



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

PMI-3102 INTRODUÇÃO À ENGENHARIA DE MINAS

AULA 3 – MÉTODOS DE LAVRA A CÉU ABERTO

Wilson Siguemasa Iramina

São Paulo, 12 de março de 2020

1

REVISÃO DA AULA PASSADA

INTRODUÇÃO – LAVRA EM BANCADAS

- Entende-se por lavra, o conjunto de operações coordenadas objetivando o aproveitamento industrial da jazida, desde a extração de substâncias minerais úteis que contiver, até o beneficiamento das mesmas (DNPM / ANM);
- Método de lavra mais comum em minas a céu-aberto;
- Muito comum em rochas e materiais competentes (resistentes);
- Grande variedade de equipamentos especializados para escavação e transporte;

2

INTRODUÇÃO – LAVRA EM BANCADAS

O dimensionamento da cava e das bancadas depende de fatores como:

- geologia local
- distribuição de teores
- dimensões da jazida
- topografia e limites da propriedade
- taxas de produção
- altura das bancadas
- ângulos de talude
- largura e gradiente das rampas
- custos e receitas esperadas
- recuperação de lavra e da usina
- teores de corte
- relação estéril-minério

3

MINA DE CONCEIÇÃO–Vale, Itabira, MG



https://www.youtube.com/watch?v=LI0Zh_7XUdw

4

OPERAÇÕES UNITÁRIAS EM UMA MINA A CÉU ABERTO

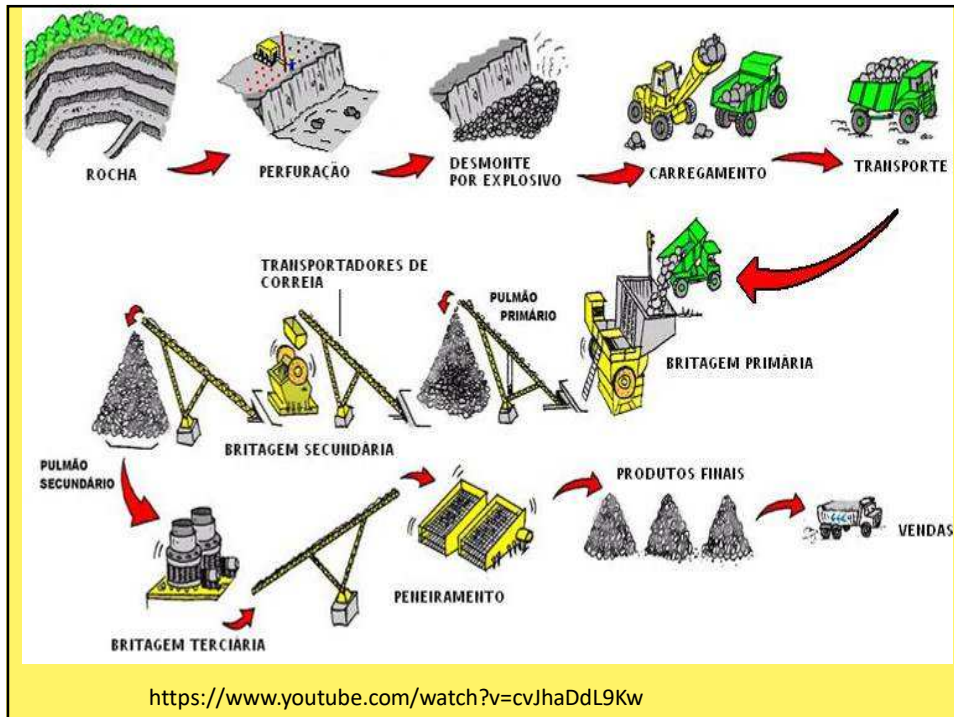


<https://www.youtube.com/watch?v=CD3ftgLyec>

<https://www.youtube.com/watch?v=u-4cnGLDgek>

<https://www.youtube.com/watch?v=CfNK7cVI9fg> (Portugues)

