



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

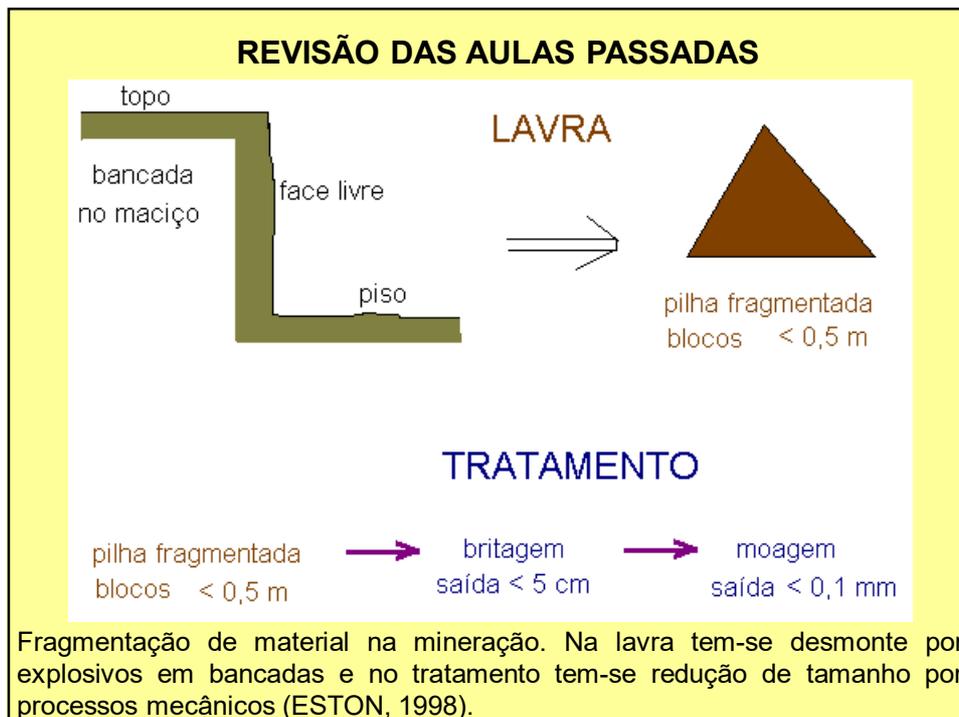
PMI-3102 INTRODUÇÃO À ENGENHARIA DE MINAS

AULA 6 – INTRODUÇÃO À LAVRA SUBTERRÂNEA

Wilson Siguemasa Iramina

São Paulo, 02 de abril de 2020

1



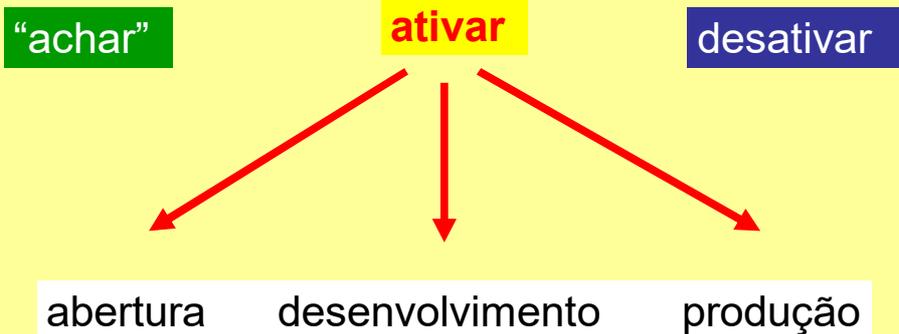
2

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 subseqüentes.

3

Etapas da vida de uma mina



4

Projeto clássico de mina:

- seleção do método
- escolha da taxa ótima (provável) de lavra
- desenho inicial (layout) e projeto conceitual (conceptual mine design)

Céu aberto

- começa com desenhos da cava, até a cava final
- definida a cava, planeja-se a infraestrutura: vias de transporte, pilhas, bota-foras, lagoas de rejeito, vias de utilidades, ...
- layout da cava pode ser modificado se for a subsolo

5

Subsolo

- inicia-se com definição da pré-produção, locação e **requerimentos de acesso e desenvolvimento**
- definição dos níveis principais, vias de transporte, acessos principais e outras entradas
- o projeto das entradas principais deve considerar: necessidades de transporte de minério, estéril e “backfill”, circuitos primários de ventilação, acesso de pessoas, estações de refúgio e rotas de fuga, manuseio de materiais, etc.
- definida conceitualmente a mina em subsolo, se planeja a infraestrutura em superfície, com acessos, bota-foras, paióis, instalações de manutenção, lagoa de rejeitos, etc.

6

Diferenças entre abertura e desenvolvimento

Diferença de objetivos

Abertura - deseja-se atingir o corpo de minério, planejando-se os primeiros pontos deste contato visando a futura lavra e suas peculiaridades.

Desenvolvimento - tem-se a preparação do corpo para a produção sistemática, e portanto sua subdivisão em níveis, subníveis, painéis e blocos, de acordo com o método de lavra escolhido.

7

TRABALHOS DE ABERTURA

Executados principalmente via :

galerias de acesso horizontais = adit, drift, drives, crosscuts

poços – vertical = poço simplesmente (shaft)

- inclinado = poço inclinado: mais longos, maior manutenção, usava mais antes

rampas = ramp, decline

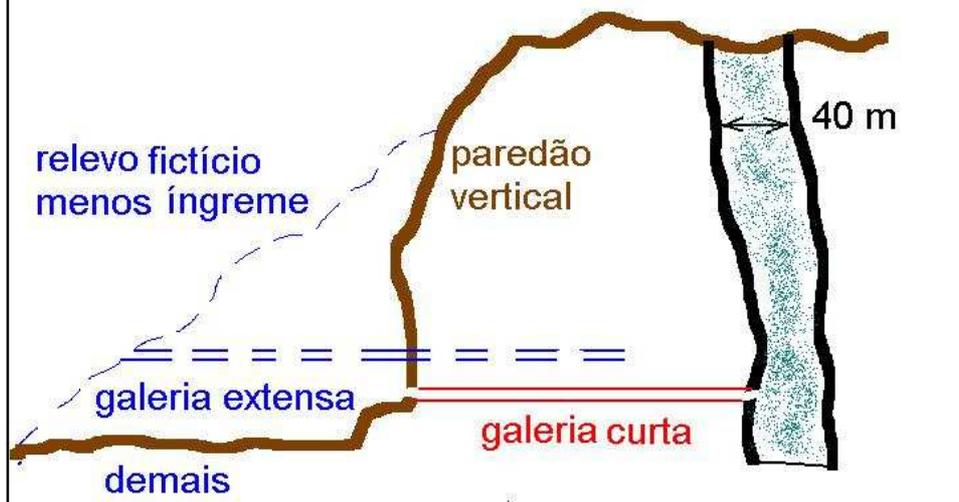
planos inclinados = slope, incline

8

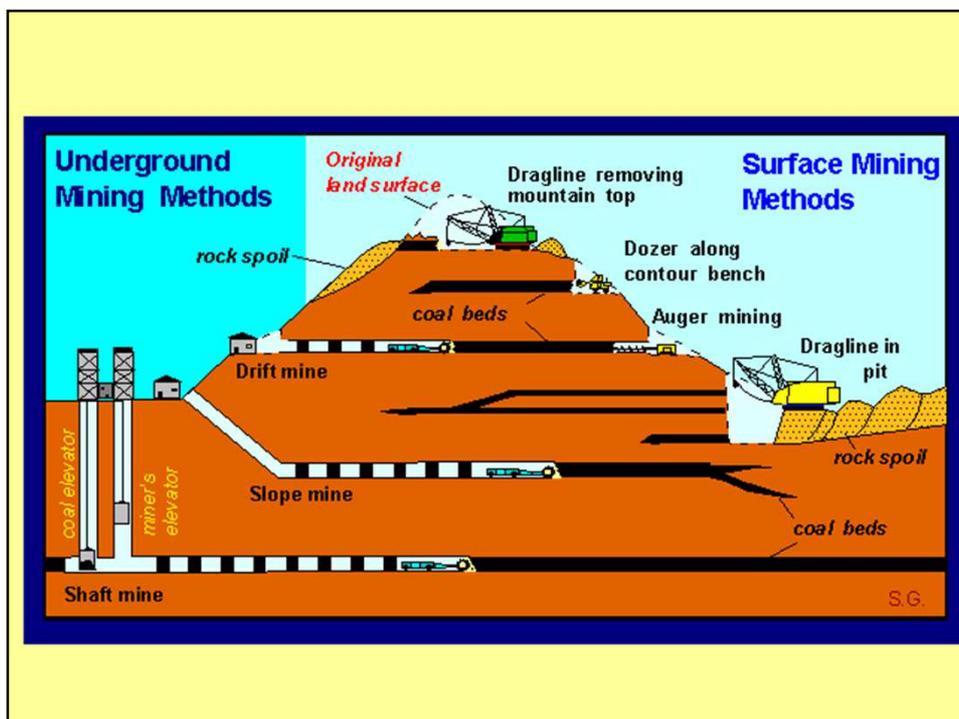
Galerias de acesso horizontal

Exigem condições topográficas

Cerro de Pasco mina de cobre, sul do Peru, nos Andes



9



10

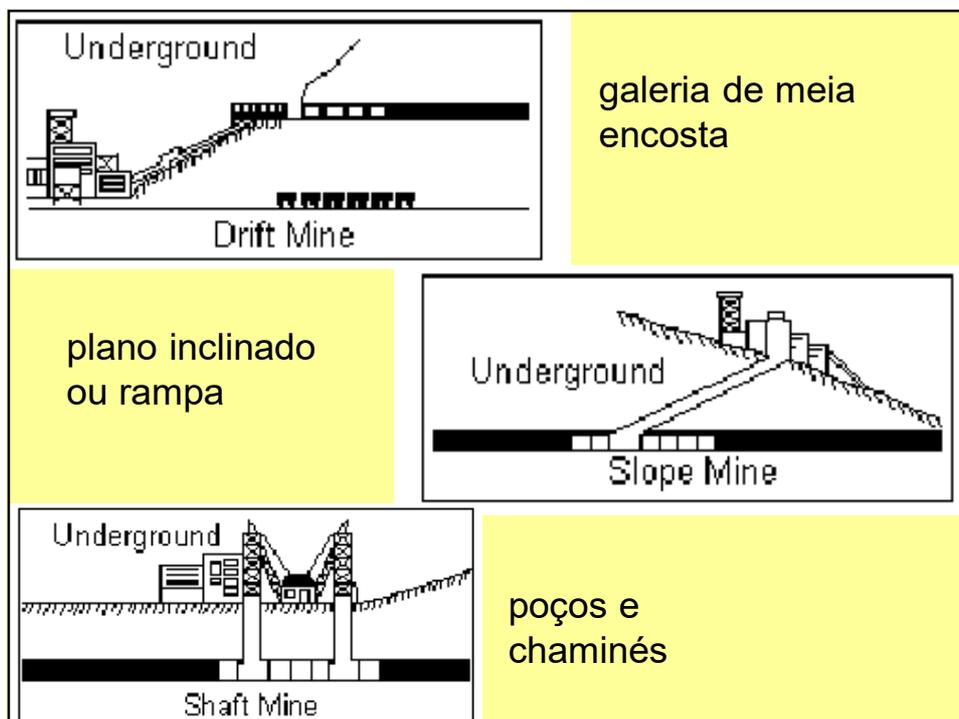
Desenvolvimento

Todos os trabalhos executados após a abertura e antes da produção.

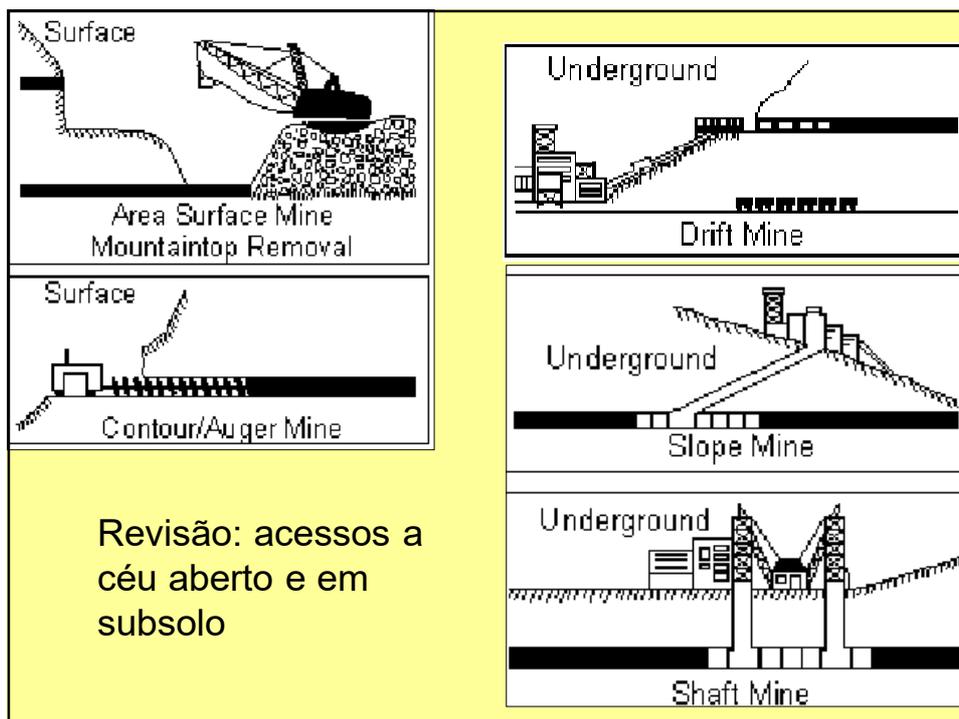
Preparam o corpo de minério para a produção sistemática e são função do método de lavra.

