



**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

***PMI-3325***

***LAVRA DE MINAS:  
MINERAÇÃO A CEU ABERTO***

***AULA 5 - 2019***

***Lavra em Bancadas e Tiras***

***Prof. Giorgio de Tomi e Prof. Dennis Travagini***



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto**

# **SUMÁRIO**

- Lavra em Bancada
- Lavra em Tiras



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto**

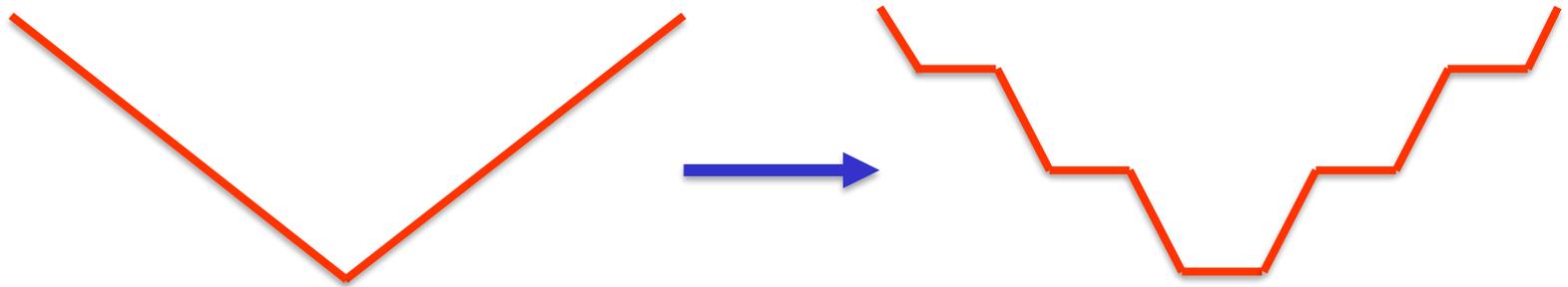
# **LAVRA EM BANCADAS**

# Agenda

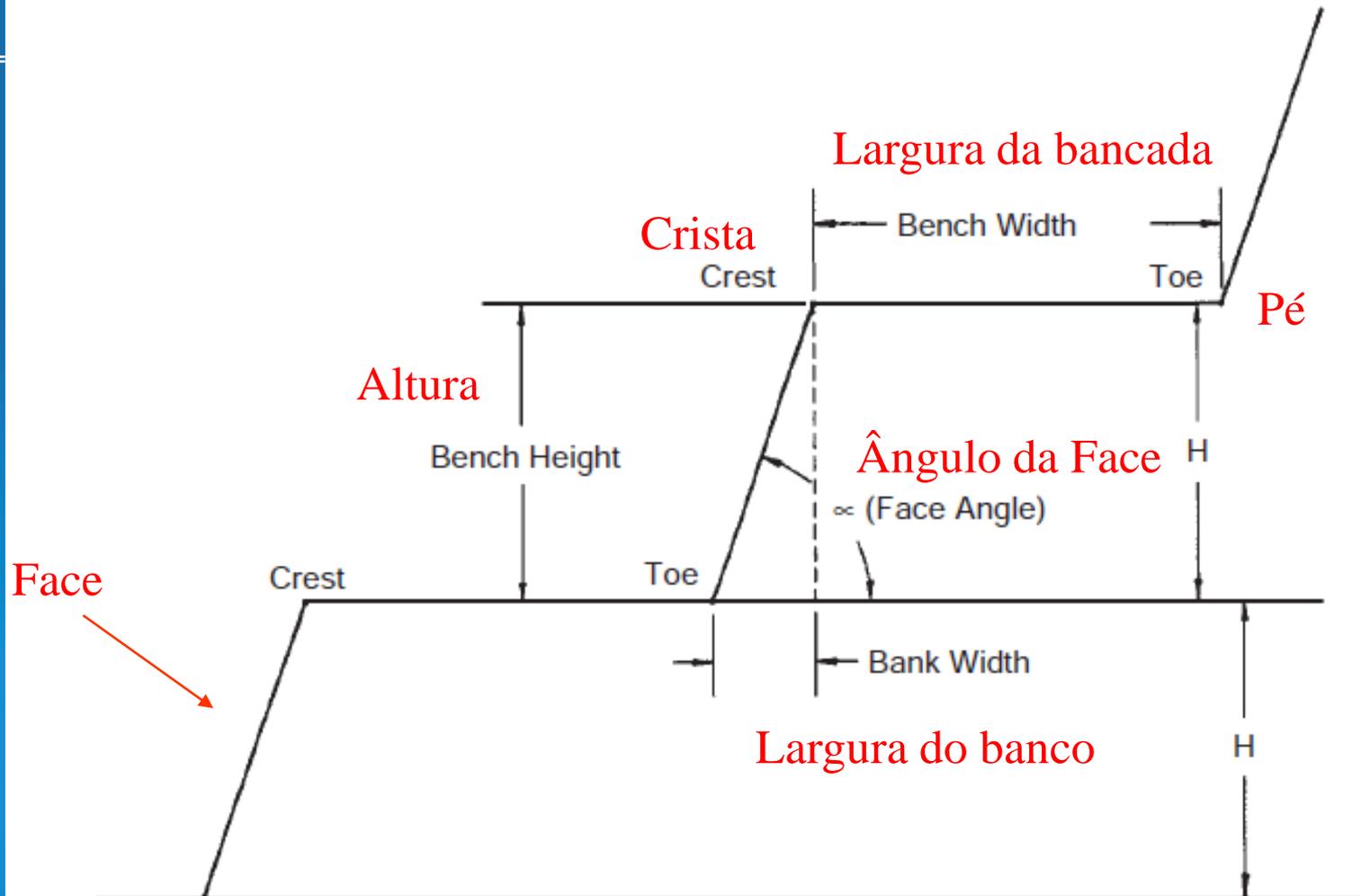
- Introdução/Contextualização
- Geometria Básica
- Equipamentos
- Processo de expansão
- Ruas/Vias/Rampas
- Inclinação
- Representação em planta
- Conclusões

