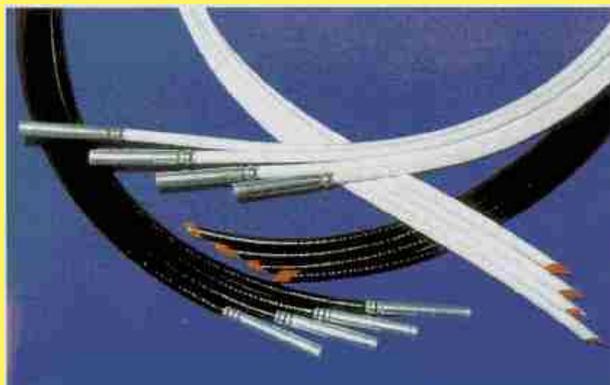
44



45

### **Transmissores de energia**

Estopim (comum ou de segurança, estopim detonante)



46

Cordel detonante  
Tipos: NP10, NP5



47

## 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

48

## 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**

49



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

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

50

## Implosão no Brasil

### RAZÕES

- Progresso
- Segurança
- Irregularidade
- Tragédias

51

## Implosão no Brasil

Tipos de estruturas

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

52



53



54

## 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 tranquilidade

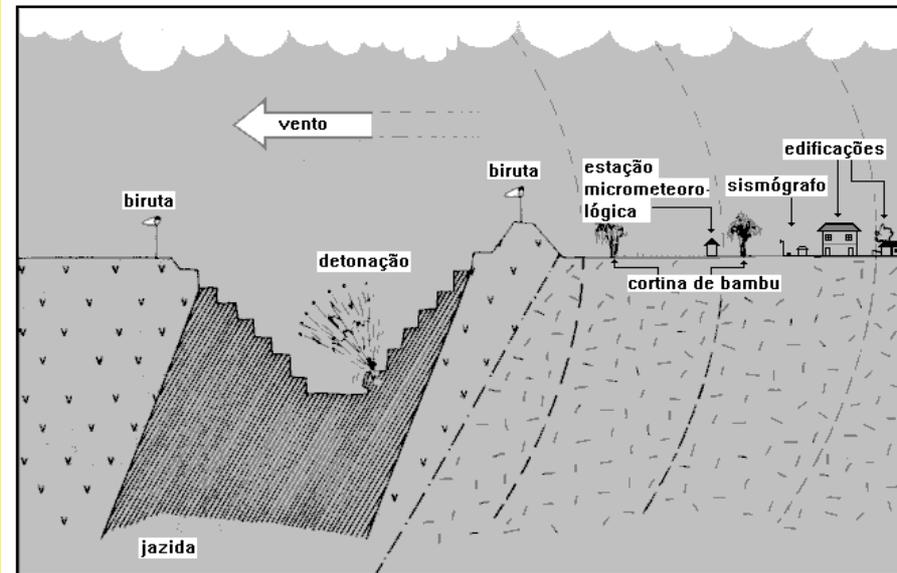


55



56

### PROBLEMA AMBIENTAL ASSOCIADO AO USO DE EXPLOSIVOS



57

### Desmonte de rocha por explosivos – objetivos conflitantes

**Fragmentar a maior quantidade possível de rocha.**

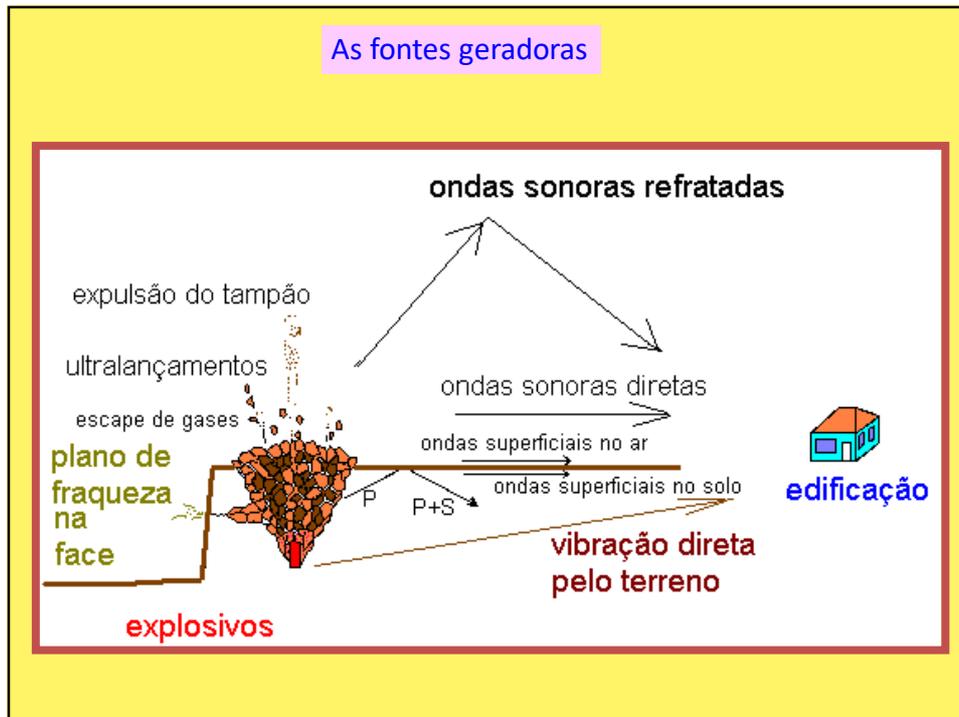
**Não perturbar o meio ambiente externo.**

|                        |                           |
|------------------------|---------------------------|
| 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          |

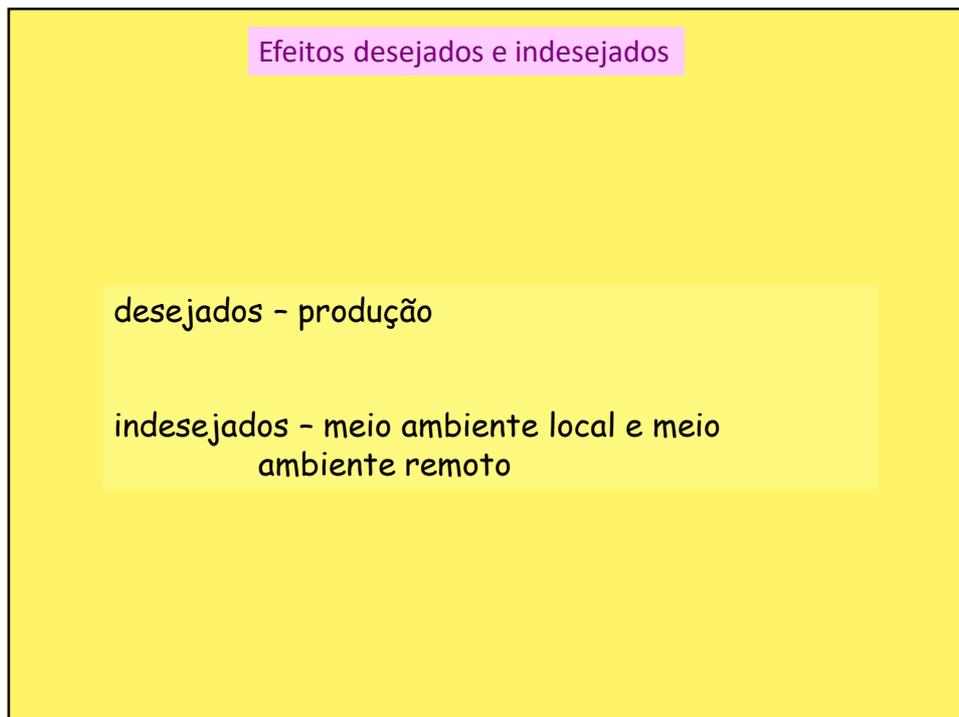
#### fragmentação:

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

58



59



60





63



64