Cada método tem seus típicos trabalhos de desenvolvimento de painéis e blocos, com suas vias principais de transporte e sistema de ventilação.

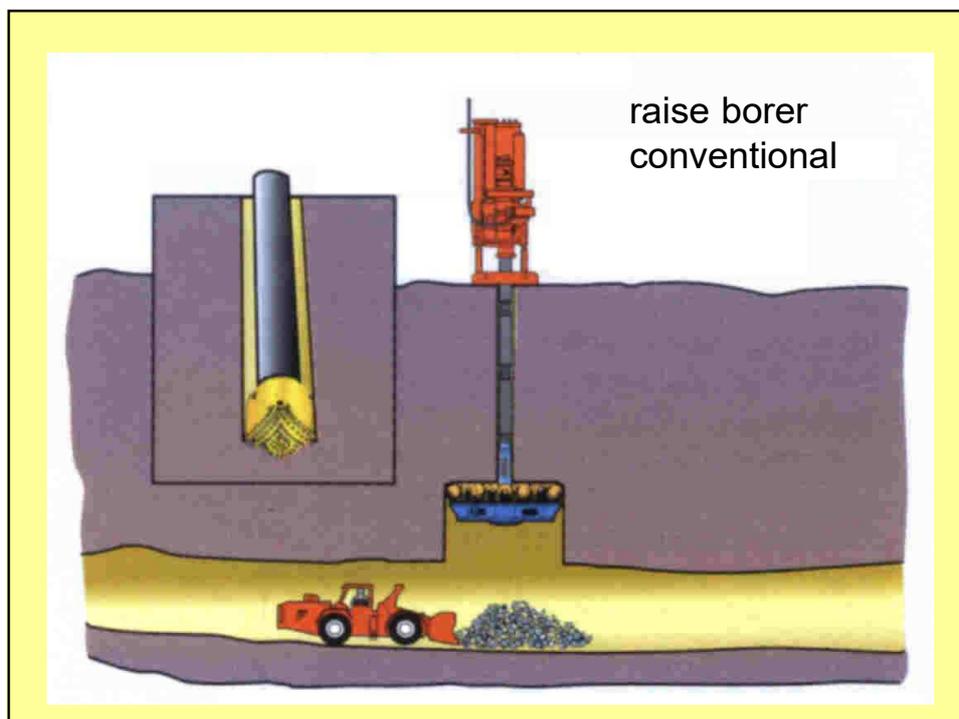
11



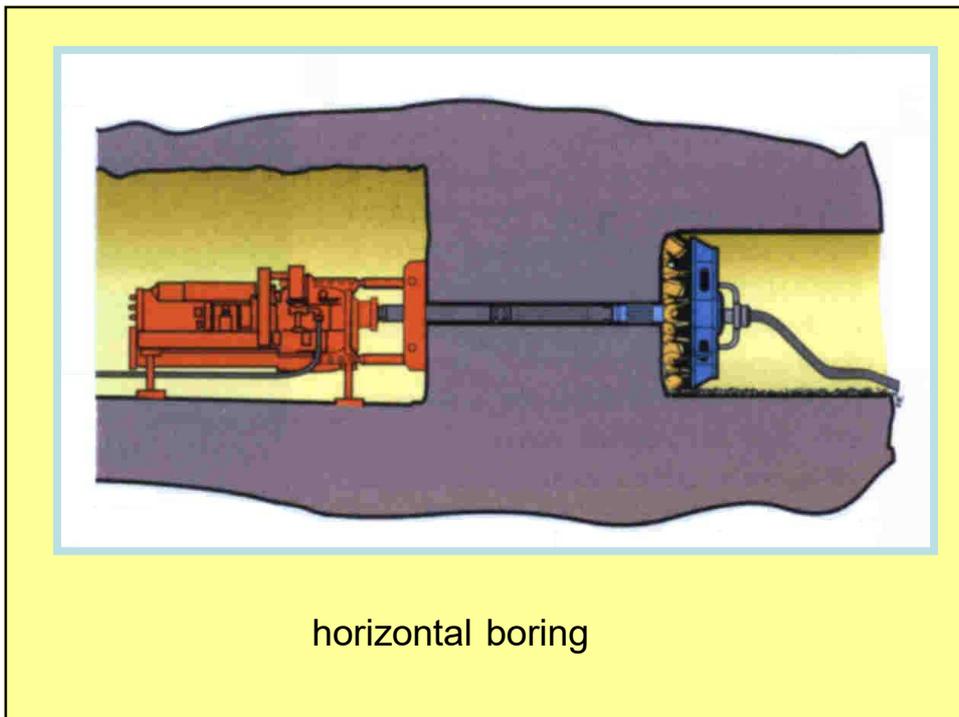
12



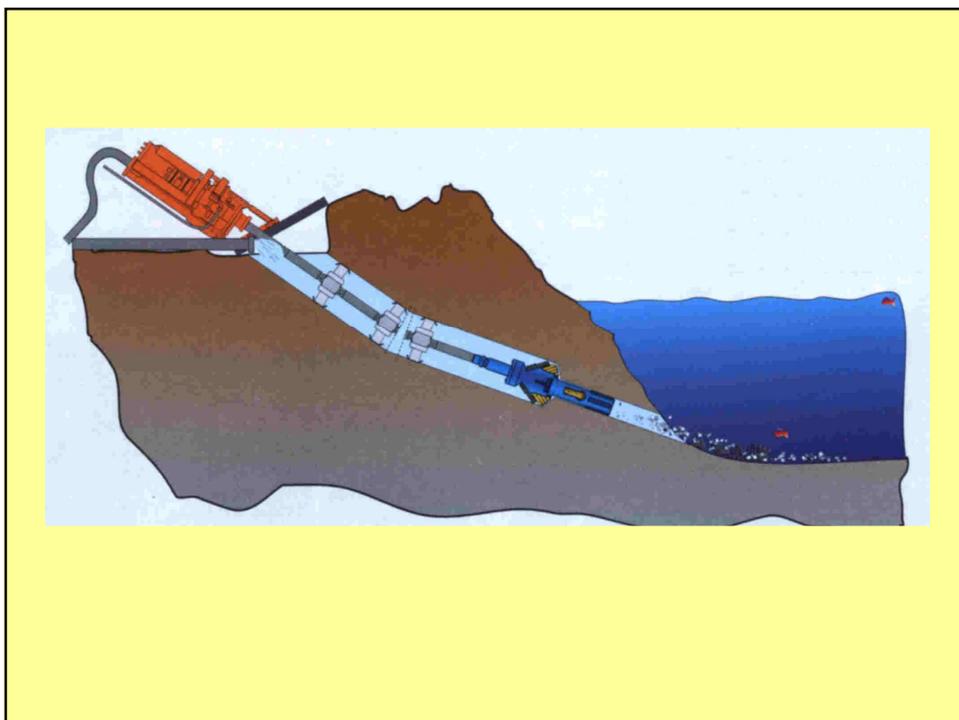
13



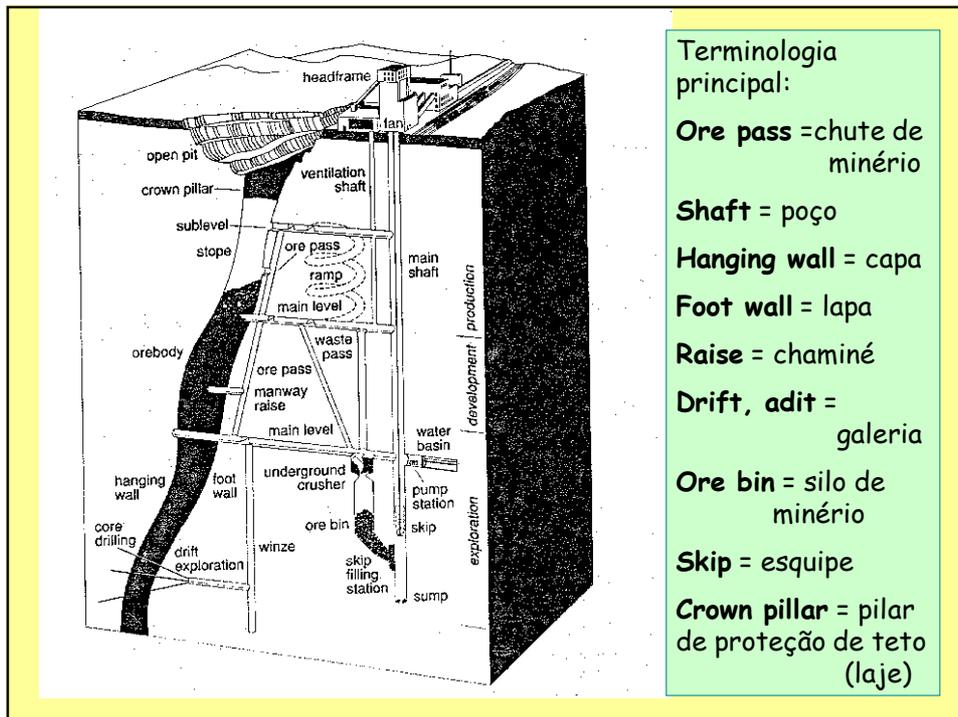
14



15



16



Terminologia principal:

Ore pass = chute de minério

Shaft = poço

Hanging wall = capa

Foot wall = lapa

Raise = chaminé

Drift, adit = galeria

Ore bin = silo de minério

Skip = esquite

Crown pillar = pilar de proteção de teto (laje)

17

OPERAÇÕES UNITÁRIAS EM SUBSOLO:

Ventilar - ventilation

Inspecionar teto e paredes – batimento de choco – scaling

Perfurar - drilling

Colocar carga explosiva - charging

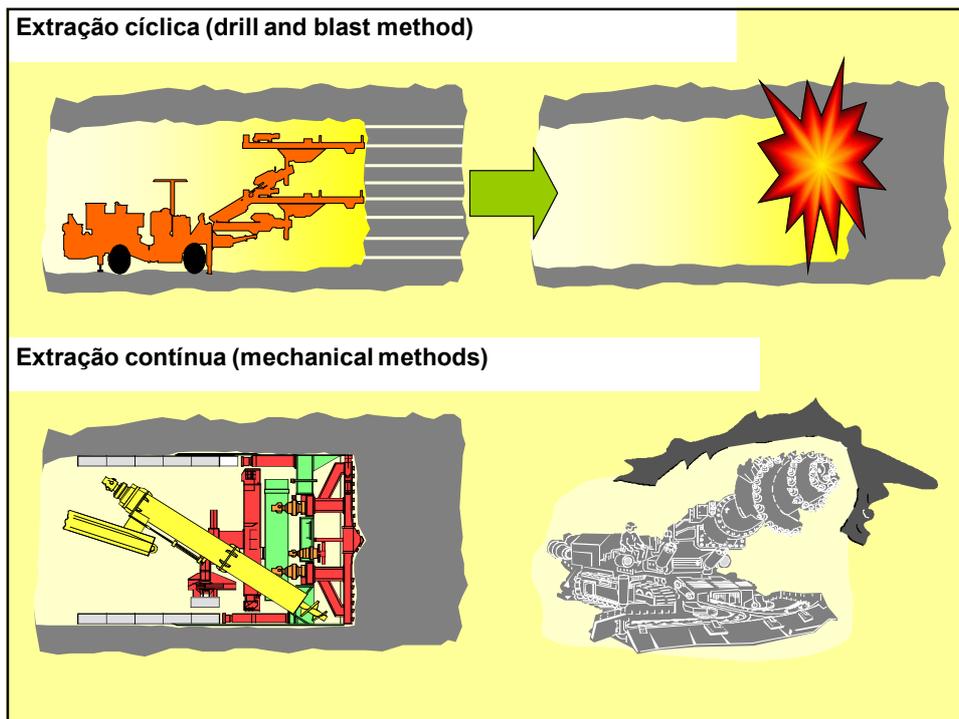
Detonar - blasting

Carregar

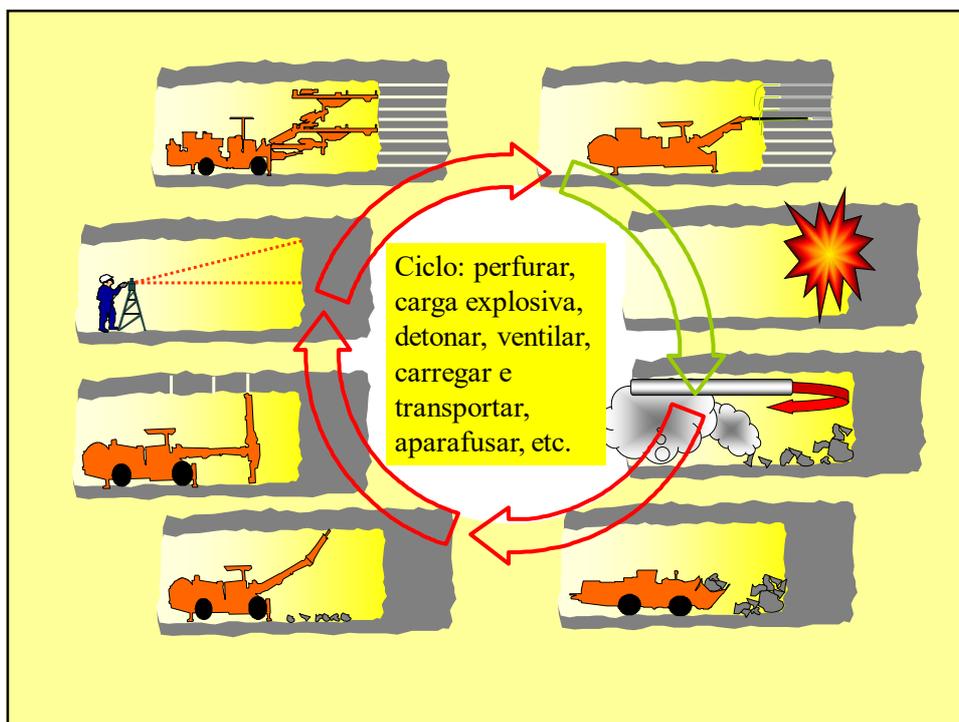
Transportar

Auxiliares: ar comprimido, **iluminação**, água (fornecimento e **bombeamento**), eletricidade, etc

18



19



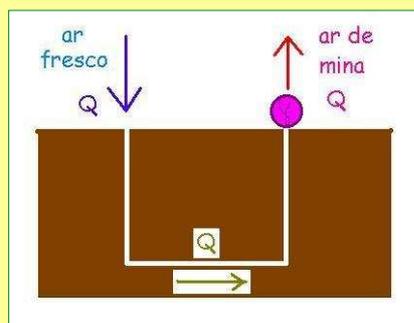
20

Ventilação:

Geral diluidora – mina toda, cada realce e face

Local exaustora

21



22

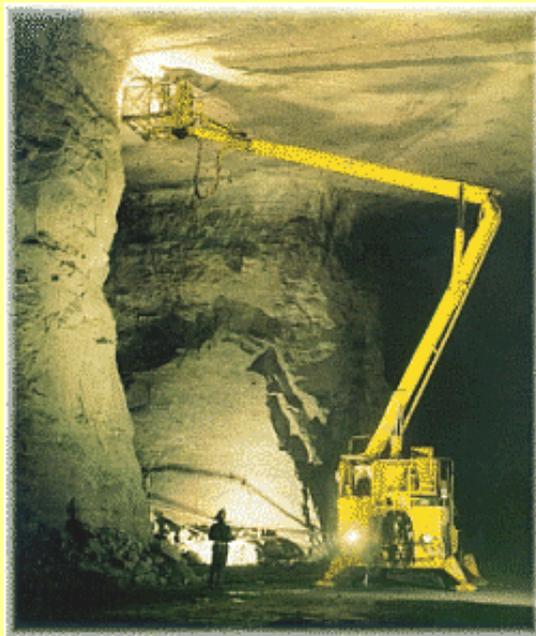
Segurança estrutural:

Batimento de chocos do teto - scaling

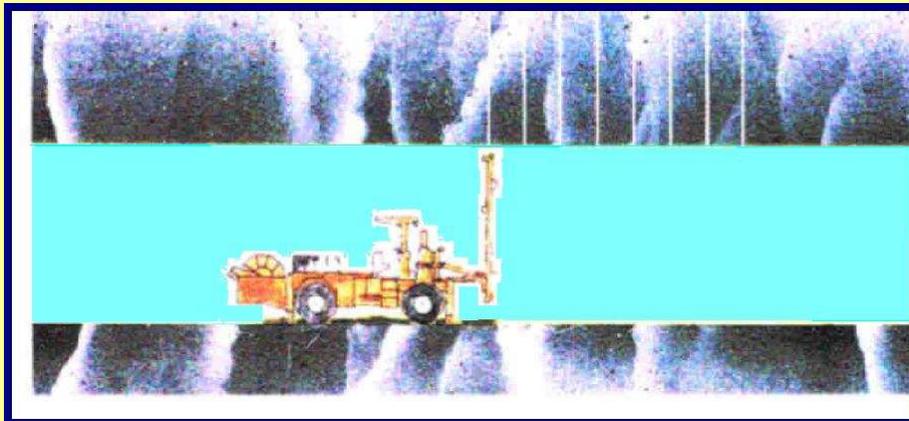
Piso, paredes, pilares

Rockburst

23



24



Colocação de parafusos de rocha (rock bolting)

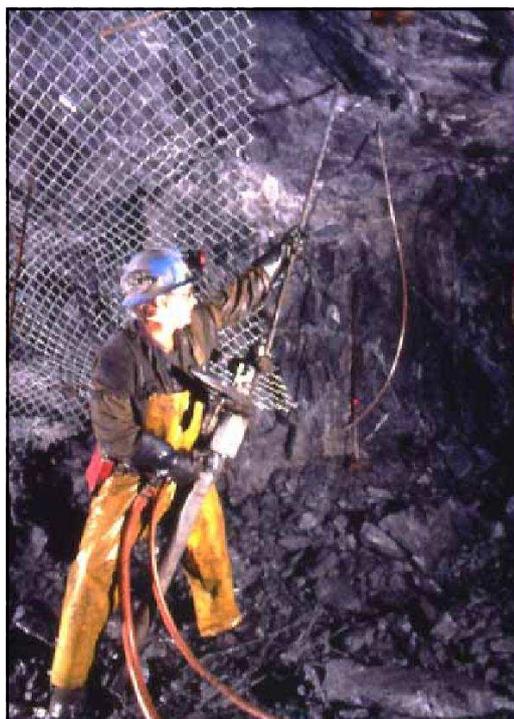
25

Iluminação em subsolo

Obrigatório uso de capacete com lanterna individual – lei

Sempre recomendável iluminação de rede

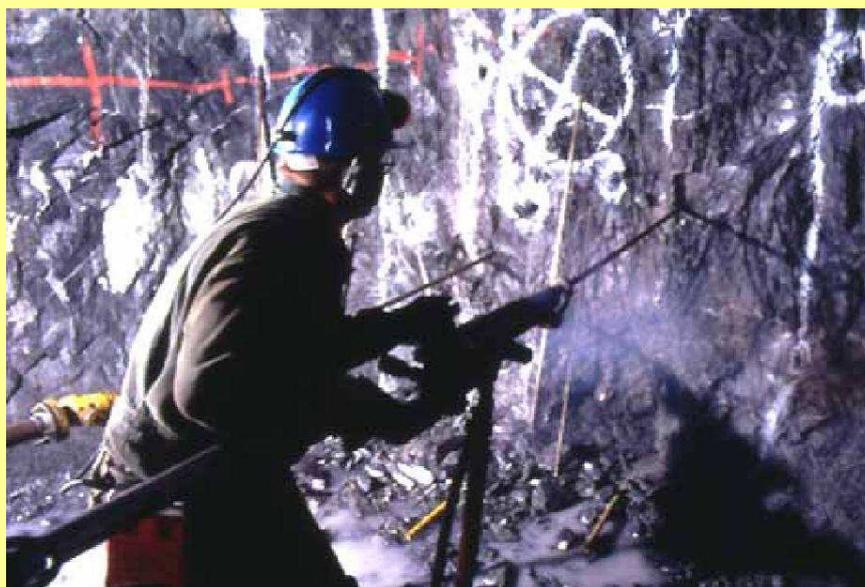
26



Perfuração manual do teto

27

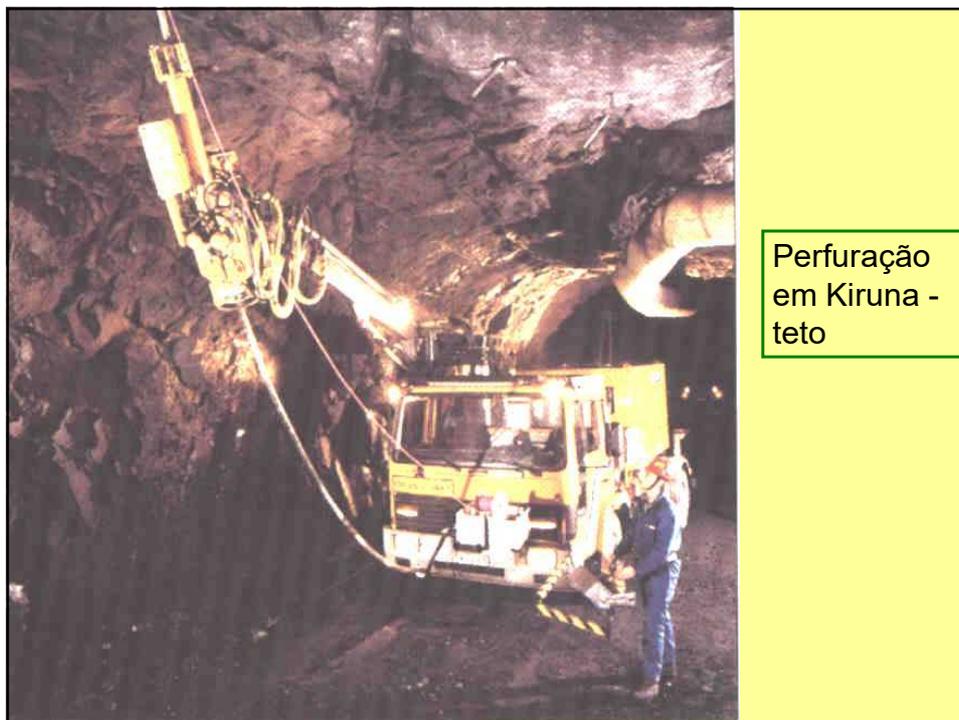
Perfuração manual da frente da galeria



28



29



30



Perfuração
Kiruna -
inclinada

31



Jumbo Tamrock
de 3 lanças.

Velocidade de
deslocamento
cerca de 10
km/h.

32



S-class drilling jumbo da Tamrock

33

Carregamento do minério desmontado:

Escavadoras, LHDs, rastelos, etc

Caminhões, LHDs, correias, etc

Cortadores contínuos com correias de arraste

34



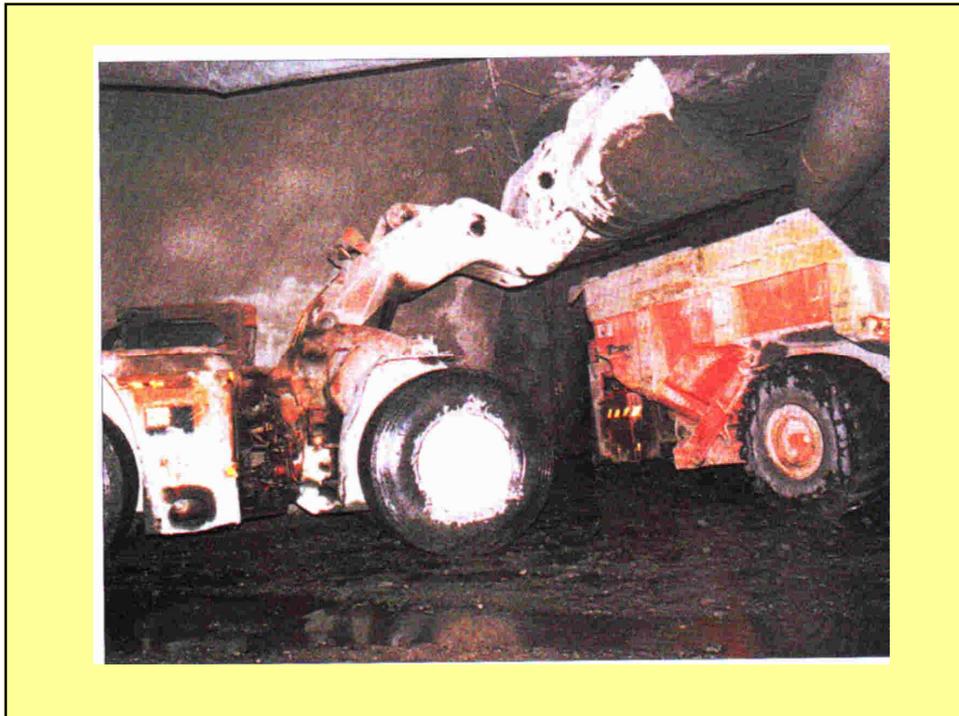
Lavra por pilar e salão em sal na Alemanha