# Introdução/Contextualização

- Geometrias básicas
- Considerações de planejamento



# Geometria básica da bancada (Bench)

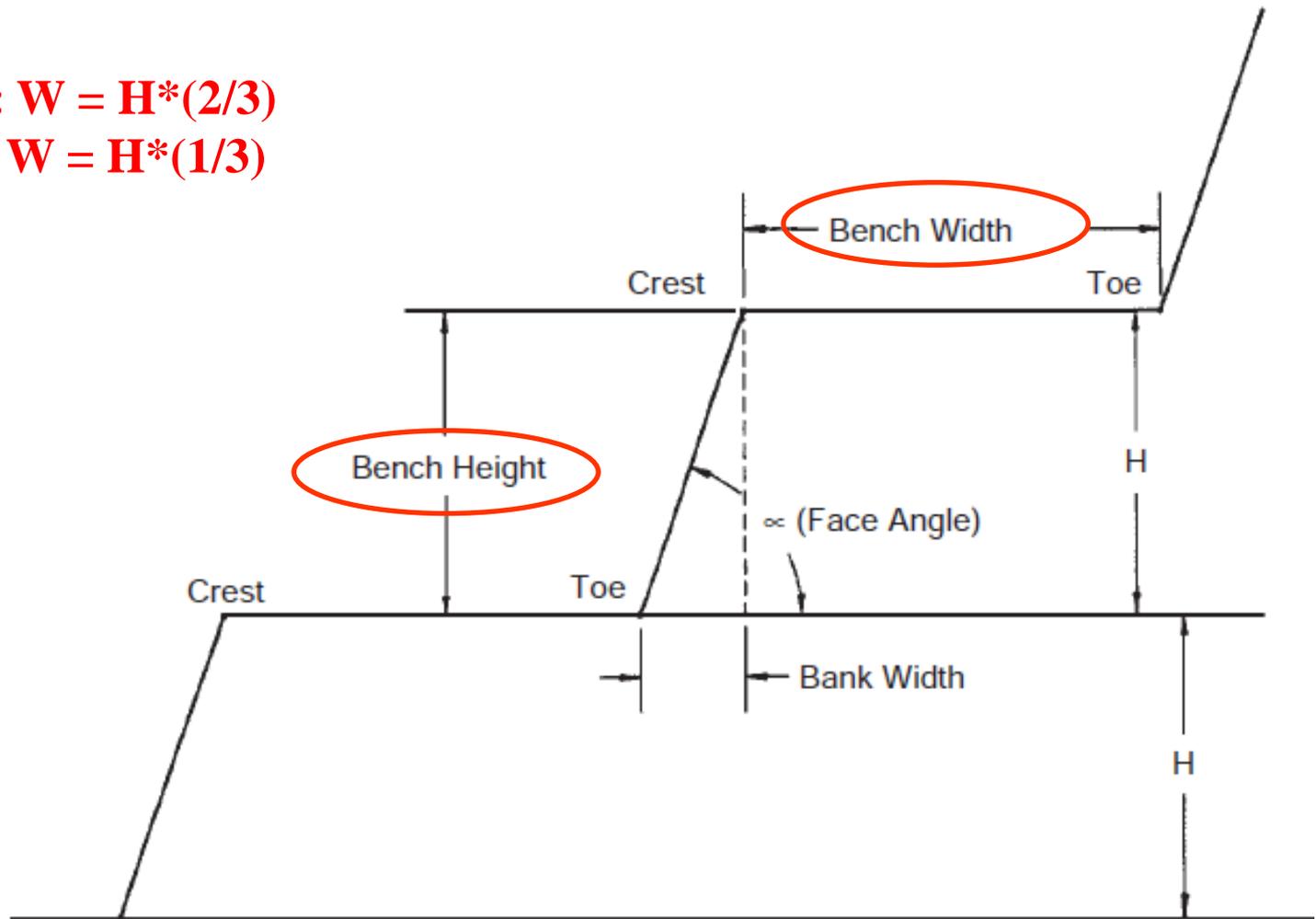




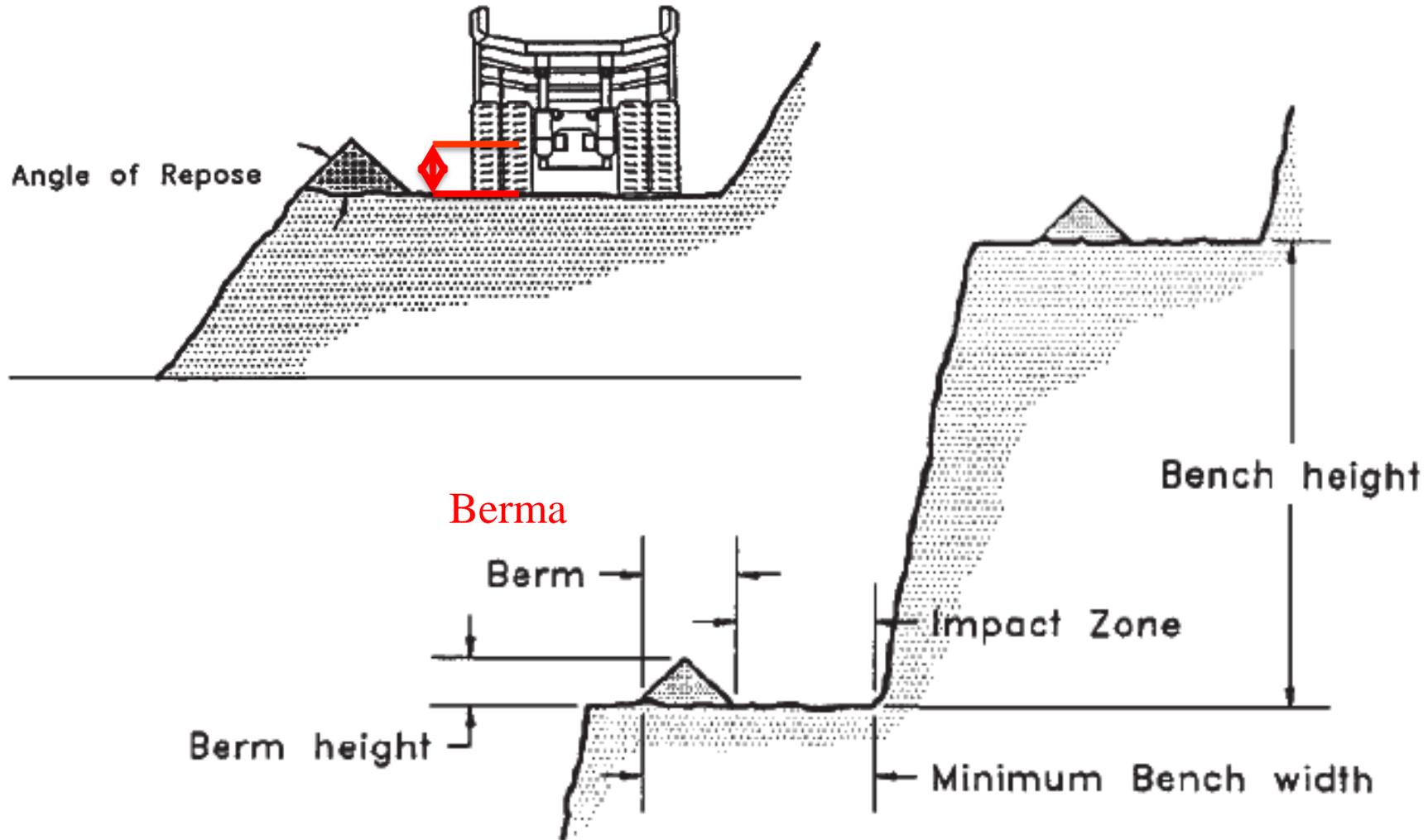
# Geometria básica da bancada (Bench)

**Início:  $W = H \cdot (2/3)$**

**Final:  $W = H \cdot (1/3)$**



# Geometria básica da bancada (Bench)



# Geometria básica da bancada (Bench)

- Qual altura da bancada?

# Equipamentos



# Equipamentos

- Escavadeiras (Shovel/Excavators)

**HYDRAULIC MINING SHOVELS** >

**ESCAVADEIRAS HIDRÁULICAS DE MINERAÇÃO** >



**EXCAVATORS** >

**ESCAVADEIRAS** >



**WHEEL EXCAVATORS** >

**ESCAVADEIRAS DE RODAS** >



**ELECTRIC ROPE SHOVELS** >

**ESCAVADEIRAS A CABO** >



# Equipamentos



# Equipamentos

- Carregadeira (Loader)

BACKHOE LOADERS >

RETROESCAVADEIRAS >



TRACK LOADERS >

CARREGADEIRAS DE ESTEIRAS >



WHEEL LOADERS >

PÁS-CARREGADEIRAS DE RODAS >

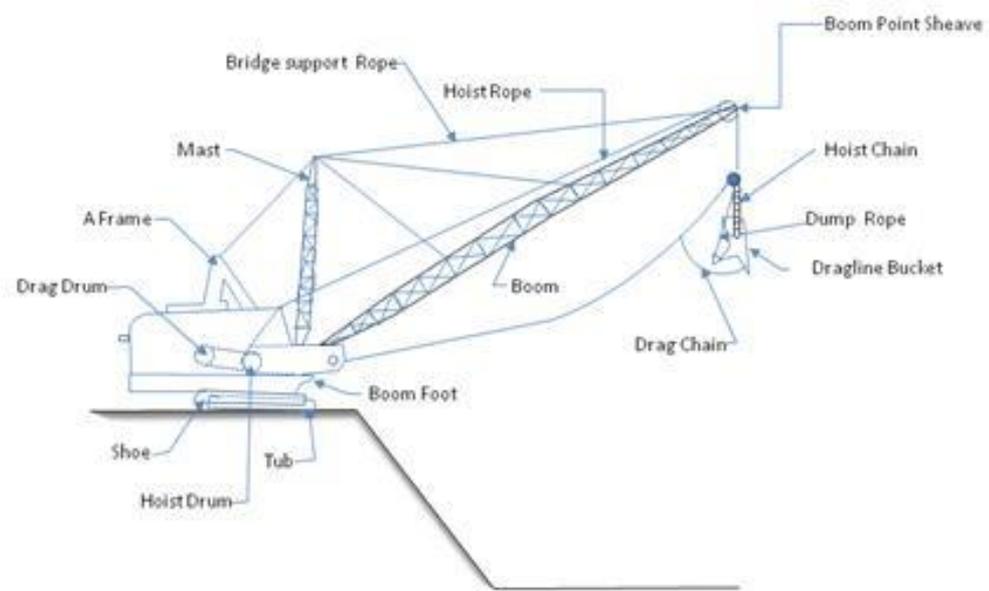


SKID STEER LOADERS >

MINICARREGADEIRAS >

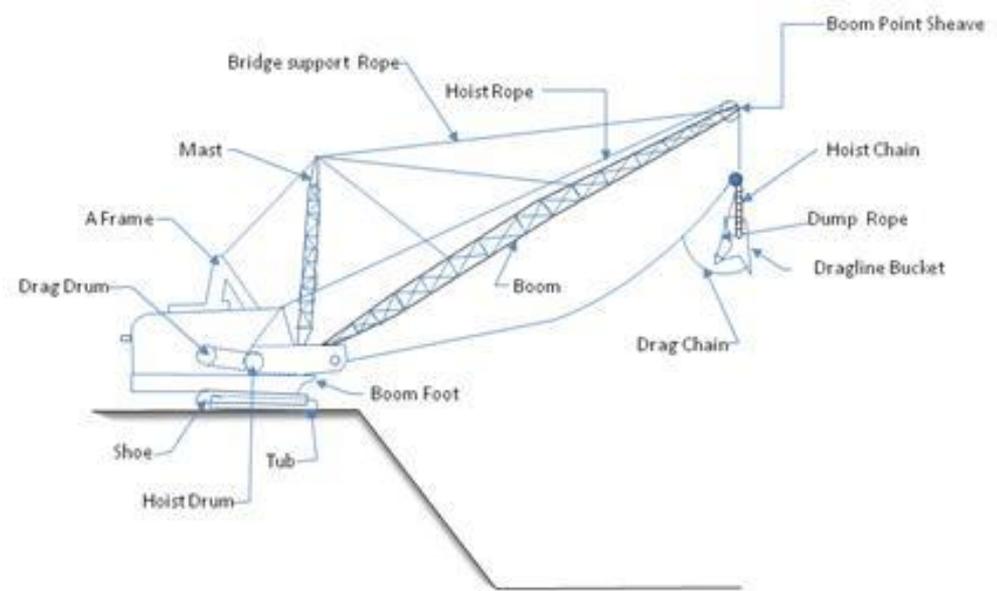


# Equipamentos



# Equipamentos

- Draglines



- DRAGLINES >
- DRAGLINES >



# Equipamentos



# Equipamentos

- Bulldozers (Dozers)