5

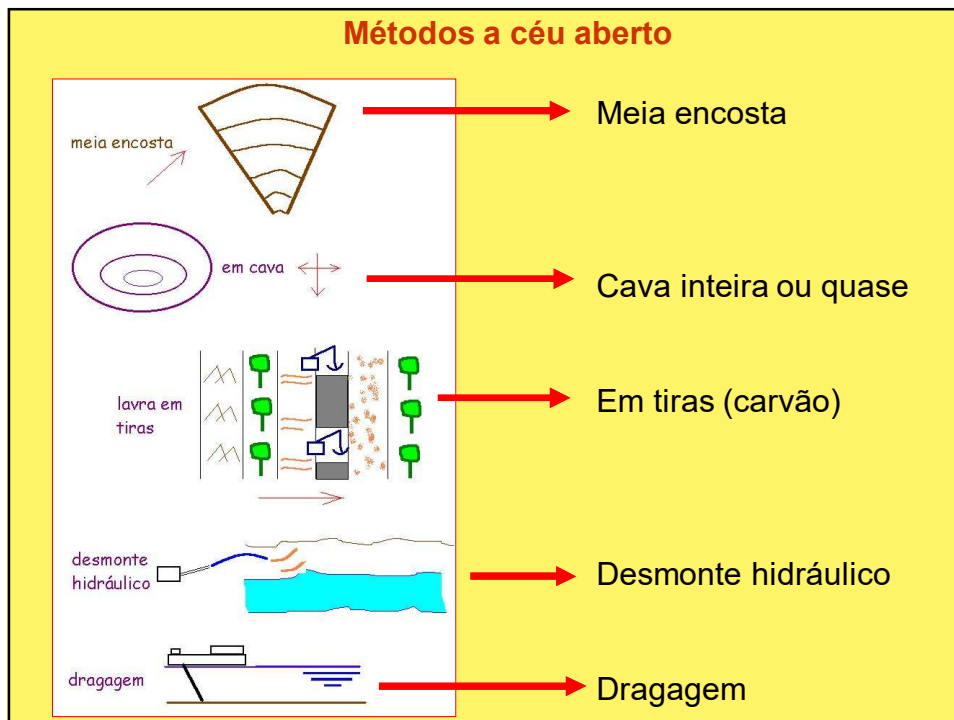


<https://www.youtube.com/watch?v=cvJhaDdL9Kw>

6

Métodos a céu aberto

7



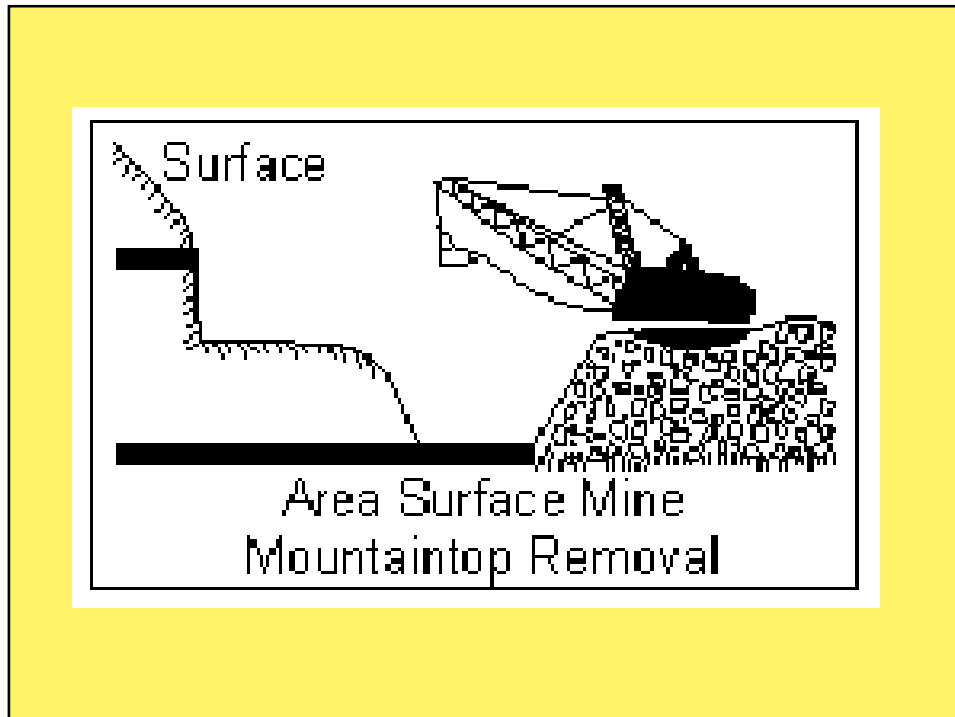
8

Classificação completa dos métodos a céu aberto

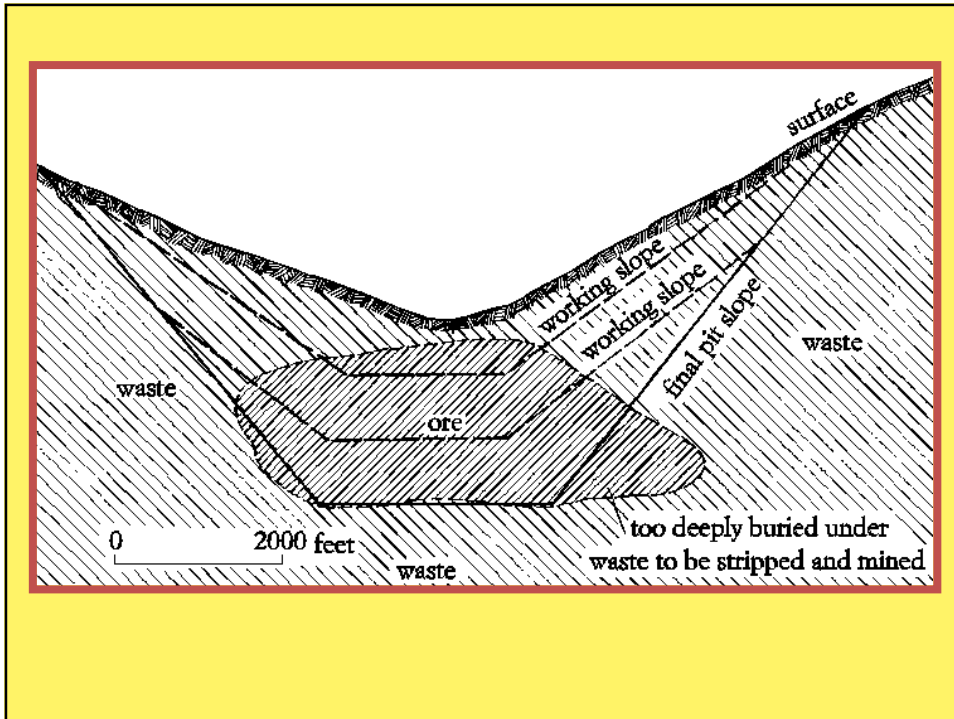
classe	subclasse	método
mecânica		em cava = open pit
		poço em fundo de cava = glory holing
		meia encosta - pedreira = quarrying
		lavra em tiras = strip mining
		extração a trado = auger mining
aquosa	aluvião = placer	bateamento = panning
		em calha = sluicing
		dragagem = dredging
		desmonte hidráulico = hydraulic mining
	por solução = solution	técnicas superficiais = surf. technique
		lixiviação in situ = in situ leaching

(E. Bohnit, 1992)