35

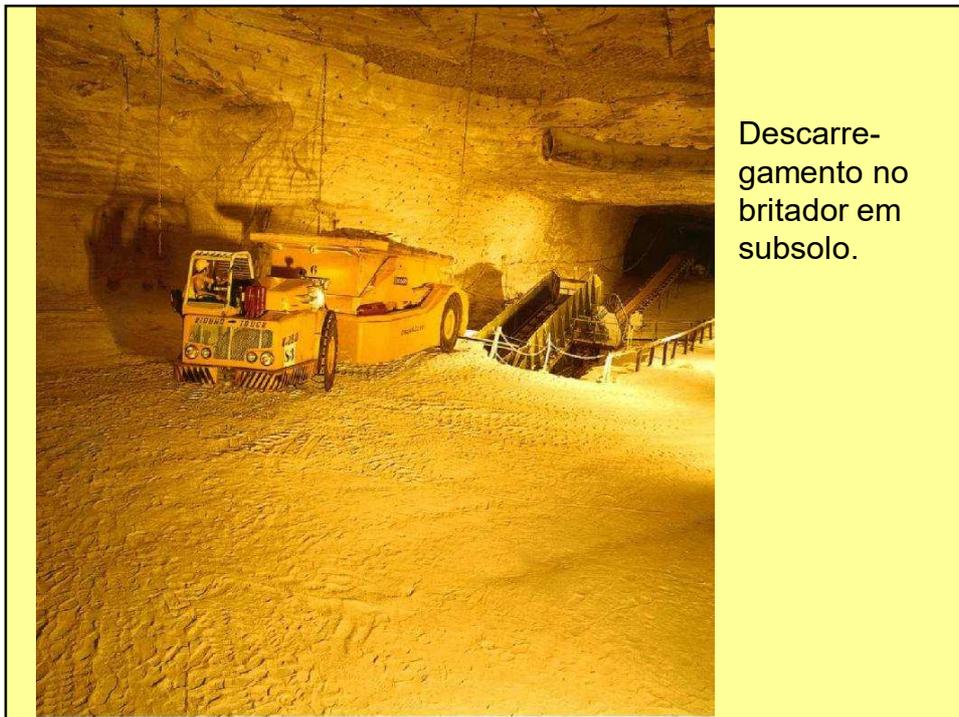
Pilar e salão



36

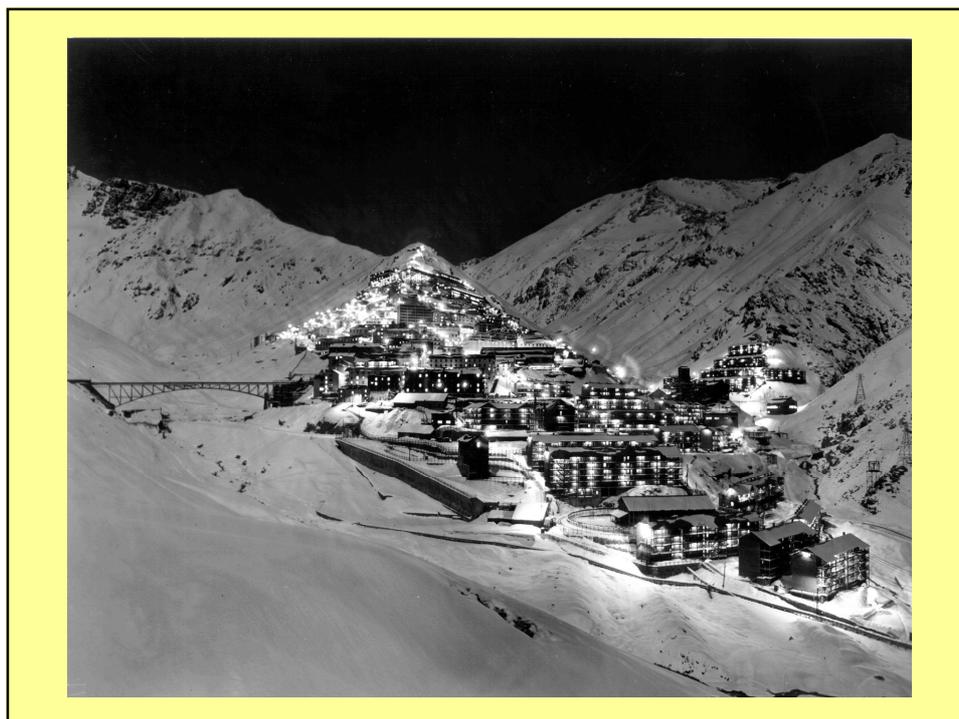


37

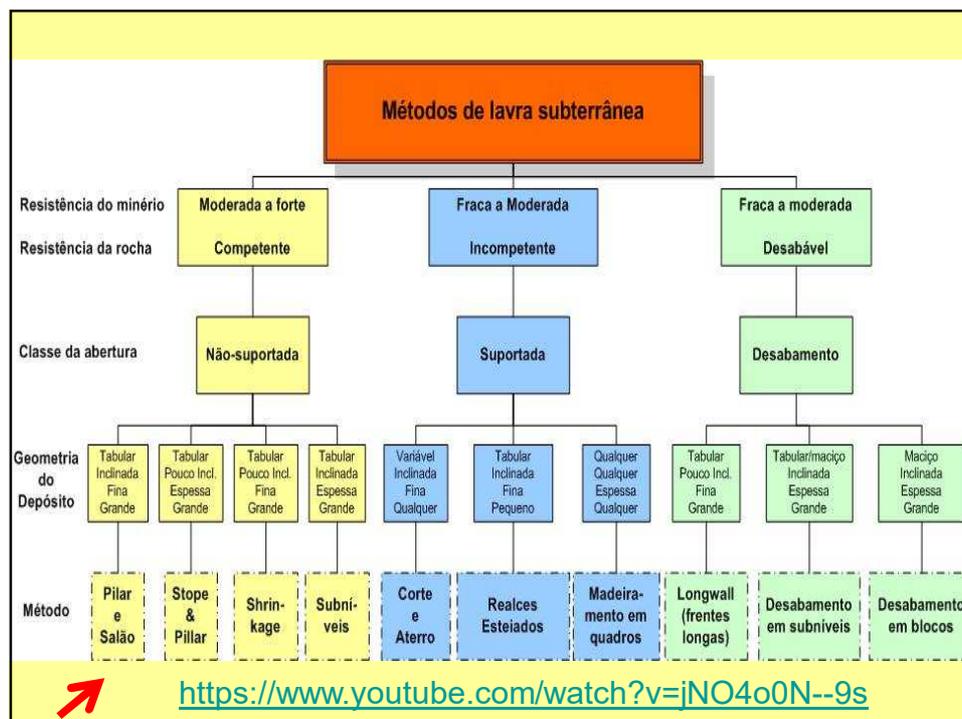


Descarregamento no britador em subsolo.

38



39



40

Pilar e salão (room and pillar, stope and pillar)

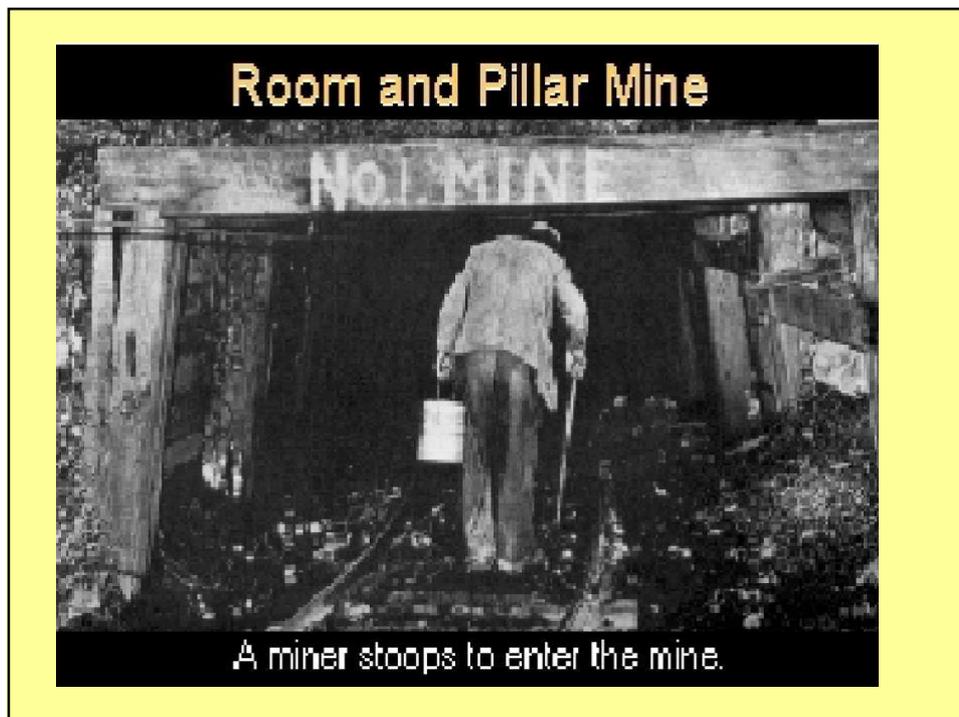
A lavra pelo método de pilar e salão (também conhecido como pilar e câmara) é o método subterrâneo mais antigo que se conhece.

O minério é extraído como um realce aberto onde parte do minério é deixado para servir de sustentação das paredes.

É um dos métodos mais frequentemente utilizados e para produções médias a grandes e um dos mais eficientes.

A produção pode ser obtida de duas maneiras distintas: por mineradores contínuos ou em operações cíclicas, com equipamento convencional.

41



42



43



44



Isto é suporte de rocha!

45



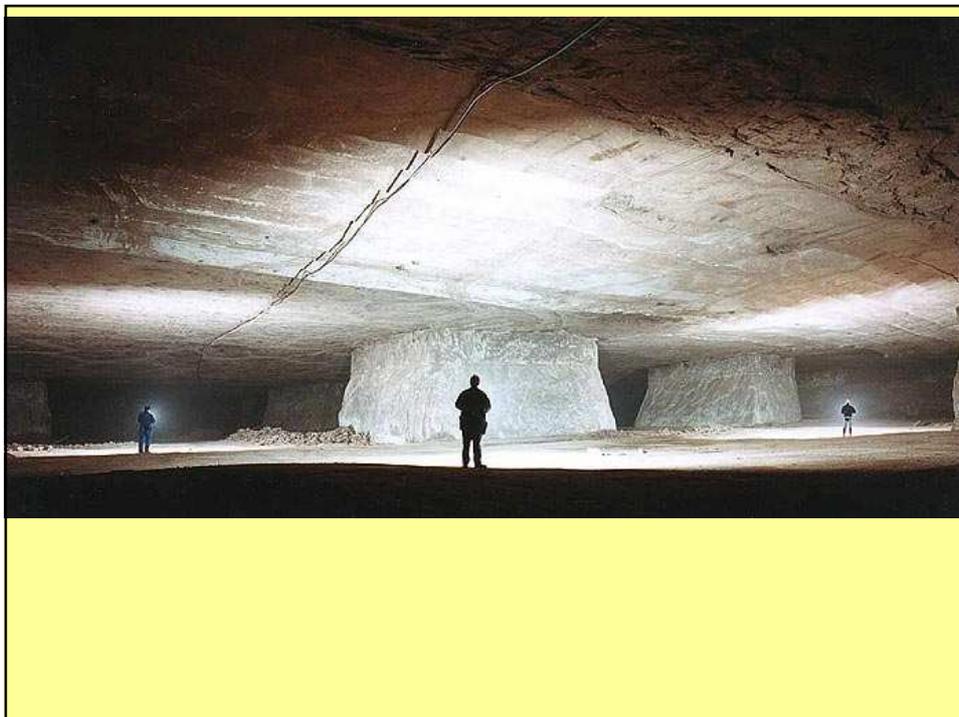
Minerador Alpine AM-85, no desenvolvimento de Taquari Vassouras