DOZERS >

BULDÓZERES >



# Equipamentos



# Equipamentos

- Caminhões (Trucks)

ARTICULATED TRUCKS >



OFF-HIGHWAY TRUCKS >



CAMINHÕES ARTICULADOS >



CAMINHÕES FORA-DE-ESTRADA >



**HIGHWAY TRUCKS**

**CAMINHÕES COMUNS**



# Equipamentos



# Equipamentos

- Perfuratrizes (Drills)



DRILLS



PERFURATRIZES



# Equipamentos



# Equipamentos



- Escrêiperes (Scrapers)

**WHEEL TRACTOR-SCRAPERS** >

**ESCRÊIPERES-TRATORES DE RODAS** >



# Equipamentos



# Equipamentos

- Motoniveladoras (Graders)

MOTOR GRADERS >

MOTONIVELADORAS >



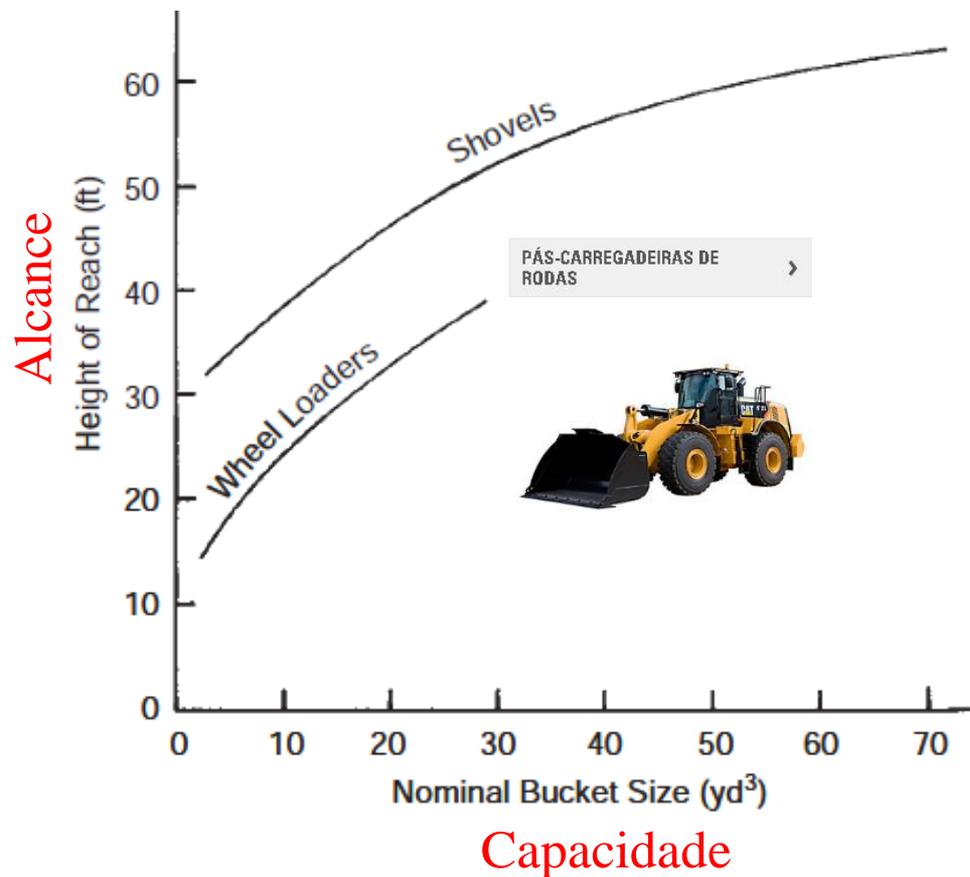
# Equipamentos

- Salários

– Caminhão:	R\$ 2000
– Carregadeira:	R\$ 2380
– Perfuratriz:	R\$ 2380
– Escavadeira:	R\$ 2700
– Motoniveladora:	R\$ 3230
– Engenheiro de minas:	R\$ 9550

# Geometria básica da bancada (Bench)

- Qual altura da bancada?



ESCAVADEIRAS HIDRÁULICAS DE MINERAÇÃO >

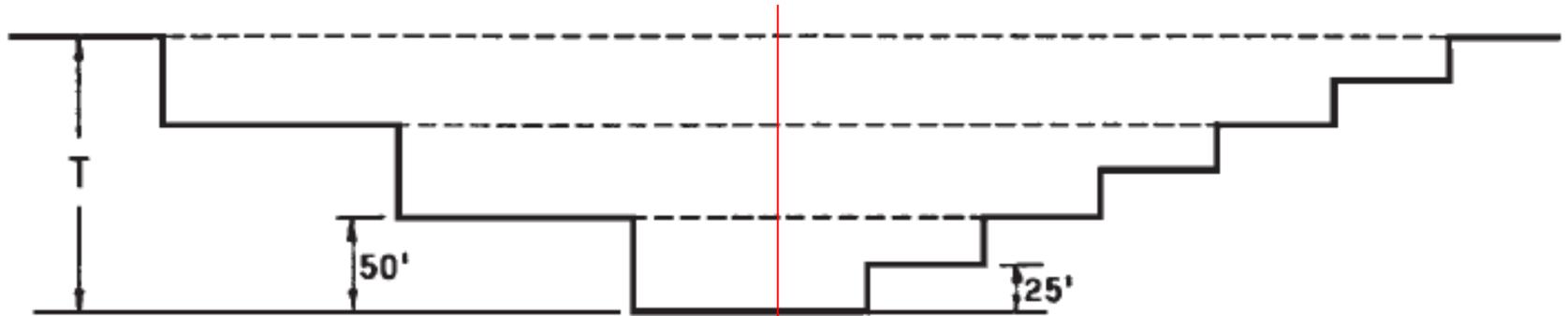


PÁS-CARREGADEIRAS DE RODAS >



# Geometria básica da bancada (Bench)

- Qual altura da bancada?



Menor número de equipamentos  
Melhor controle e supervisão  
Maiores desmontes  
Mais eficiente

Maior seletividade  
Menor diluição  
Maior flexibilidade

# Geometria básica da bancada (Bench)

- Etapas para definir a geometria da bancada:
  - Características do depósito
  - Estratégia de produção
  - Condições de produção
  - Equipamento-Geometria
  - Possíveis geometria
  - Custos, REM, ângulos
  - Escolha do melhor