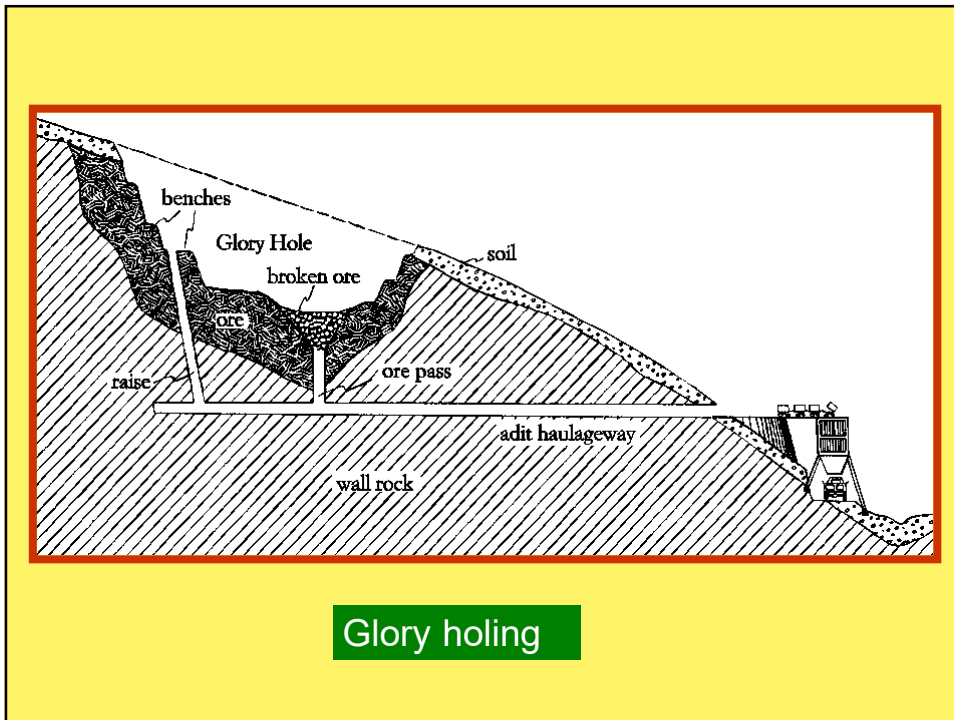
9



10



11



Glory holing

12

LAVRA EM TIRAS

- Lavra em Tiras é o método utilizado quando a frente de lavra avança em faixas ou tiras paralelas
- Método comum em depósitos em camadas superficiais, com pouca cobertura, como carvão bauxita, e outros depósitos sedimentares.
- Muito comum em lavra de carvão nos EUA, portanto a definição de lavra em tiras (“strip mining”) é associada à lavra de carvão.
- Muito usado com draglines para decapeamento.

13

LAVRA EM TIRAS

Equipamentos mais comuns para o decapeamento:

Equipamento	Tipo de Decapeamento
-----	-----
Draglines	Despejo direto Retomada da pilha Bancos alargados Transporte parcial
Bulldozer	Despejo Direto Seletividade
Escavadora	Despejo direto Transporte por caminhões Despejo com correias
Escrapers	Escavação e transporte

14

SEQUENCIA DE OPERAÇÕES DE LAVRA EM TIRAS

- Desmatamento
- Remoção de galhadas
- Estocagem do solo
- Decapeamento
- Lavra do minério
- Empilhamento do estéril
- Recomposição topográfica
- Reposição do solo
- Recuperação ambiental

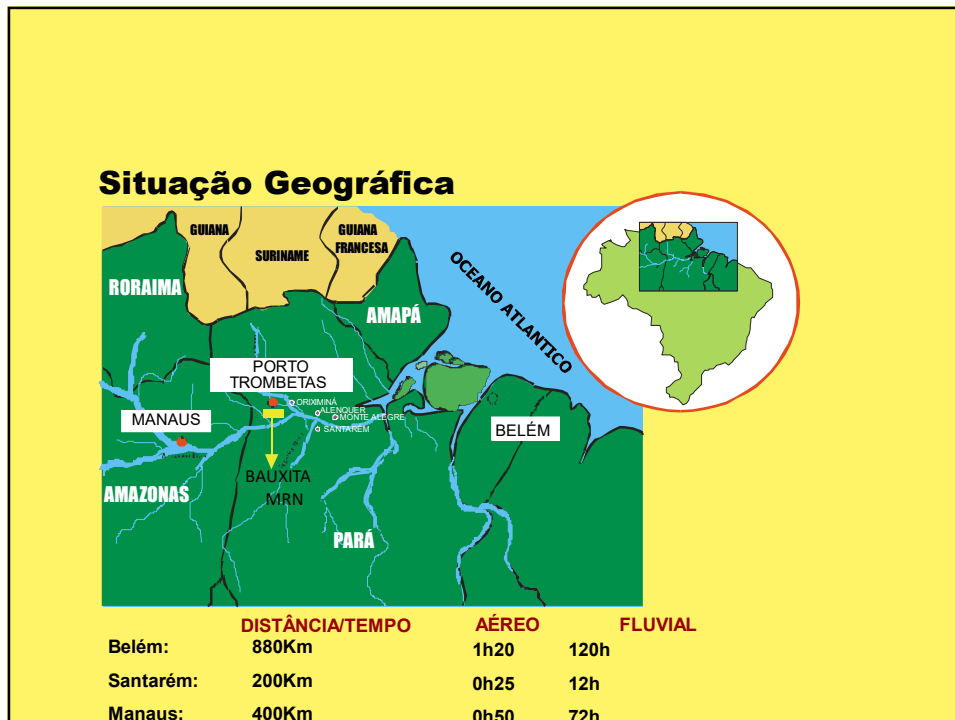
15

EXEMPLO: MRN



<https://www.youtube.com/watch?v=CBps38SE7wM> (11:00 minutos)

16



17

Porto Trombetas – (Cidade certificada ISO 14001)

- 900 casas
- Alojamentos para 1.900 pessoas
- Escola para 1.200 alunos
- Clubes
- Comércio
- Aeroporto para Boeing 737
- Hospital com 30 leitos
- Geração de energia – 72,15 MW
- Tratamento de água e esgoto
- Planta de reciclagem de lixo

População: 6.000 habitantes
Empregados MRN: 1.100
Contratados: 1.400

18

Vista geral da Vila e do Porto



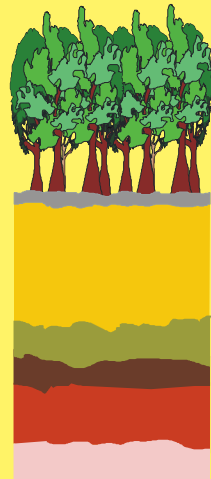
19

Platô já lavrado

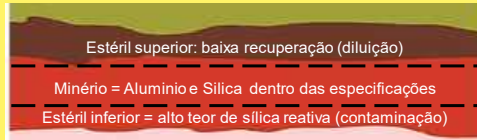


20

Coluna Estratigráfica e Características Gerais



0.5m Solo Orgânico
 10.0m Argila Amarela
 2.5m Bauxita Nodular
 1.0m Laterita Ferruginosa
 4.0m Bauxita Maciça
 Argila e Areia