46



Foto de um pilar fraturado em Taquari Vassouras

47



48

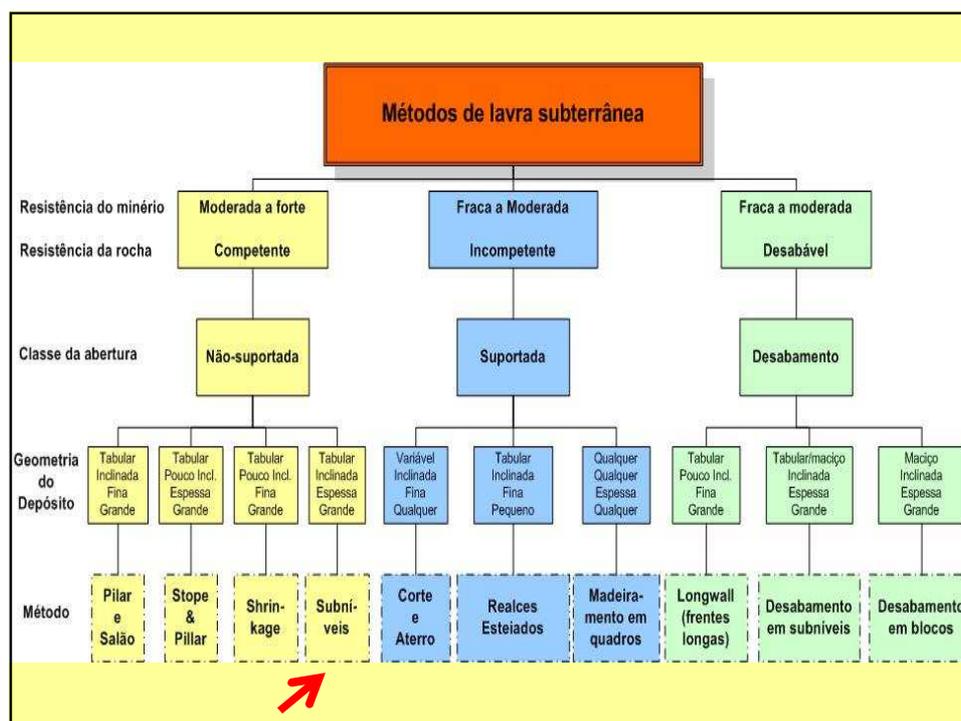


2 perforatrizes de teto

49

*Room and Pillar
Mining*

50



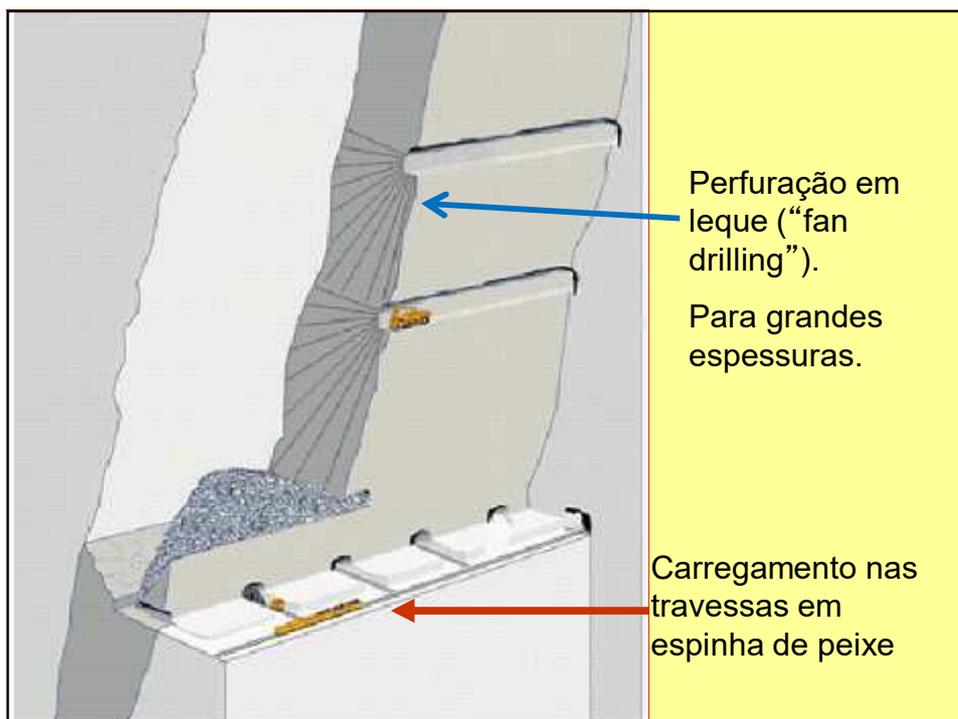
51

SUBNÍVEIS E SUBNÍVEIS COM PERFURAÇÕES LONGAS

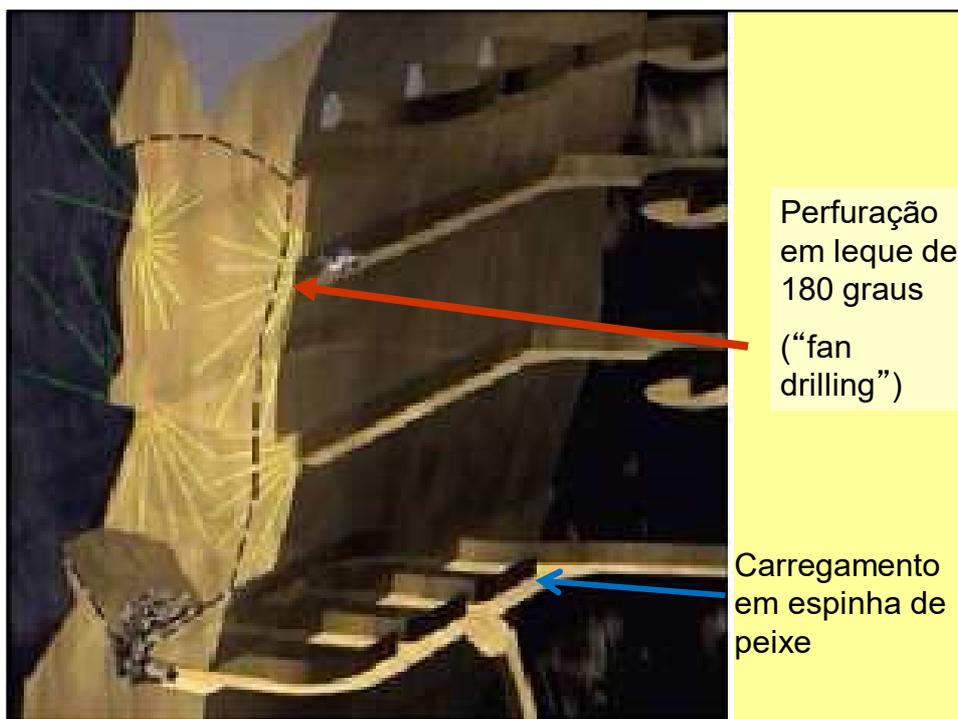
O desmonte de minério a partir de subníveis, dividindo os painéis e blocos em unidades menores e de mais fácil acesso, é muito utilizado em filões e camadas de forte mergulho.

Uso de equipamentos de perfuração com capacidade para abertura de furos longos e bem orientados faz com que a lavra em realces abertos seja eficiente e competitivo.

52



53



54

**Perfuração do leque ("LONG HOLE DRILLING")
Para baixo**



55

**Perfuração do leque ("LONG HOLE DRILLING")
Para cima**



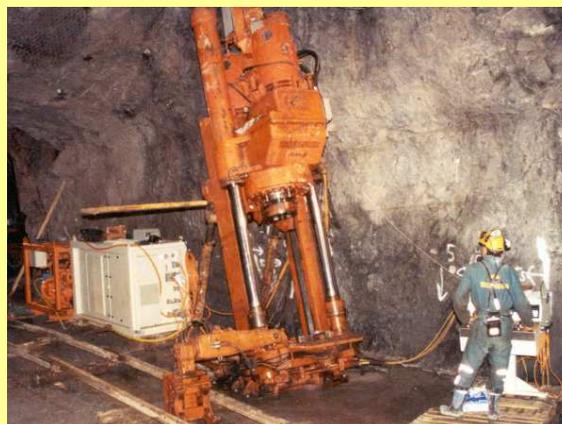
56

**Perfuração do leque ("LONG HOLE DRILLING")
Inclinada.**



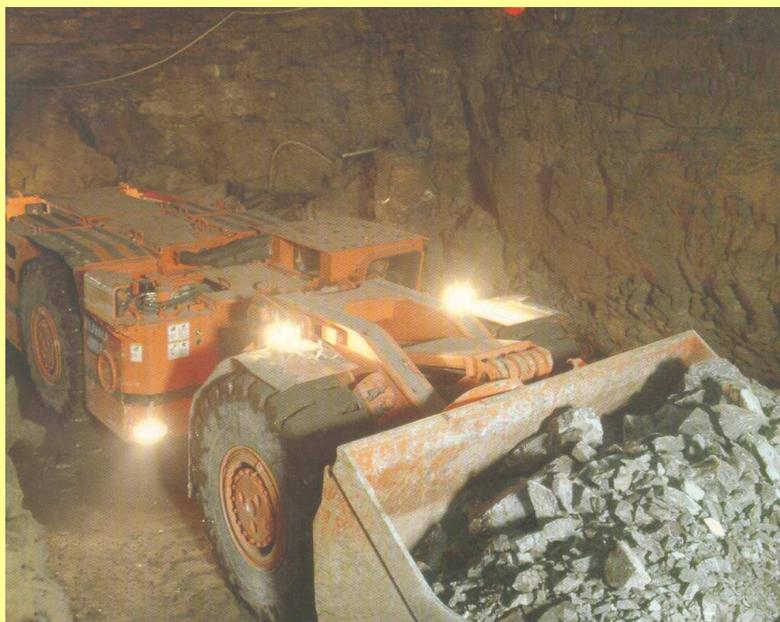
57

**Perfuração em leque
Inclinada.**



58

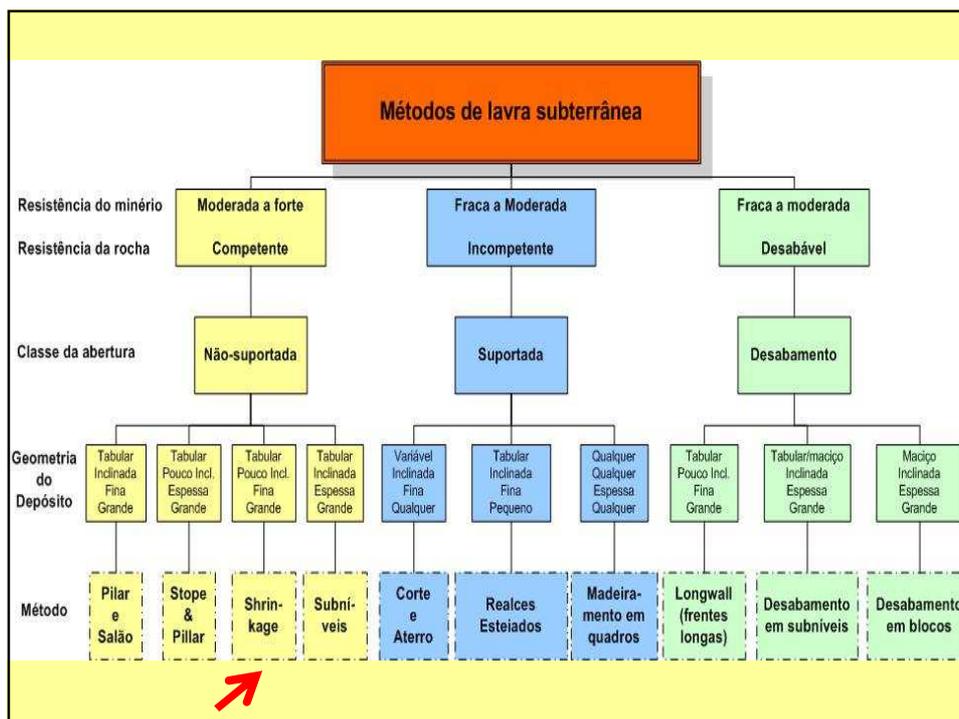
Carregamento com LHD – “load, haul, dump”