# Rampa de Acesso

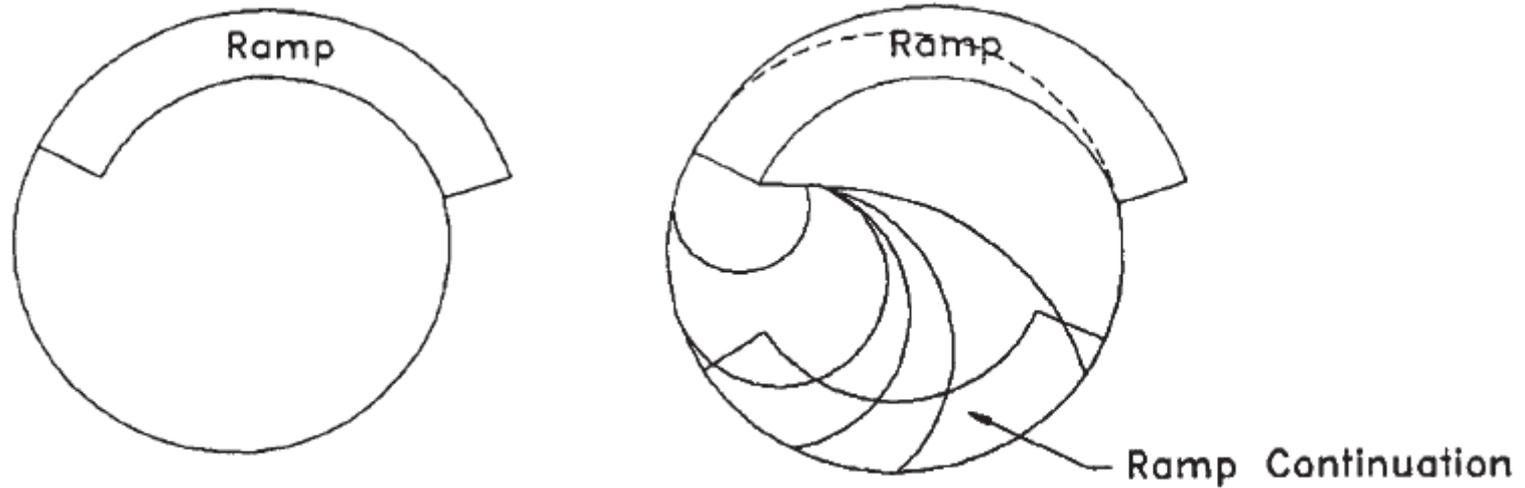
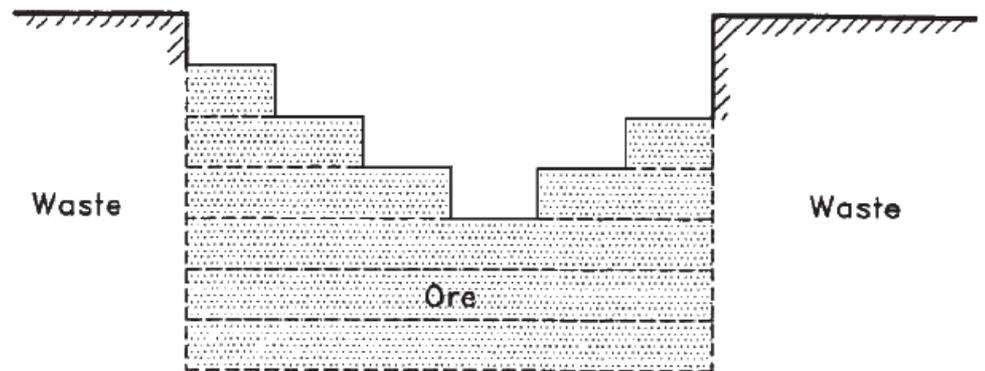
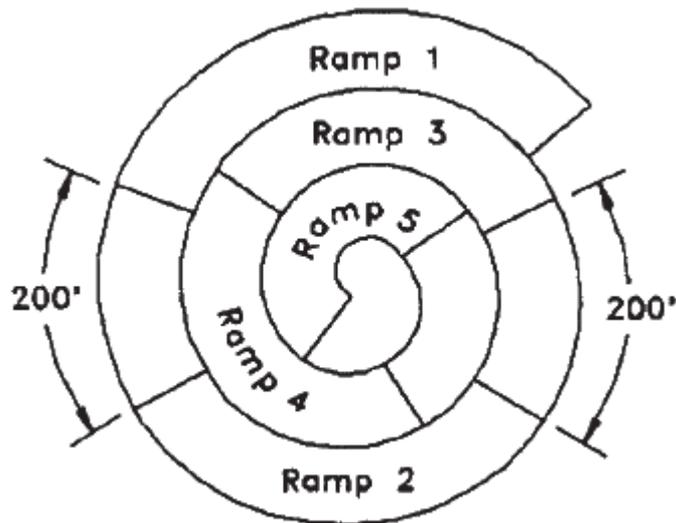
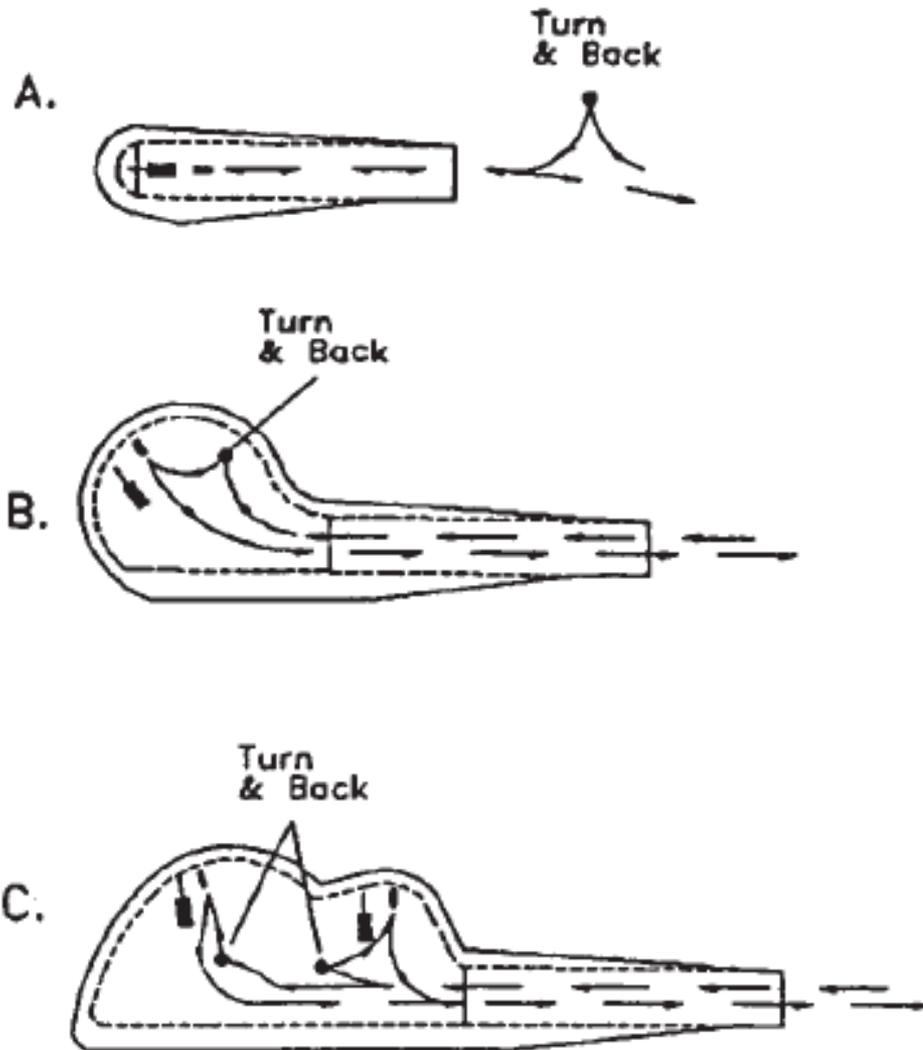


Figure 4.21. Ramp starting in waste and ending in ore.



# Processo de expansão

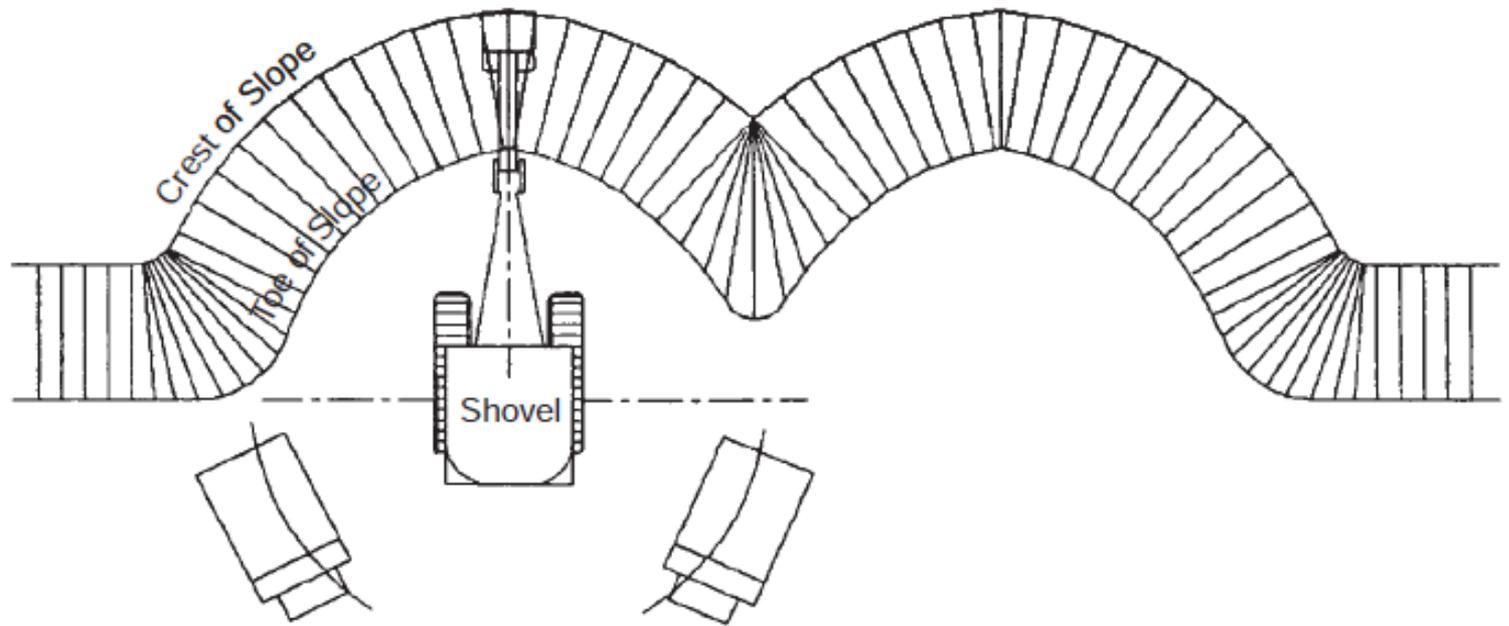


# Processo de expansão

- Abordagens:
  - Cortes frontais
  - Cortes Paralelos – “drive by”
  - Cortes Paralelos – “turn and back”