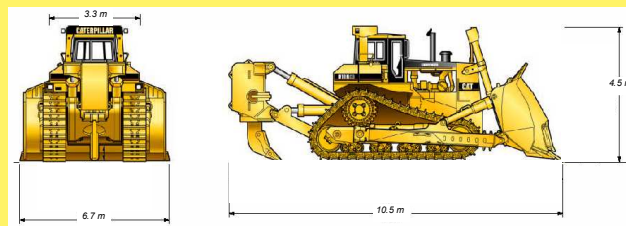
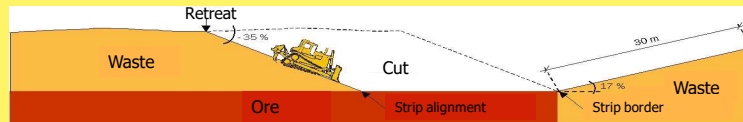
Características Mineralógicas

Al_2O_3 ap > 99% Gibbsita
 Carbono Orgânico – traço
 Zinco – traço
 Mercúrio – traço
 Excelente para refino principalmente nos estágios de precipitação e filtragem

21

Parametros Operacionais

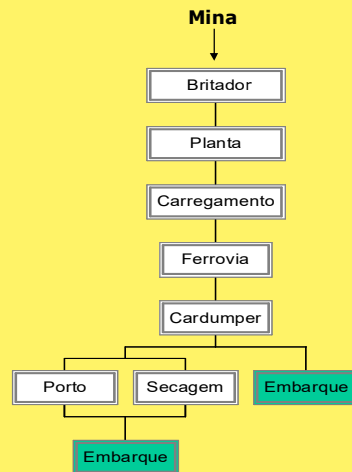
Frota de 16 CAT D11R dedicada ao decapeamento



Gatti & Barros (2003), e Caterpillar (2004).

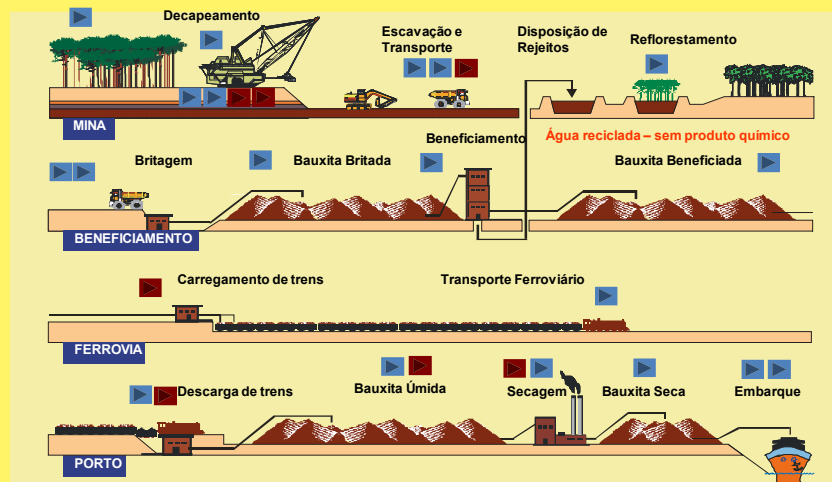
22

Seqüência de Produção (Resumo)