59

*SUBLEVEL
STOPING*

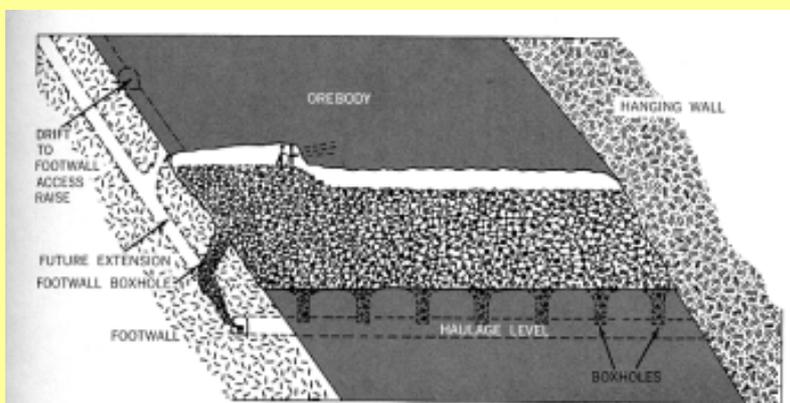
60



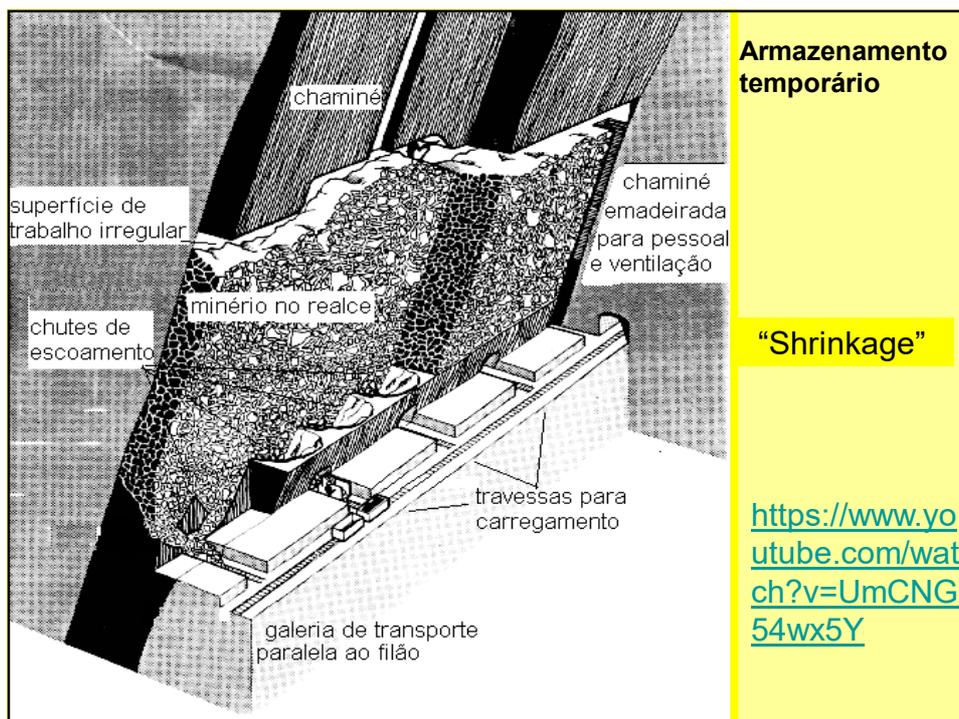
61

Armazenamento temporário - Shrinkage

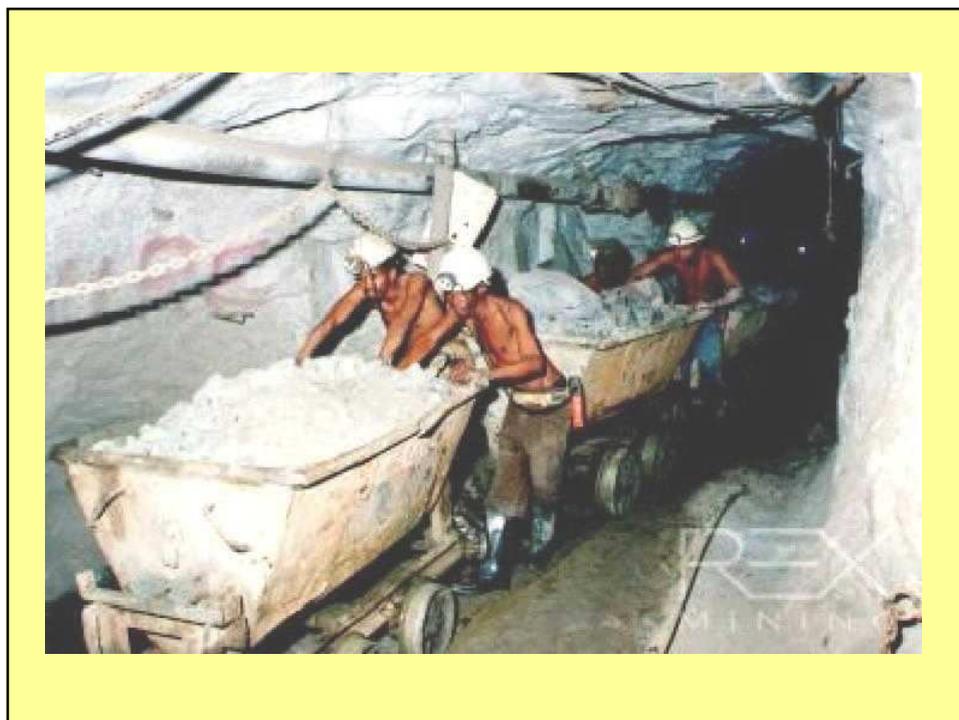
A designação "Armazenamento" decorre da prática de conservar-se, dentro do realce, durante o período de desmonte de todo minério de um bloco, um volume de minério desmontado igual ao volume "in situ", removendo-se apenas a porção correspondente ao empolamento que usualmente é da ordem de 40%. O minério desmontado serve como piso para perfuração e desmonte com explosivos e como suporte das encaixantes até que seja drenado do realce.



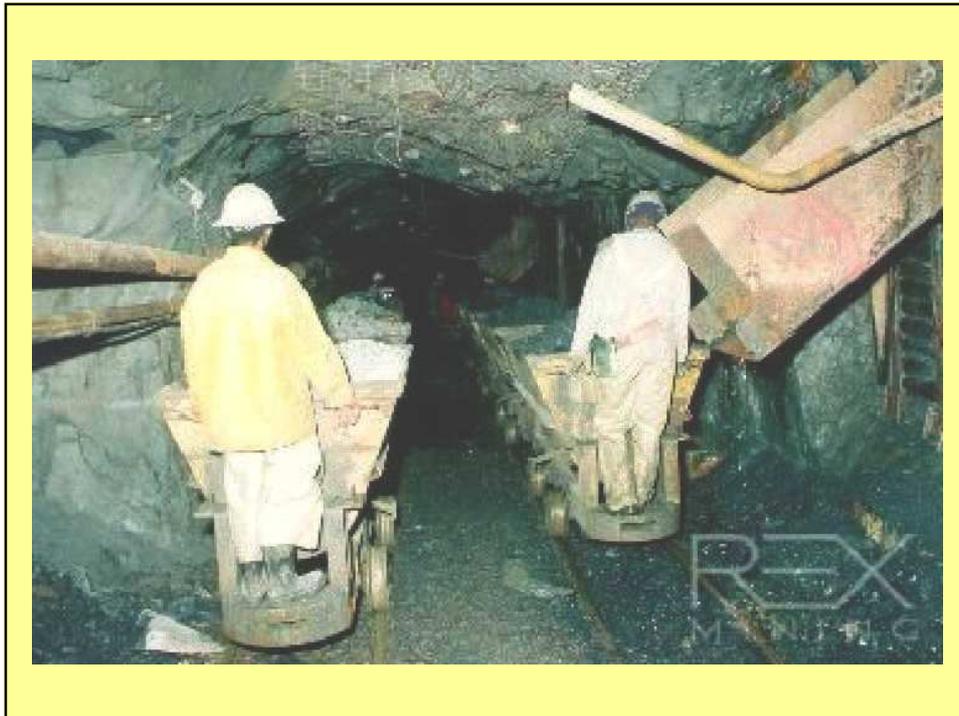
62



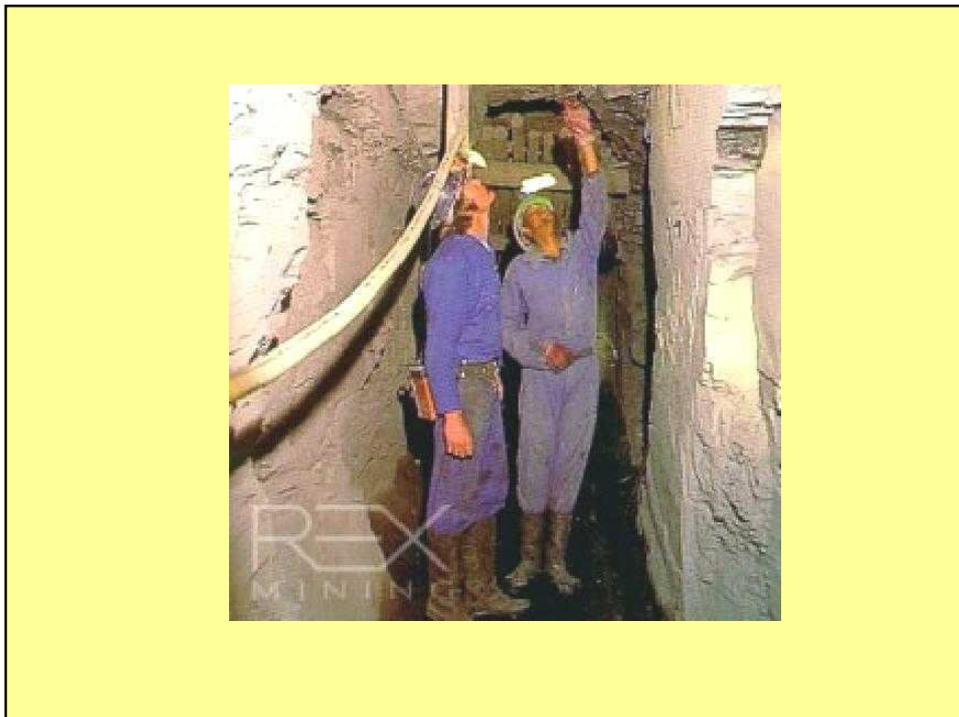
63



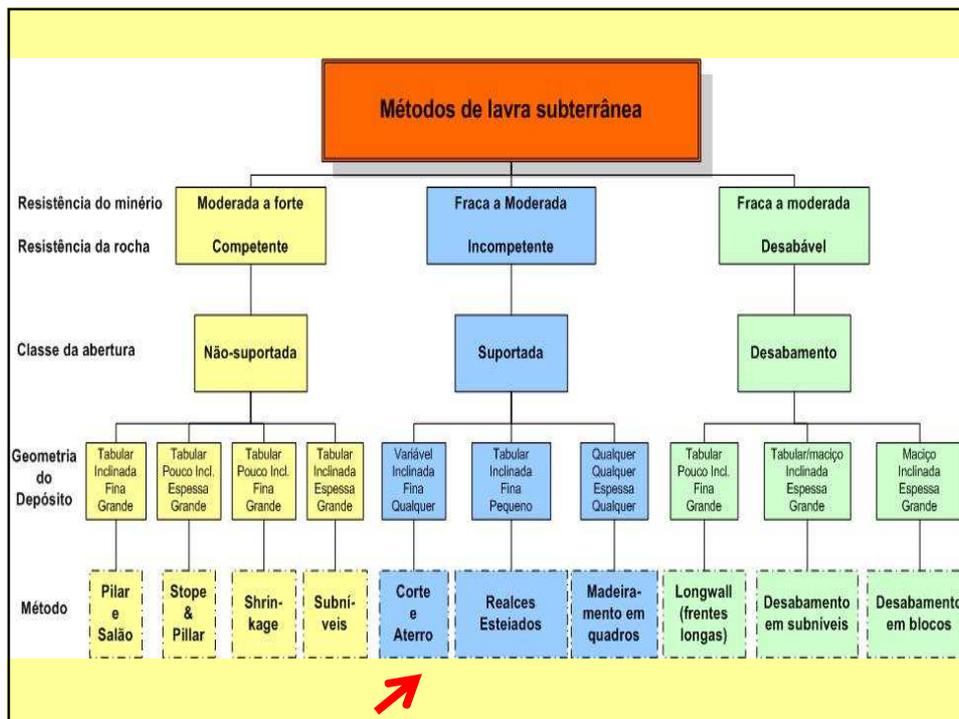
64



65



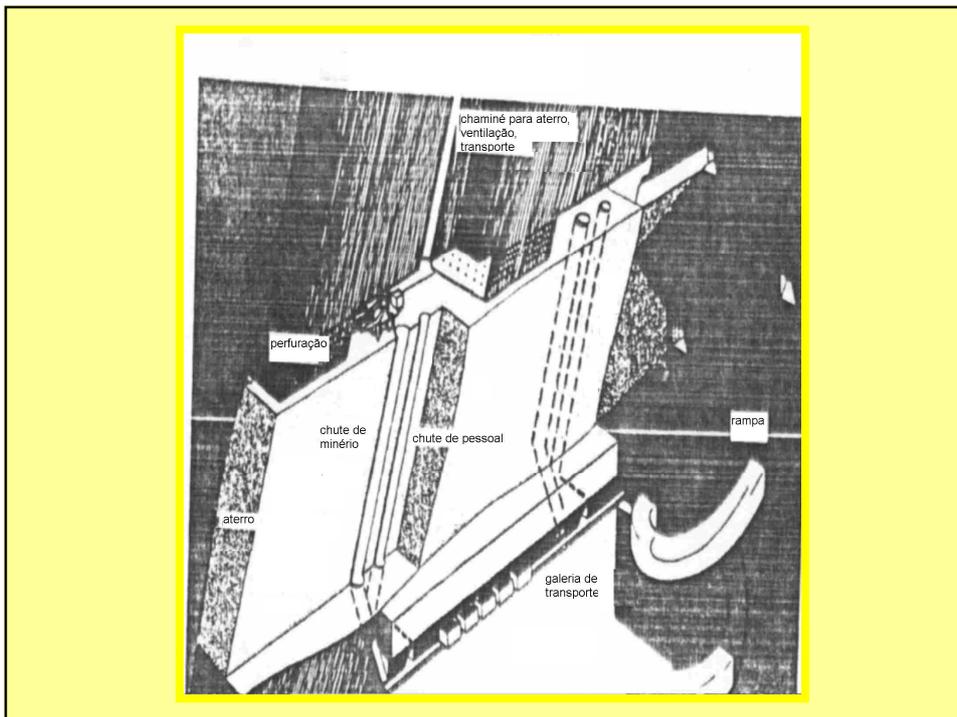
66



67



68



69

Métodos com reforço sistemático

Madeiramento em quadros

Vertical
Normal
Inclina

Suporte trasverso
Suporte longo sobre presilha

2,5 m - 4,5 m
Cunha
Suporte

Cunha
Cunha
Suporte

Taboas
Cunhas
Armação

2,5 m
1,2 m

Taboas
Cunhas
Suporte

Madeiramento em quadros

<https://www.youtube.com/watch?v=K T7QnsKkly8>

<https://www.youtube.com/watch?v=Y1 2MmnG1le4> (2:32)