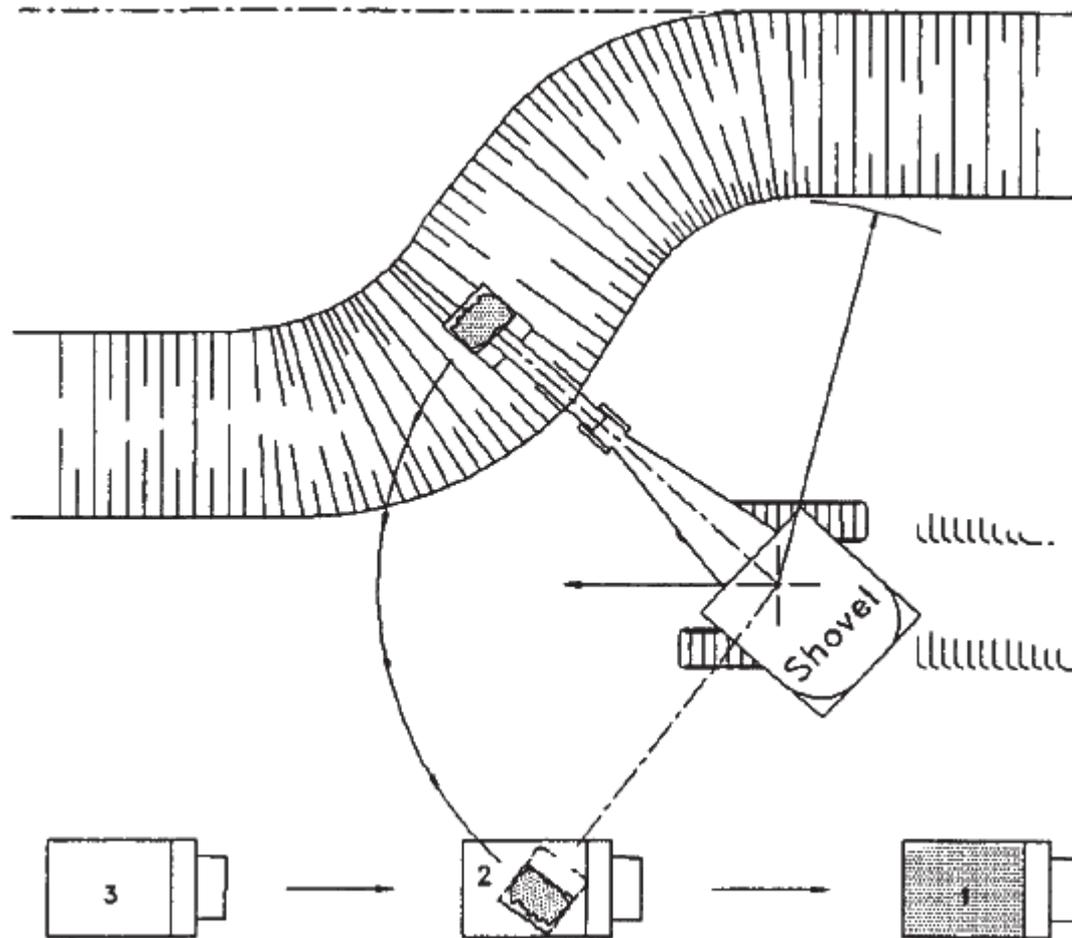
# Processo de expansão

## Cortes frontais



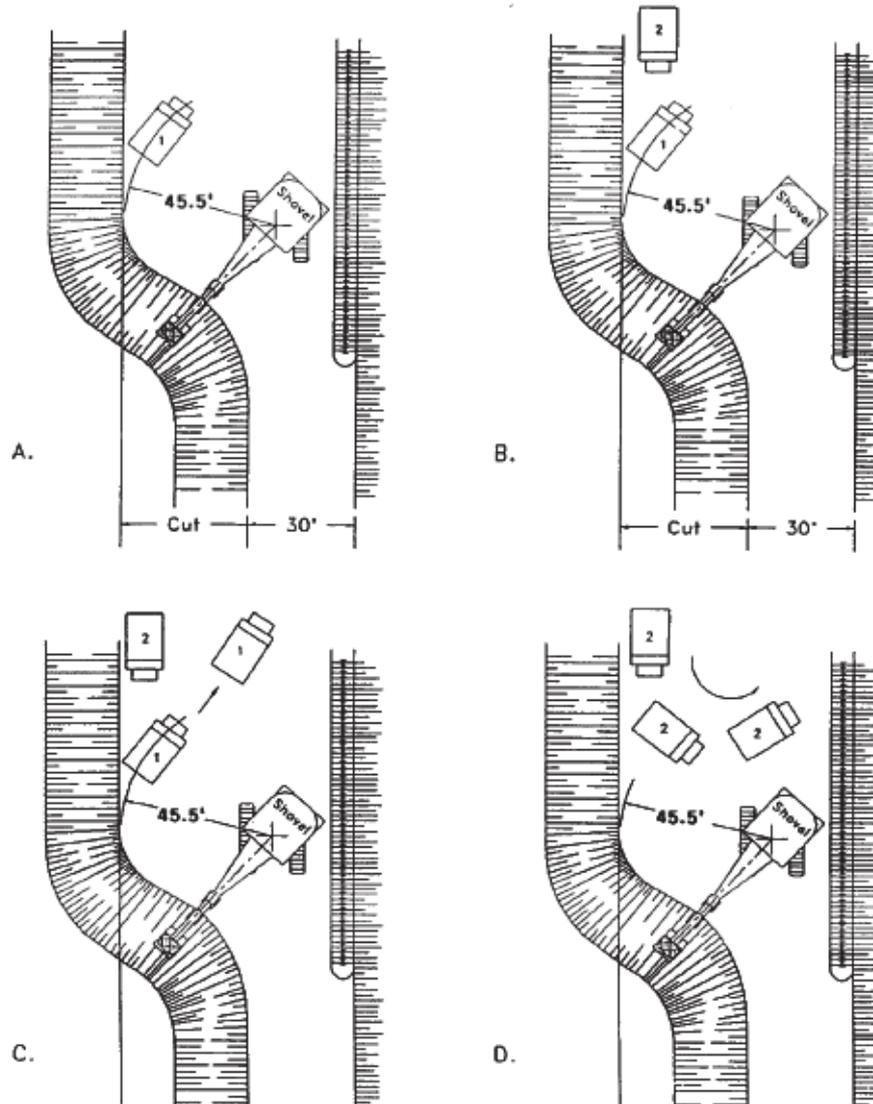
# Processo de expansão

## Cortes Paralelos – “drive by”

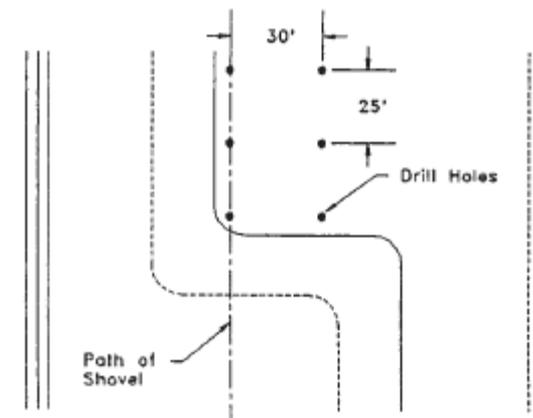
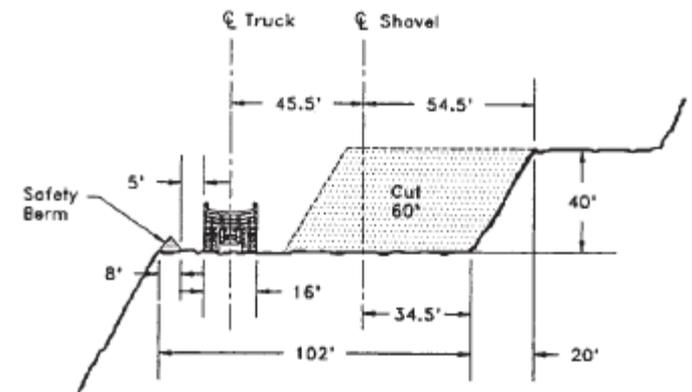
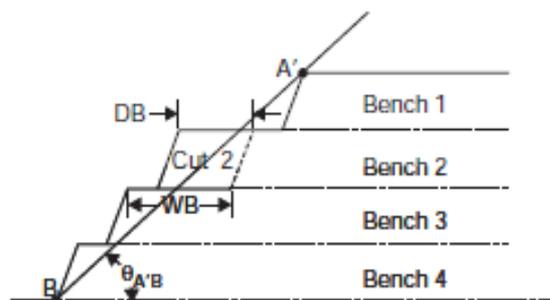
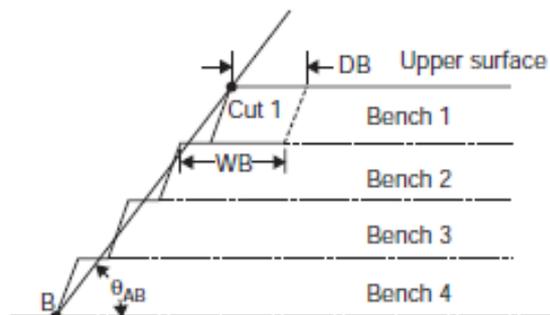
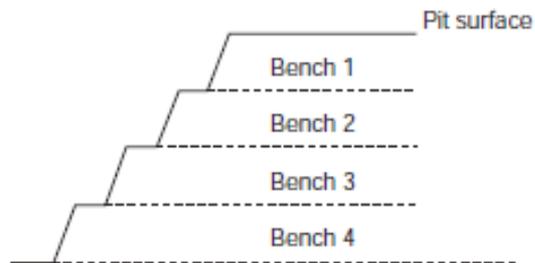