23

Seqüência de Produção



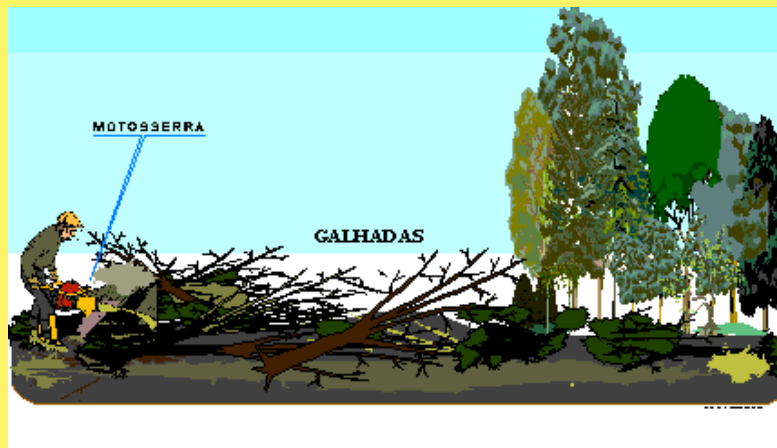
24

Seqüência de Lavra: Desmatamento



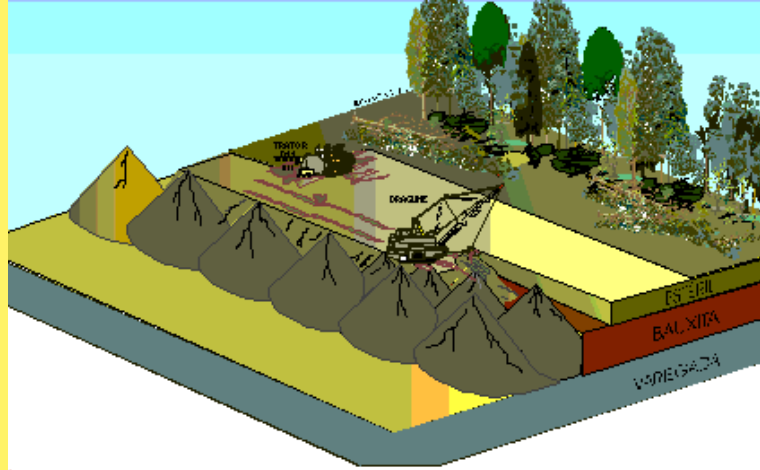
25

Seqüência de Lavra: Remoção de Galhadas



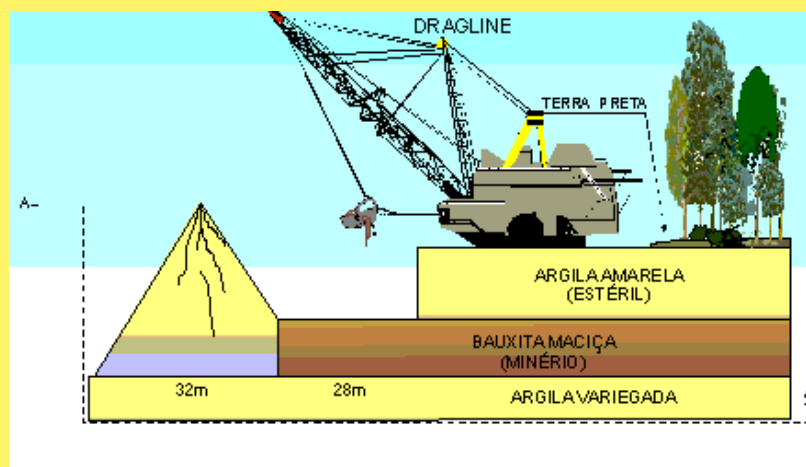
26

Seqüência de Lavra: Decapeamento



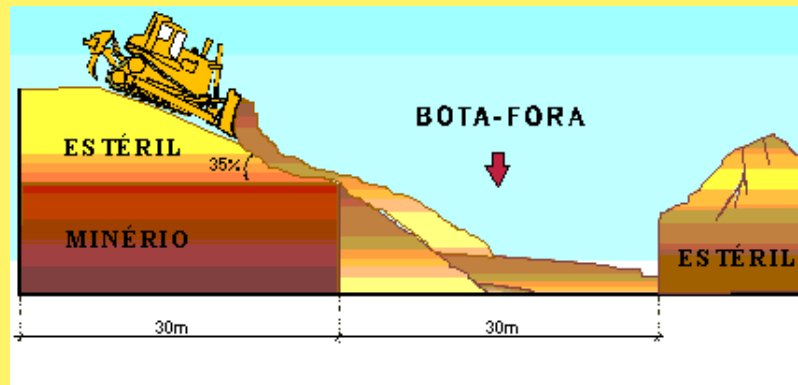
27

Seqüência de Lavra: Decapeamento (Dragline)



28

Seqüência de Lavra: Decapeamento (Trator)



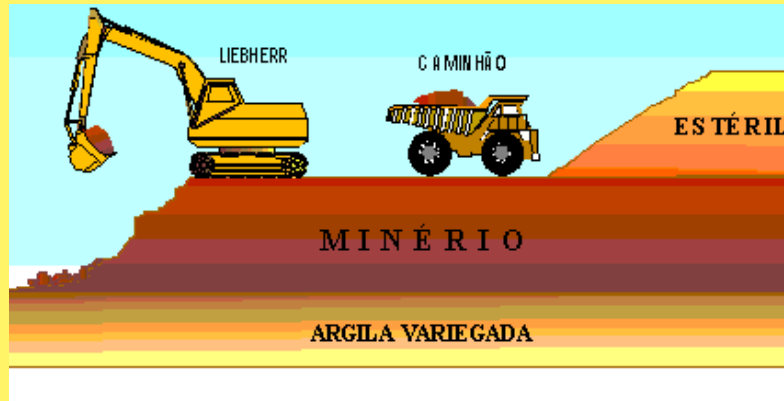
29

Seqüência de Lavra: Escarificação Minério



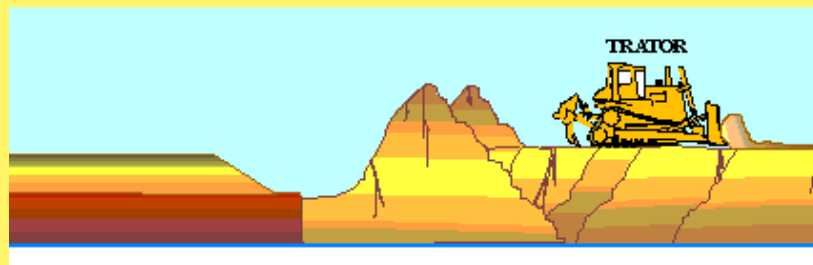
30

Seqüência de Lavra: Carga/Transporte Minério



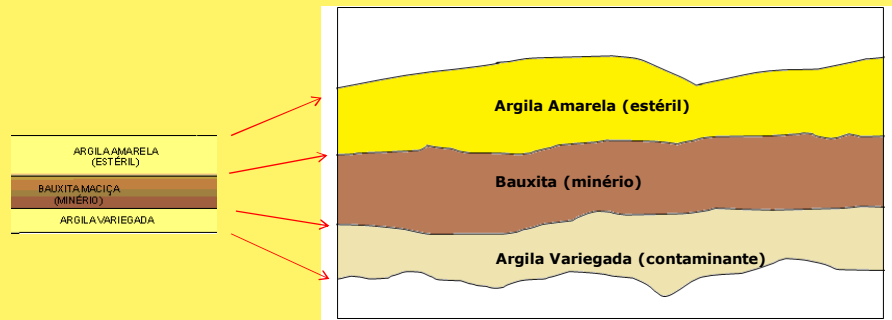
31

Seqüência de Lavra: Recomposição



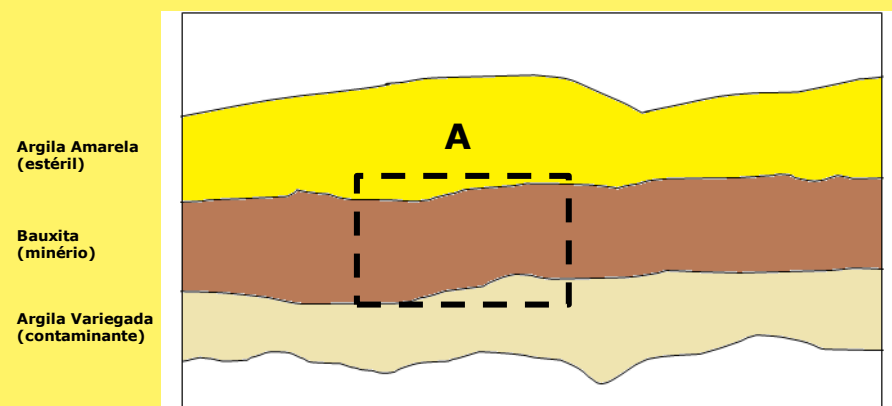
32

Diluição x Recuperação de Lavra



33

Diluição x Recuperação de Lavra



34



35



36



37



38

Exemplo 2: UN-SIX, Petrobras



39



40



41

Referencias (método de lavra em tiras)

- Hartman, H.L.; "Introductory Mining Engineering", J. Wiley & Sons, 1987.
- SME; "Mining Engineering Handbook (Editado por H.L. Hartman)", Society for Mining, Metallurgy and Exploration, CO, 1992.
- Schissler, Andrew P., "Design and Methods of Coal Mining," in The Encyclopedia of Energy, Volume 1, Cutler J. Cleveland Editor-in-Chief, Elsevier Inc., Kidlington, Oxford, pp. 485-494.