<https://www.youtube.com/watch?v= QeqqTigy2PU>

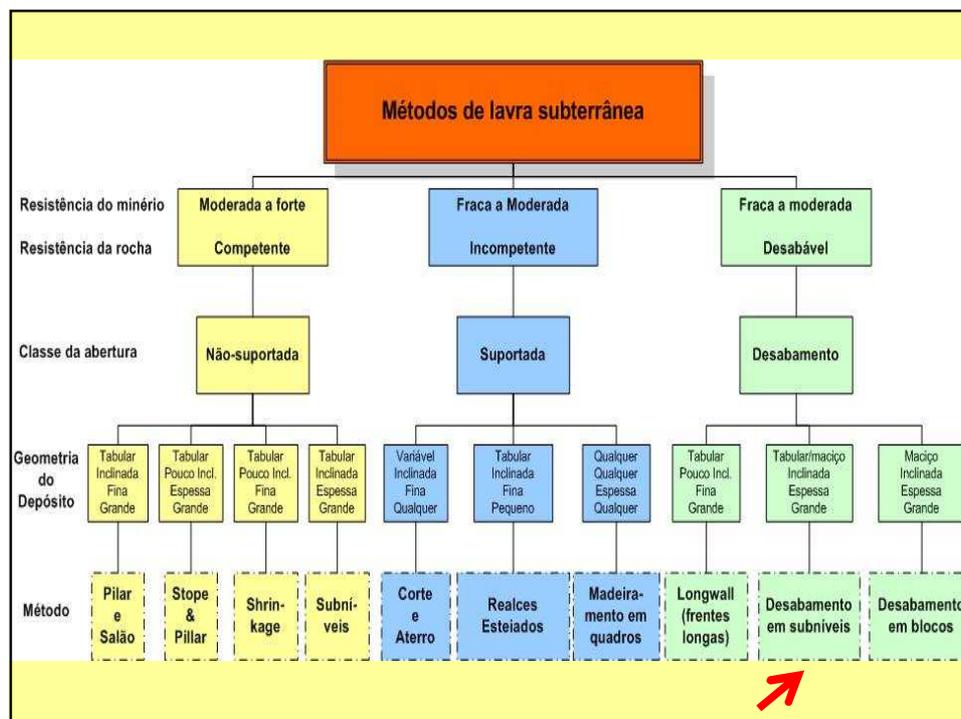
Realces esteiados

<https://www.youtube.com/watch?v=VyWA6TK0cRM> (4:00)

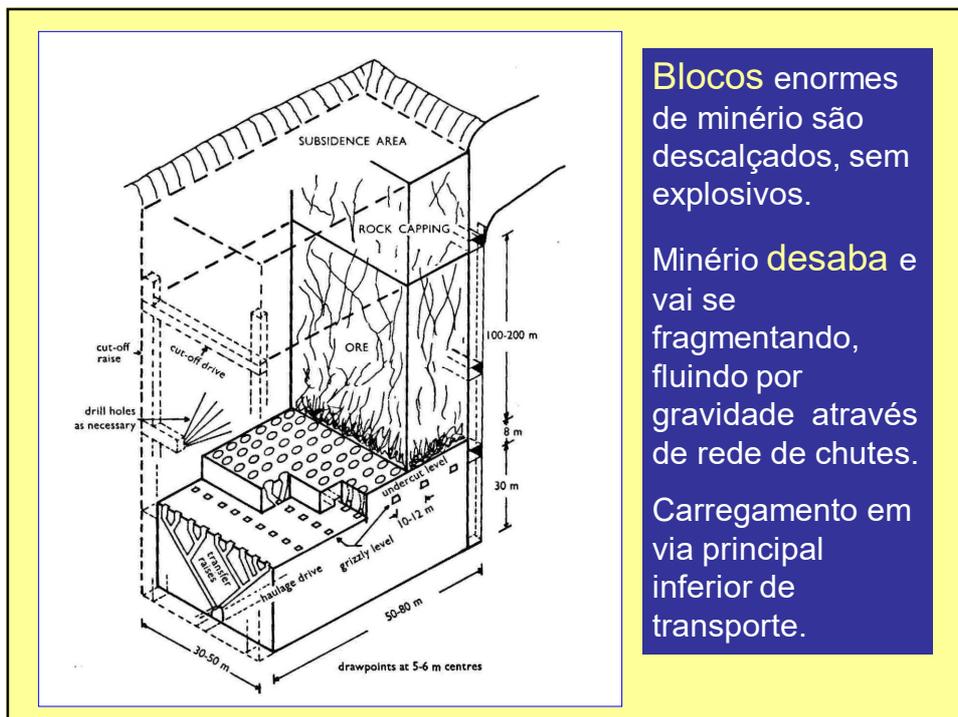
70

CUT AND FILL STOPING

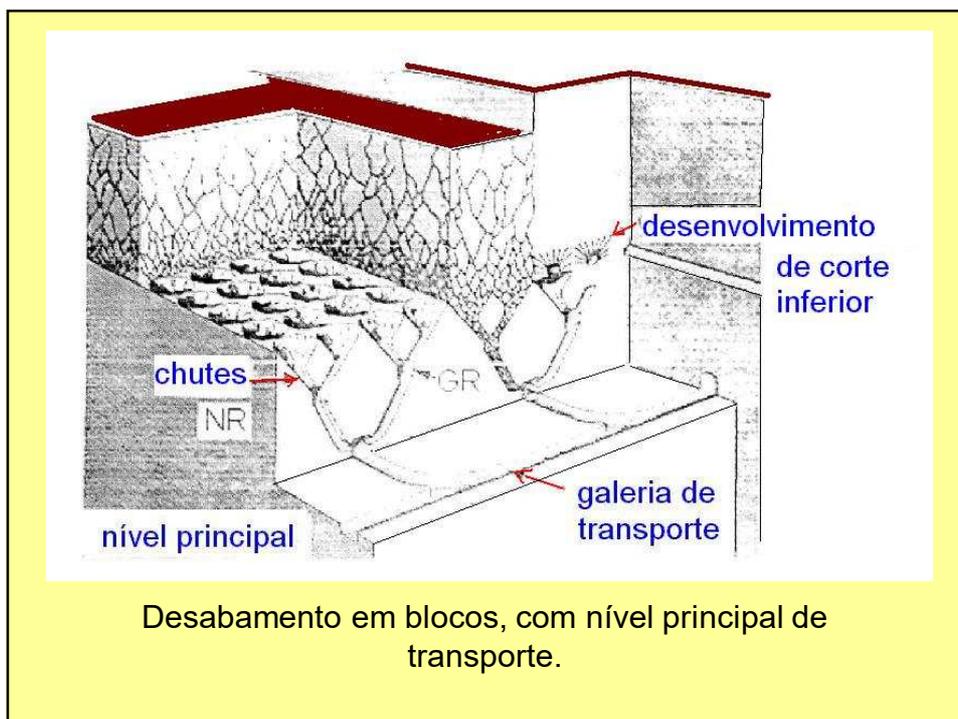
71



72



73

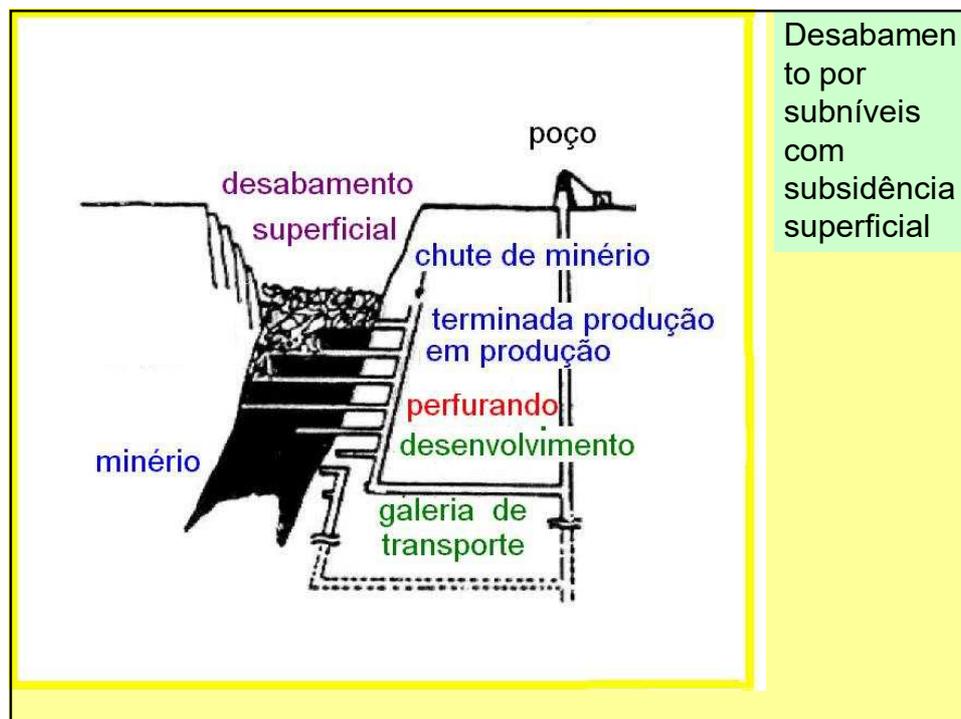


74

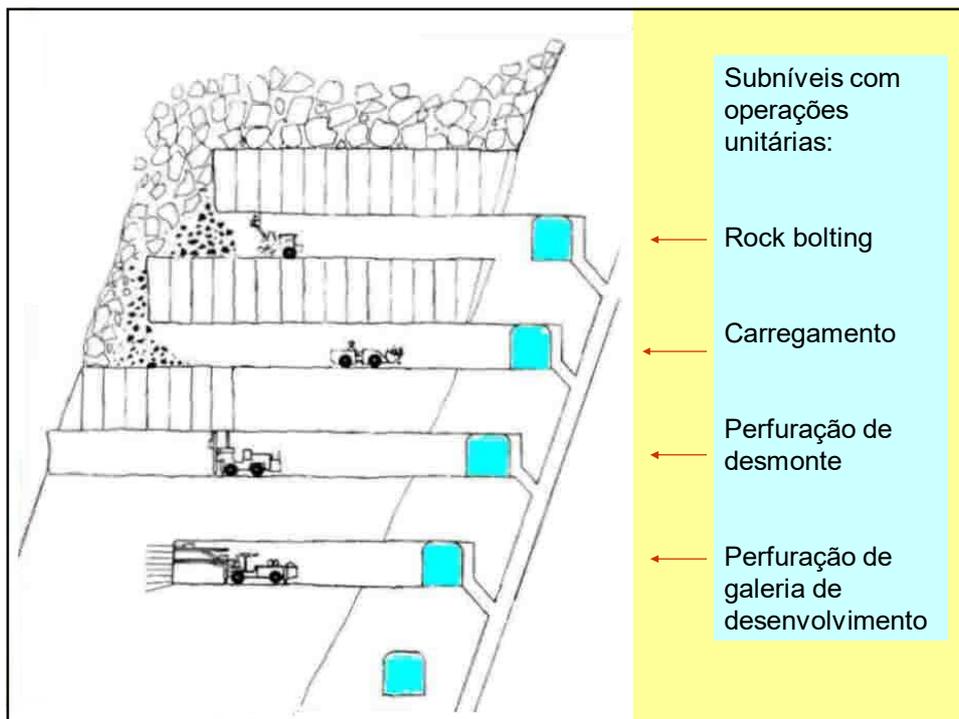
Desabamento em subníveis:

Uma detonação no minério para iniciar o processo de desabamento.