# Processo de expansão

## Cortes Paralelos – “turn and back”



# Processo de expansão Sequenciamento

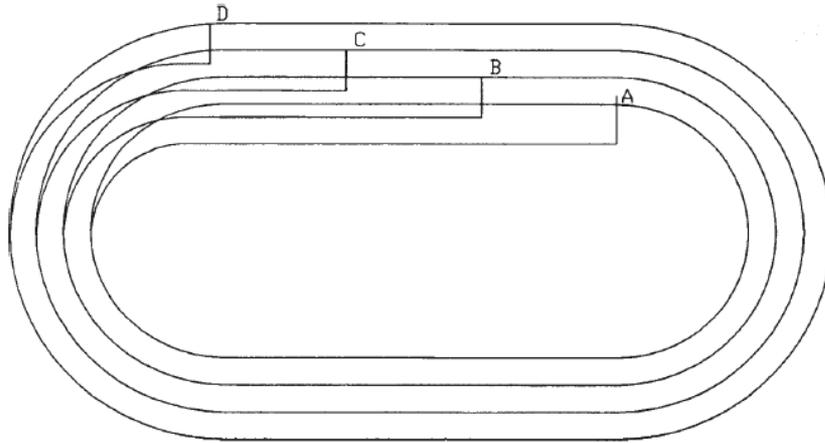


# Ruas/Vias/Rampas

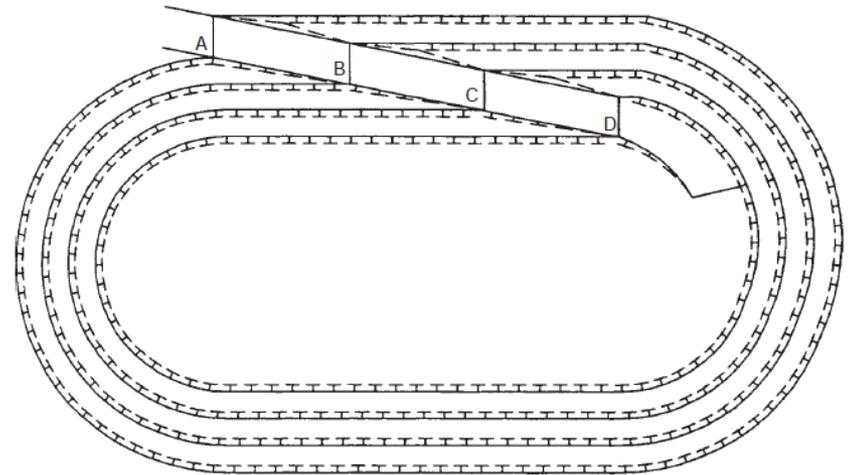
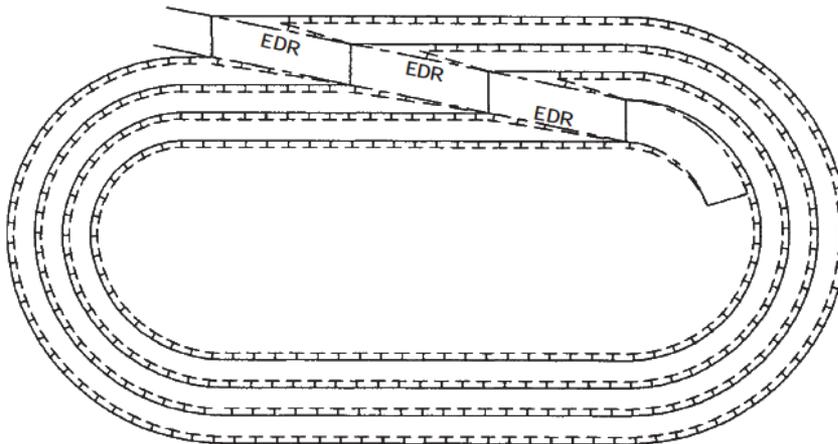
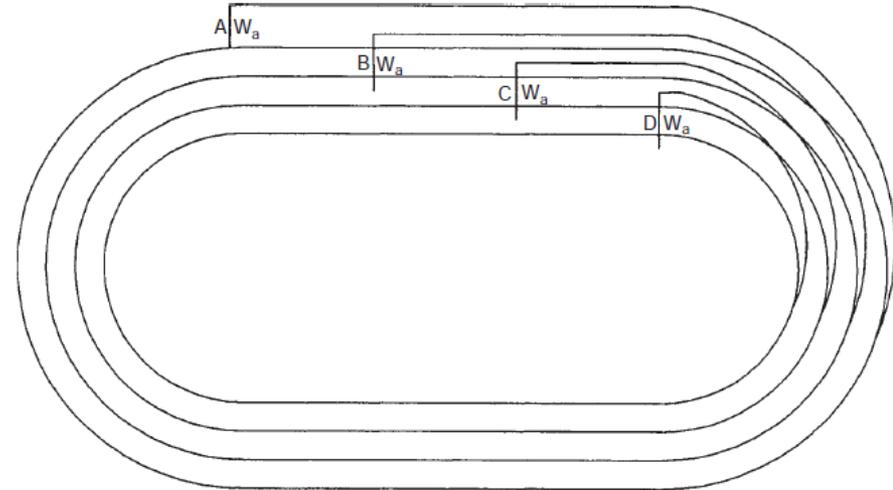
1. Onde deverá ser a saída?
2. Quantas vias?
3. Externa ou interna?
4. Deve ser em espiral?
5. Qual largura?
6. Qual o gradiente?
7. Qual a direção?