42

SUMARIO

- Lavra por métodos hidráulicos
- Desmonte hidráulico



43

MÉTODOS DE LAVRA HIDRÁULICA

- A seleção de um método de lavra hidráulico depende de fatores como:
 - Características espaciais do depósito (dimensões, forma, atitude, e profundidade);
 - Características físico-mecânicas e geotécnicas do depósito e das formações rochosas vizinhas;
 - Condições hidrogeológicas e disponibilidade de água na superfície;
 - Fatores político-econômico-sociais;
 - Fatores ambientais.

44

MÉTODOS DE LAVRA HIDRÁULICA

- A lavra por métodos hidráulicos inclui desmonte, extração, seleção e concentração de minérios e/ou minerais de interesse utilizando água
- Estes métodos são mais eficientes em depósitos submersos ou localizados próximos à fontes abundantes de água.
- Correspondem a ~10% da produção mundial de bens minerais.
- A aplicação da lavra por métodos hidráulicos é restrita a depósitos aluvionares ou similares.
- Mas é bastante atrativa em função dos baixos custos operacionais

45

MÉTODOS DE LAVRA HIDRÁULICA

- Depósitos aluvionares ou similares são depósitos superficiais ou sub-superficiais, normalmente tabulares e com mergulhos suaves;
- Para permitir lavra por métodos hidráulicos, o depósito deve ocupar áreas extensas, com partículas do mineral de interesse (ex. Au, Pt, diamantes, cassiterita, etc.) disseminadas em materiais pouco ou não-consolidados (como areia, cascalho, rochas alteradas, etc.).

46

MÉTODOS DE LAVRA HIDRÁULICA

- Os métodos de lavra hidráulica mais comuns são:
 - DESMONTE HIDRÁULICO
(usando jatos de água de alta pressão para desmonte e transporte do material)
 - DRAGAGEM
(usando balsas flutuantes com bombas de sucção para desmonte e transporte do material)

47

EXEMPLOS



<https://www.youtube.com/watch?v=888vHlarWCE>

48

EXEMPLOS



49

EXEMPLOS



50

EXEMPLOS



51

DESMONTE HIDRÁULICO

- Utiliza grandes quantidades de água sob alta pressão, para desintegrar o material, e preparar seu transporte.
- O transporte pode ser feito por gravidade ou através de bacias de captação com bombas de sucção de polpa
- A água chega da fonte através de bombas de alta pressão ligadas por linhas de tubulações a monitores móveis.

52

DESMONTE HIDRÁULICO (sec. 19/início

sec. 20)



53

DESMONTE HIDRÁULICO (sec. 19/início sec. 20)



54

DESMONTE HIDRÁULICO (sec. 19/início sec. 20)

<https://www.youtube.com/watch?v=aogoNR-LEAY>



55

DESMONTE HIDRÁULICO (sec. 19/início sec. 20)



<https://www.youtube.com/watch?v=gLtjNyFJ4h4>

56

DESMONTE HIDRÁULICO

- Limitações:
 - Disponibilidade de água
 - Espessura do depósito
 - Granulometria máxima
 - Disposição de rejeitos
- Restrições ambientais:
 - Qualidade e recuperação da água
 - Restauração das grandes áreas lavradas
 - Método de lavra **PROIBIDO** em todos os países desenvolvidos (banido na Califórnia desde os anos 70-80)

57

DESMONTE HIDRÁULICO

- Vantagens:
 - Produtividade média a alta
 - Custo operacional baixo
 - Taxas de produção razoáveis
 - Baixo custo de capital
 - Pode ser semi-automatizado
- Desvantagens:
 - Pode ocasionar graves danos ambientais
 - Necessita de água em abundância
 - Corte ineficiente, baixa seletividade

58

EXEMPLO

Lavra de depósito de ouro aluvionar na Região Amazônica



59

EXEMPLO

- **Toda a infra-estrutura foi fornecida por via aérea.**
- **Desmatamento inicial foi feito manualmente.**
- **A operação produziu mais de 2000 kg de ouro em três anos.**
- **Teor médio do depósito foi calculado em 0,456 g/m³.**

<https://www.youtube.com/watch?v=aogoNR-LEAY> 2:30min

60

BIBLIOGRAFIA

- Hartman, H.L.; “Introductory Mining Engineering”, J. Wiley & Sons, Capítulo 7, 1987.
- DNPM/CPRM; “Principais Depósitos Minerais do Brasil”, Volume IVa; MME; Capítulo 6, 1991.
- SME; “Mining Engineering Handbook (Editado por H.L. Hartman)”, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, CO, EUA, Capítulos 12 & 15, 1992.

61

MÉTODOS DE LAVRA HIDRÁULICA

- Os métodos de lavra hidráulica mais comuns são:
 - DESMONTE HIDRÁULICO
(usando jatos de água de alta pressão para desmonte e transporte do material)
 - DRAGAGEM
(usando balsas flutuantes com bombas de sucção para desmonte e transporte do material)

62

DRAGAGEM

- Dragagem é a extração de aluviões submersos (de forma natural ou artificial);
- Alternativa para depósitos com baixos teores, e com espessuras maiores. O depósito pode estar numa drenagem ou rio ativo ou inativo.
- A draga é um equipamento de escavação contínua, com alta escala de produção, normalmente incluindo uma planta de concentração gravimétrica.

63

EXEMPLOS



64

EXEMPLOS



65

EXEMPLOS



66

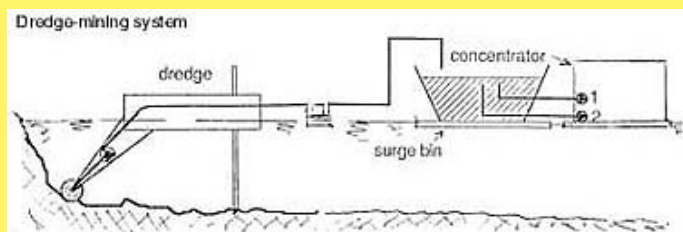
EXEMPLOS



67

DRAGAGEM

- Alcances típicos em lavra por dragagem varia de 4 a 30 metros abaixo do nível da água, alcançando até 50+ metros em alguns casos.
- A altura da frente de lavra acima do nível de água é normalmente até 15 metros.