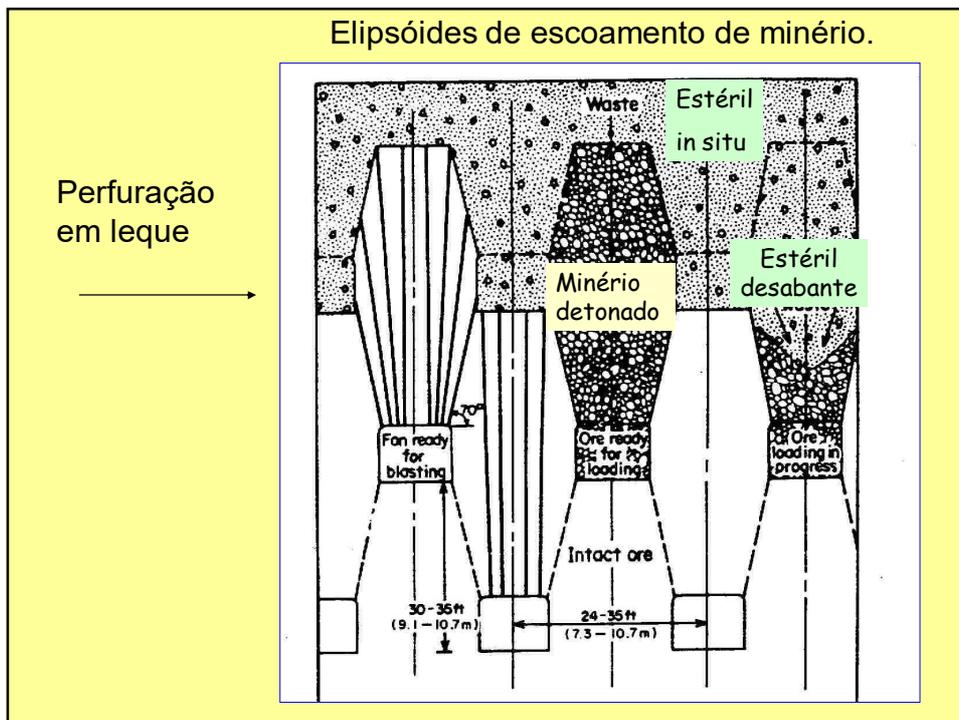
75



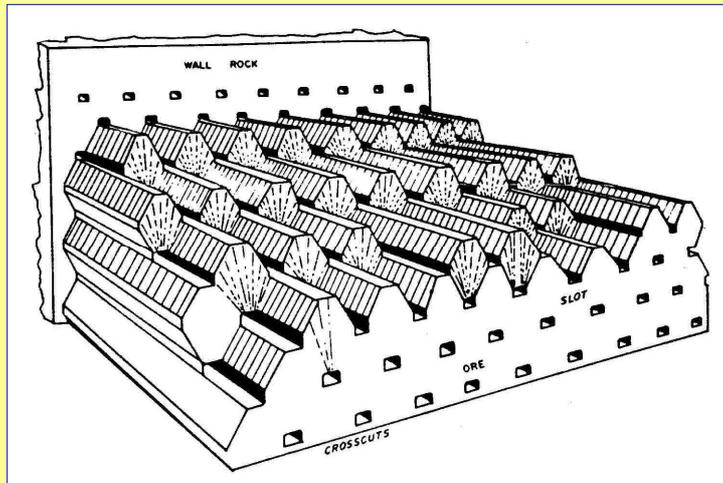
76



77



78



Desabamento por subníveis, com detonação parcial do minério e desabamento da capa, causando subsidência na superfície.

79

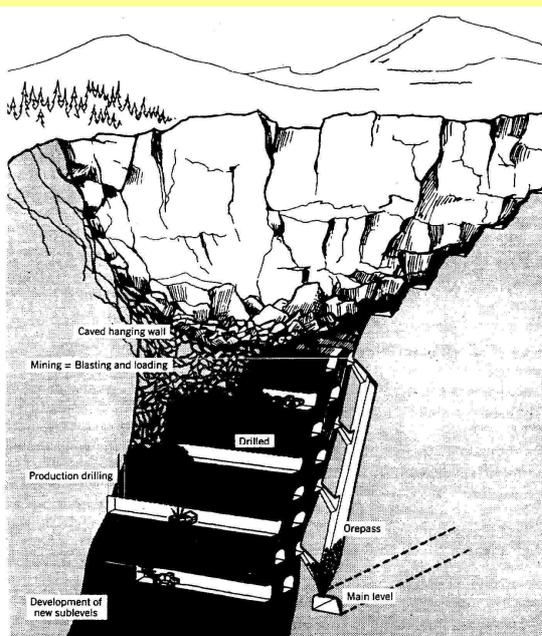


Figure 12.6. Sublevel caving in a large, steeply dipping ore body. Different unit operations

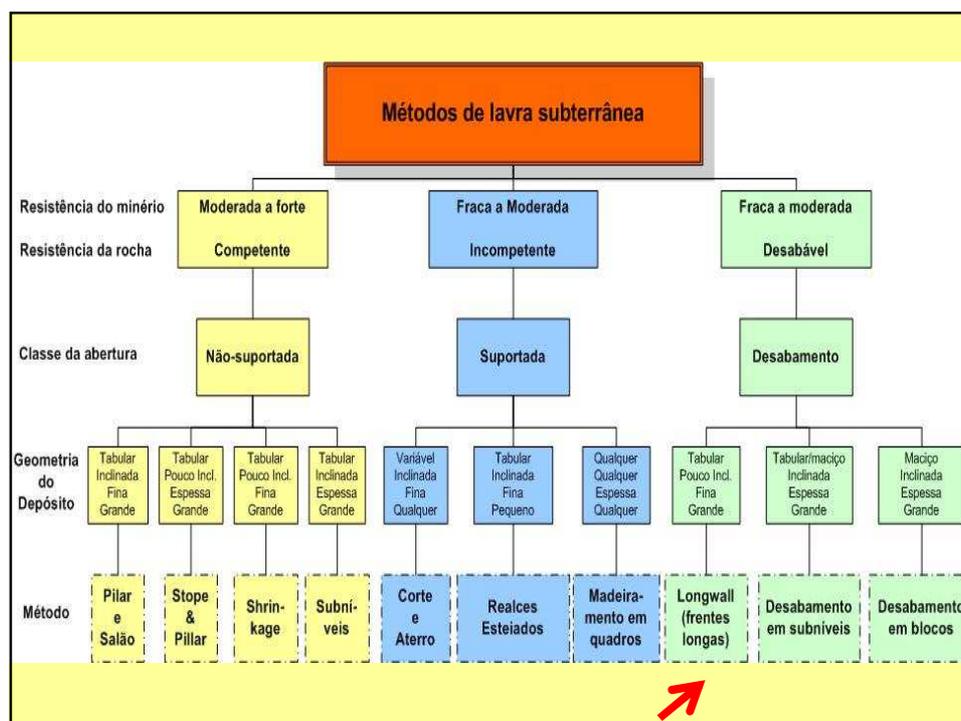
Subsidência superficial é causada por métodos por desabamento como frentes longas, por blocos, por subníveis, etc.

Figura ilustra subsidência causada pelo método de desabamento por subníveis.

80

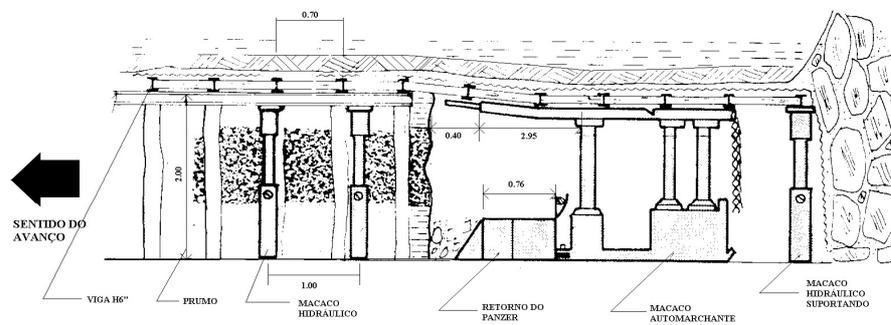
SUBLEVEL CAVING

81



82

FRENTES LONGAS (LONGWALL)



<https://www.youtube.com/watch?v=XmD2dY9WiX0>

<https://www.youtube.com/watch?v=N8hXAGNfQmU>

<https://www.youtube.com/watch?v=HHaUypSqdzM>

83

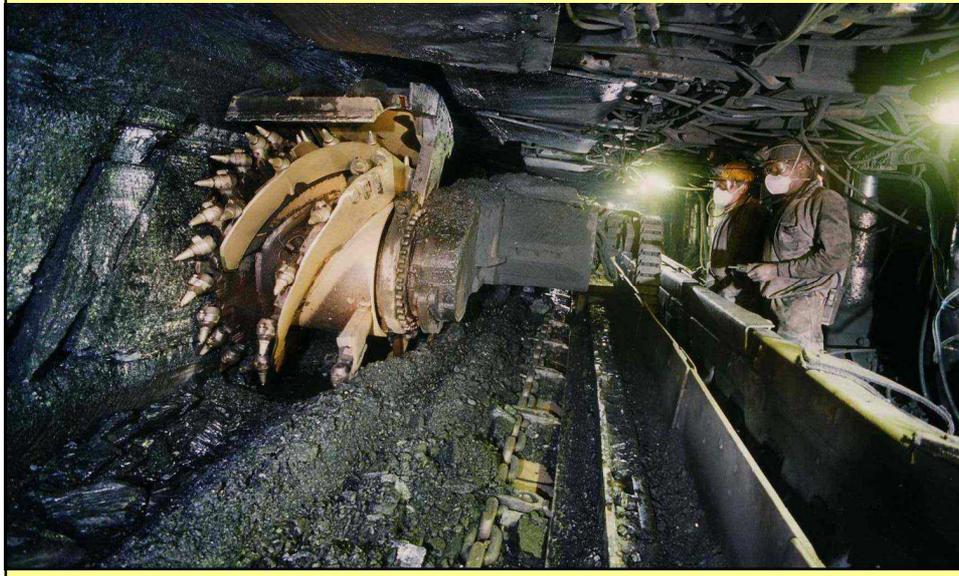


Minerador contínuo

Extração com máquina tipo fresa ("shearer")

84

Extração com máquina tipo fresa (“shearer”)



85

Fresa com dentes

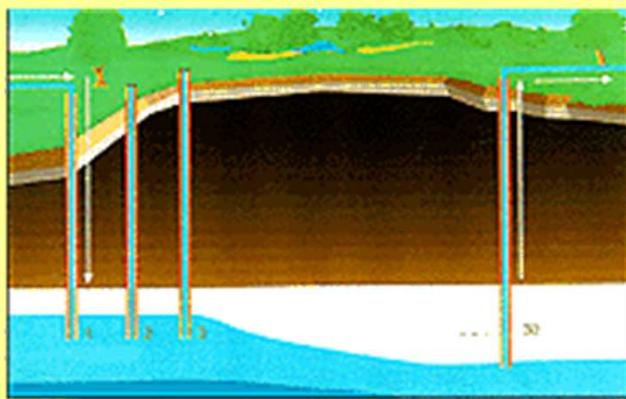


86



87

Métodos especiais: solution mining para sal

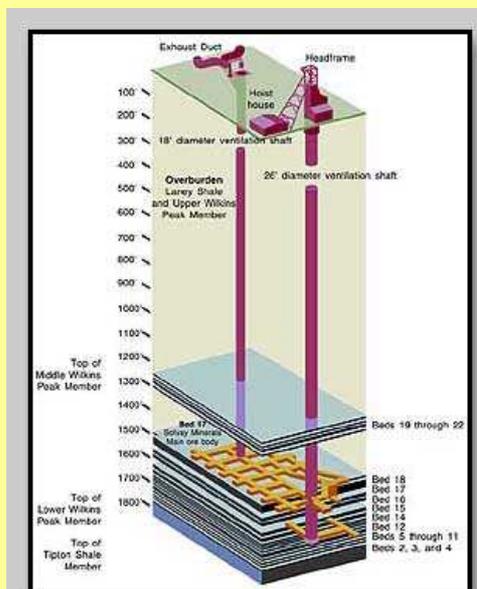


<https://www.youtube.com/watch?v=WL6v1a1mEts>

<https://www.youtube.com/watch?v=CbC3MRRDjzo>

88

Solution mining: trona no Wyoming



89

PROVA P1

DATA: NOVA DATA A SER
DEFINIDA (2ª feira)

HORÁRIO: 13:10 – 14:50 h

LOCAL: ANFITEATRO DO PMI

Obs.: Sem celular e smartwatch

90