# Ruas/Vias/Rampas

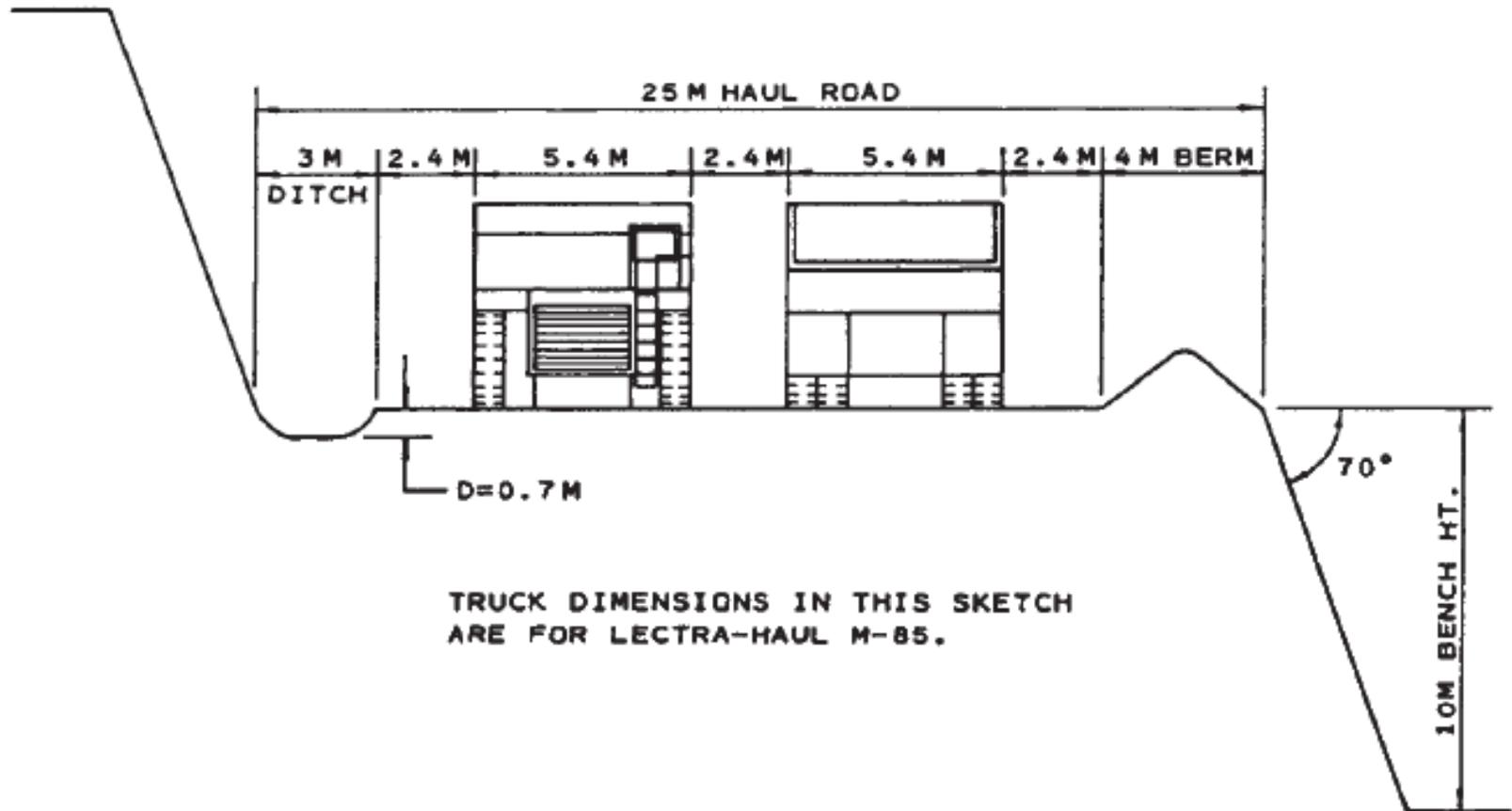
Interna



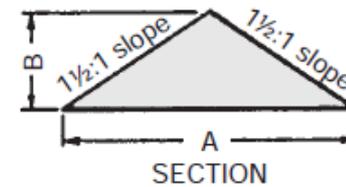
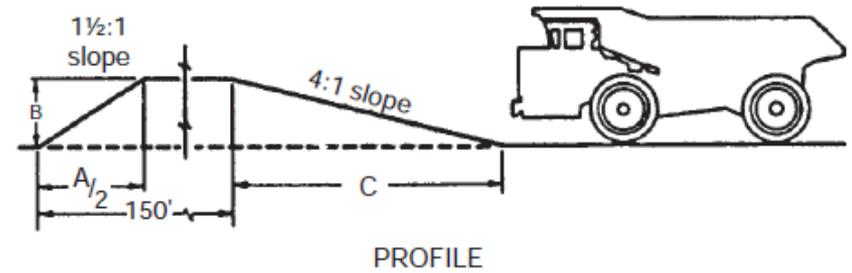
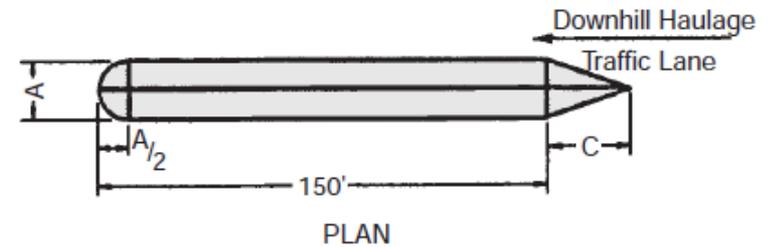
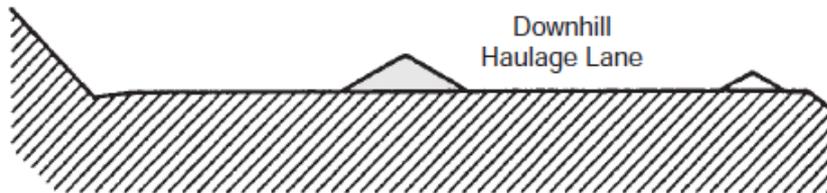
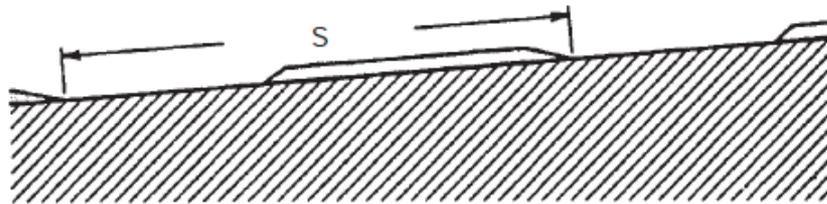
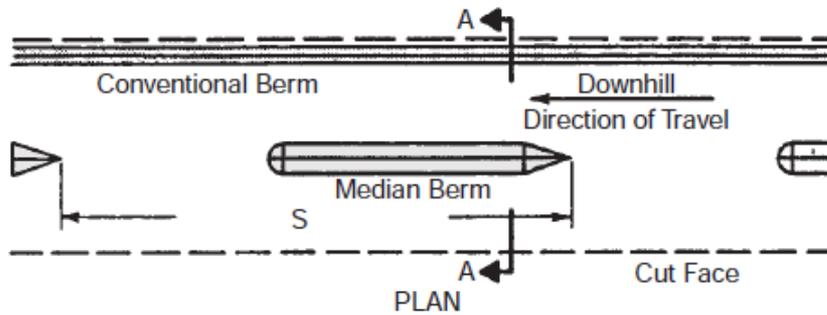
Externa