68

DRAGAGEM

- Limitações:
 - Disponibilidade de água
 - Manutenção das bacias
 - Disponibilidade de água limpa para a planta
- Restrições ambientais:
 - Qualidade e recuperação da água utilizada
 - Deposição de rejeitos
 - Recuperação das áreas lavradas

69

DRAGAGEM

- Vantagens
 - Método de lavra com maior produtividade
 - Método com menor custo operacional
 - Taxas de produção altas
 - Pouca utilização de mão de obra
 - Boa recuperação de lavra e operação contínua
- Desvantagens:
 - Pode causar danos ambientais severos
 - Necessita de água em razoável abundância (13 a 100 l/s)
 - Requer altos investimentos de capital
 - Método pouco flexível e não seletivo

70

Exemplo de Dragagem



<https://www.youtube.com/watch?v=dPRoMvDalcs>
<https://www.youtube.com/watch?v=BwUC8EgRi9o> 0:55 min
<https://www.youtube.com/watch?v=BC6ciO0qYPg>
<https://www.youtube.com/watch?v=rz4hgkTmoS0> 2:10min
<https://www.youtube.com/watch?v=-kJrsIE6Ed8>

71



Draga + Planta Flutuante

72

CSN

1 1 Draga 2 Plantas Flutuantes 3 4 Plantas Fixas



Planta de Beneficiamento



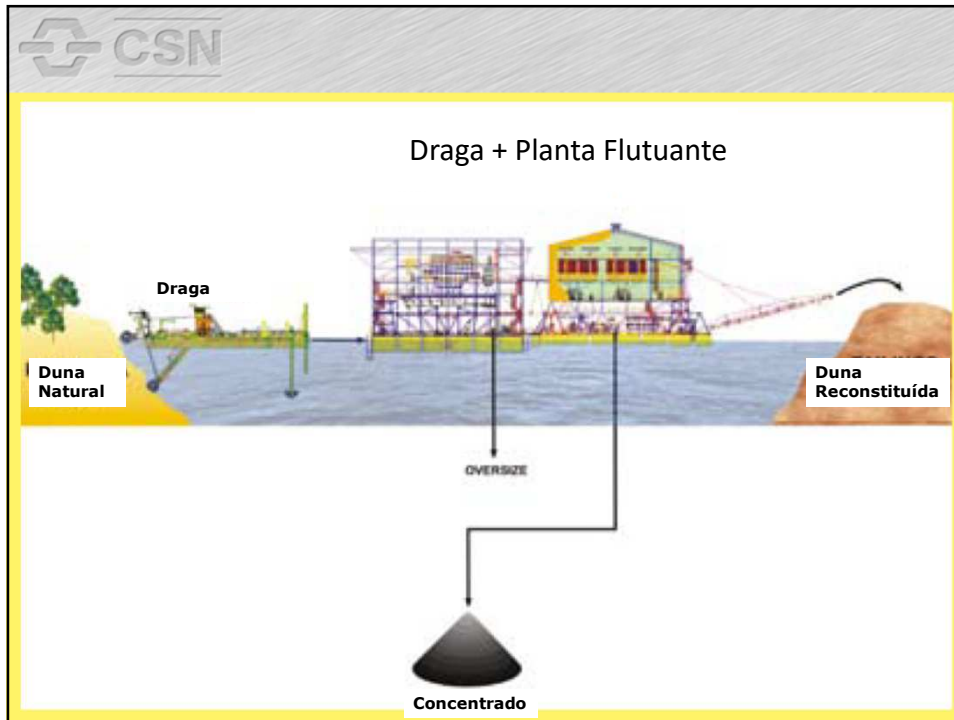
Tromel Espirais

4 Funcionários por turno

1 Funcionário por turno

- Equipe: 260 pessoas sendo 100 terceirizadas
- Equipamentos: 5 caminhões e 5 escavadeiras (terceiros)
- Capacidade Draga: 12 milhões tpa ROM
- Ritmo atual de produção da Draga: 9 milhões tpa ROM
- Preço estimado: US\$ 6 milhões
- Consumo médio de energia:
 - Draga: 500MWh
 - Planta Flutuante: 1050 MWh
- Rejeitos da Planta Flutuante: 450 MWh

73



74

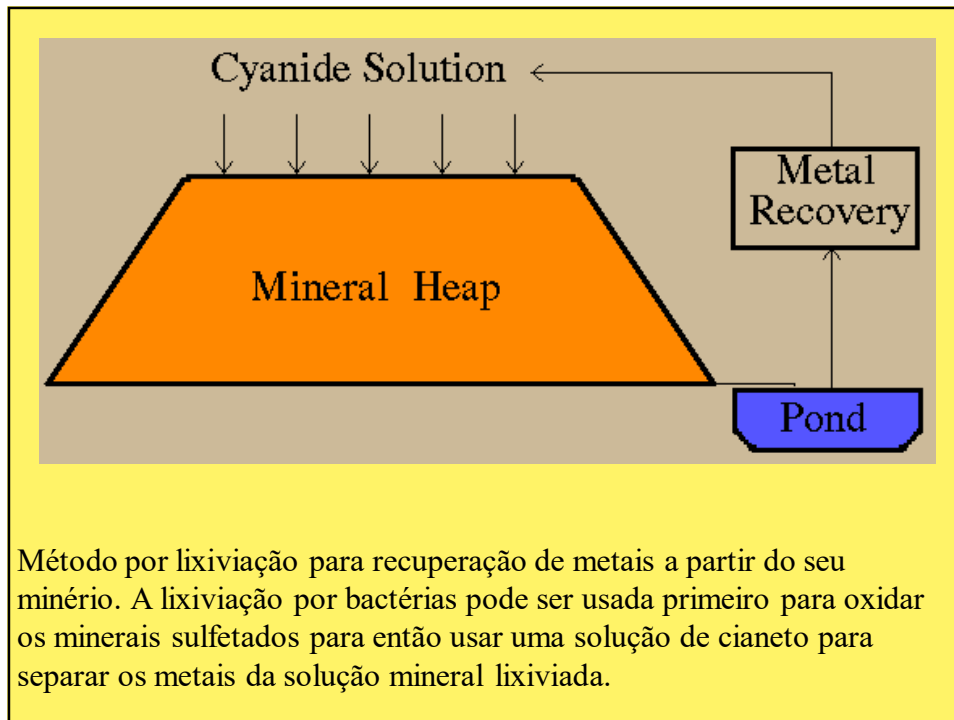
BIBLIOGRAFIA

- Hartman, H.L.; “Introductory Mining Engineering”, J. Wiley & Sons, Capítulo 7, 1987.
- DNPM/CPRM; “Principais Depósitos Minerais do Brasil”, Volume IVa; MME; Capítulo 6, 1991.
- SME; “Mining Engineering Handbook (Editado por H.L. Hartman)”, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, CO, EUA, Capítulos 12 & 15, 1992.

75

MÉTODOS DE LAVRA POR SOLUÇÃO

76



77



78

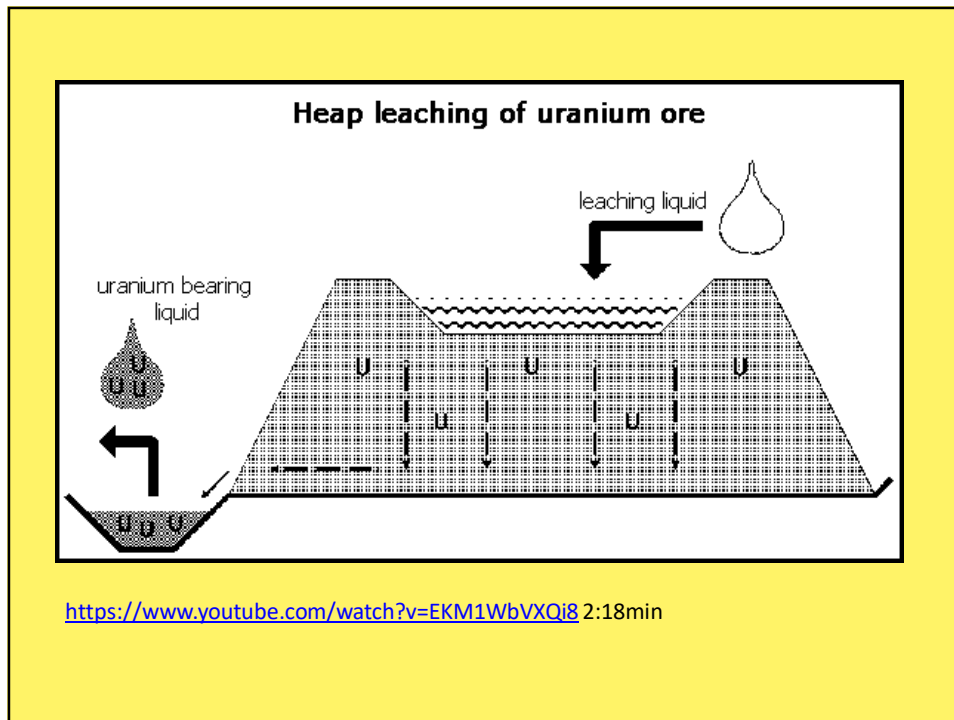


79



https://www.youtube.com/watch?v=HG-ybn35RLs&list=PLP7DSVKZyU_1eQa0ffvsqZucWgh6ITgzJ

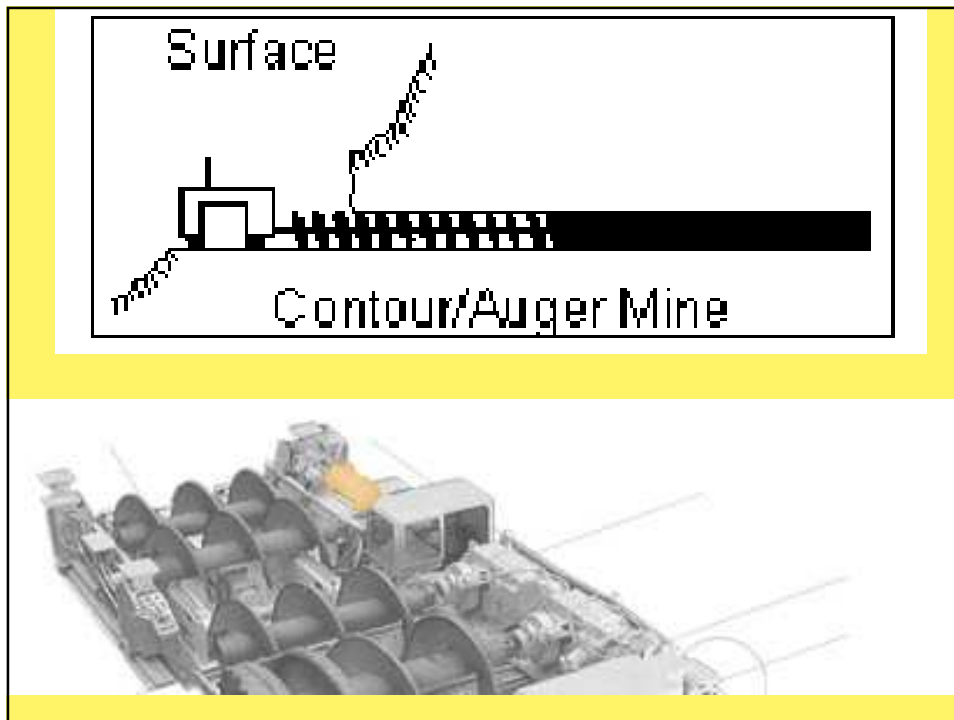
80



81

Outros Métodos

82



83



lavra com trado = auger
mining

84




<https://www.youtube.com/watch?v=niLtVhDHIs0>

<https://www.youtube.com/watch?v=rjcG4Pjg8VE>


auger mining / contour mining <https://www.youtube.com/watch?v=4DBmpDOhDeg>
<https://www.youtube.com/watch?v=niLtVhDHIs0>

85



bateamento =
panning

ouro, diamante



86