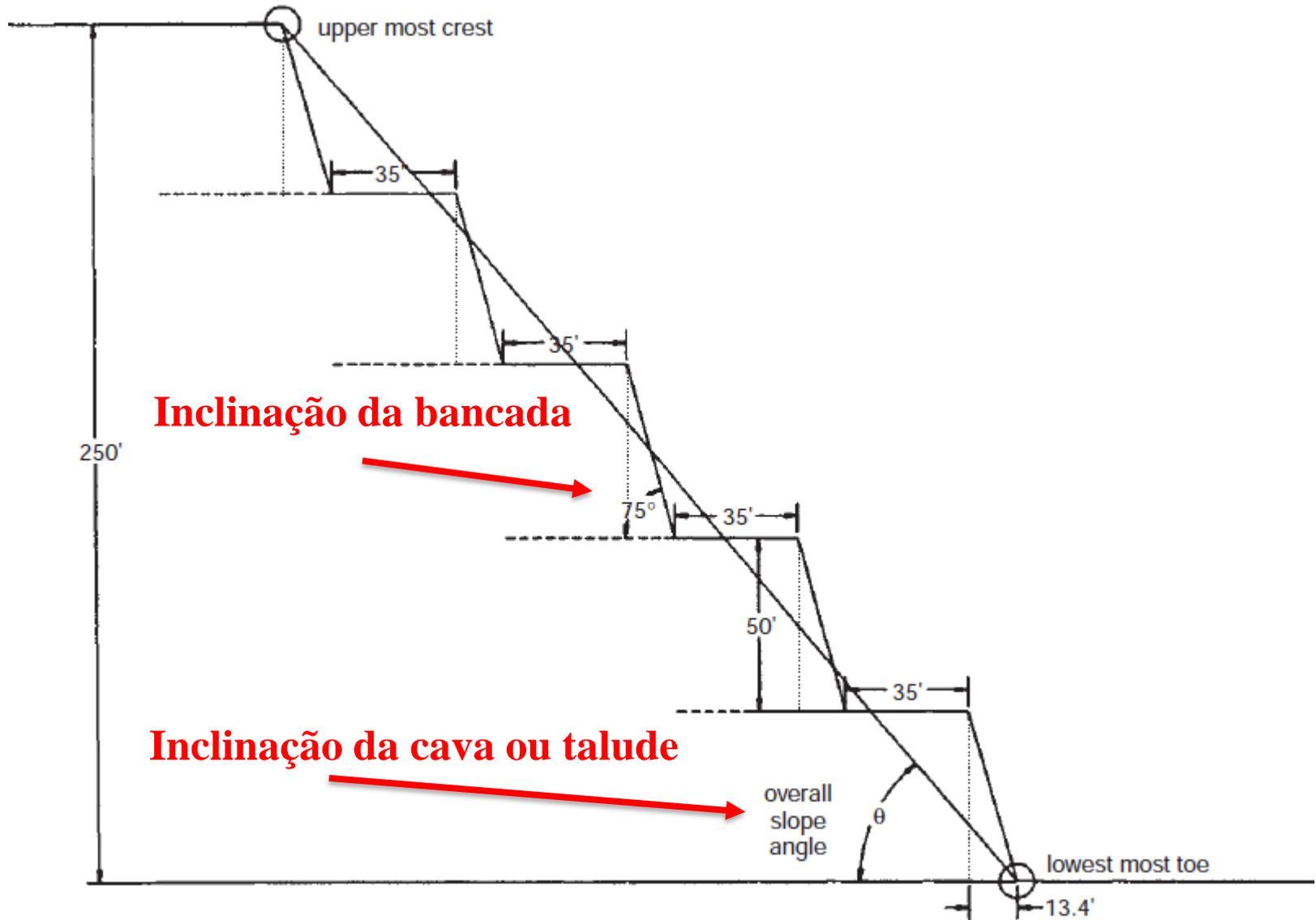
# Ruas/Vias/Rampas



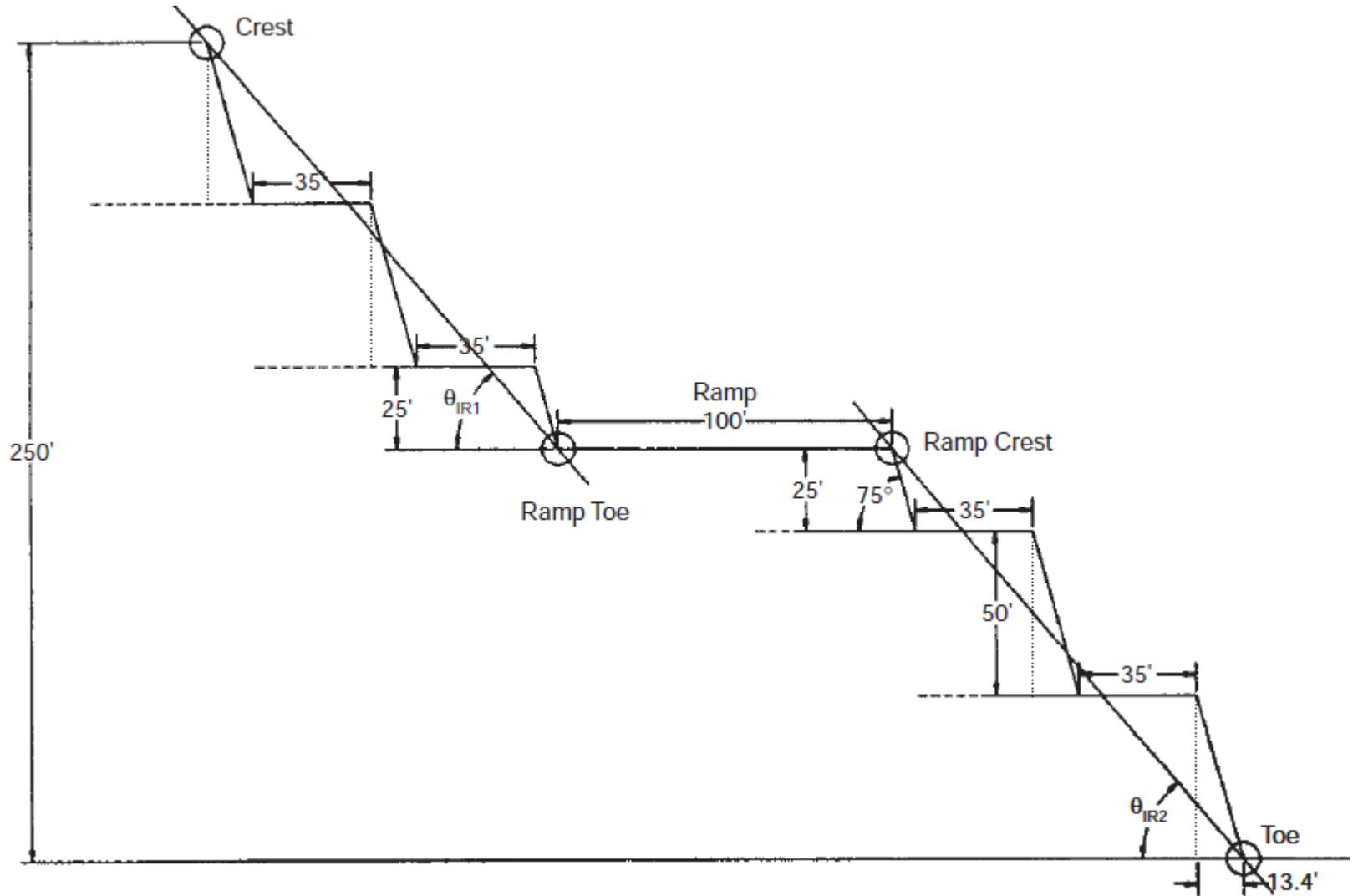
# Ruas/Vias/Rampas



# Inclinação da cava

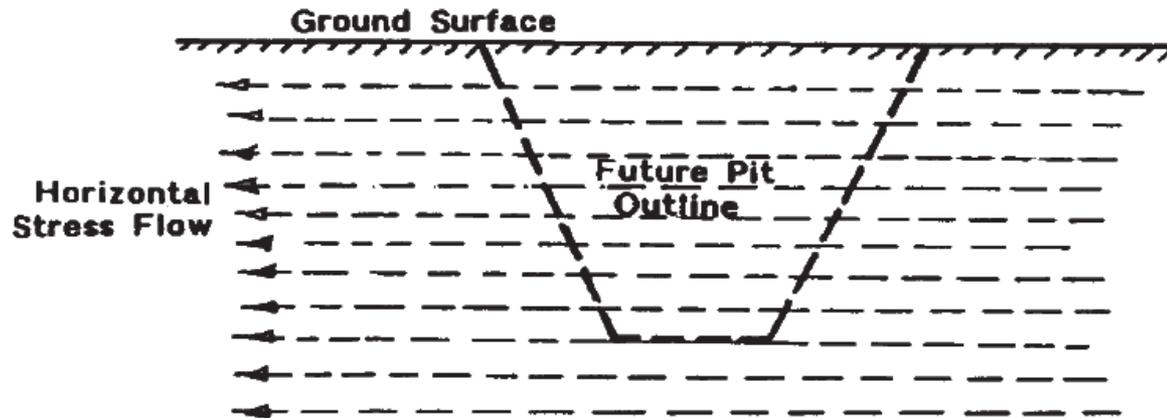


# Inclinação da cava

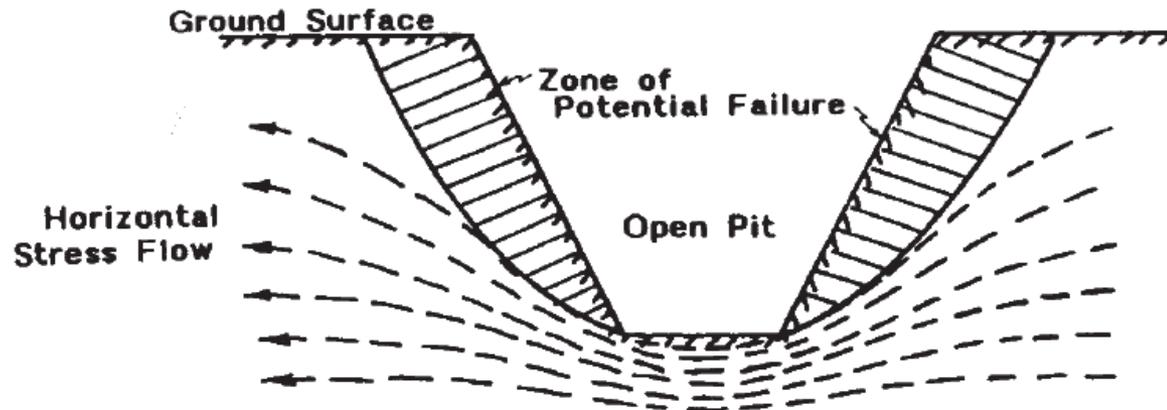


# Inclinação da cava final

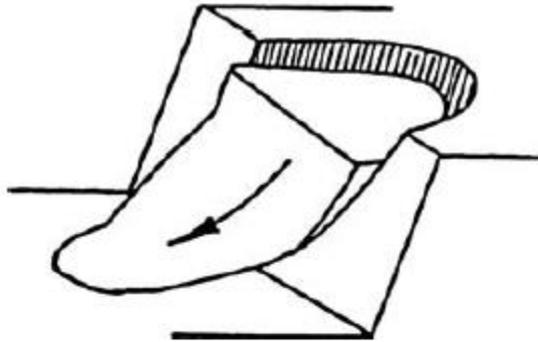
## Before Mining



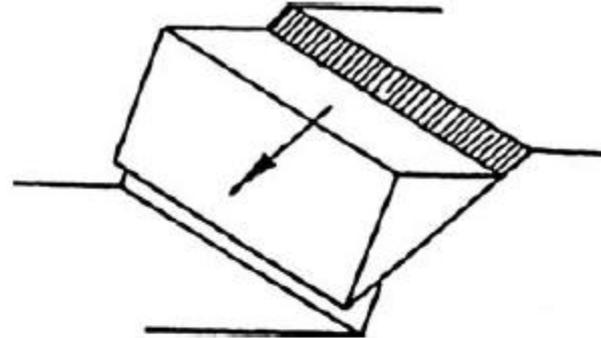
## After Mining



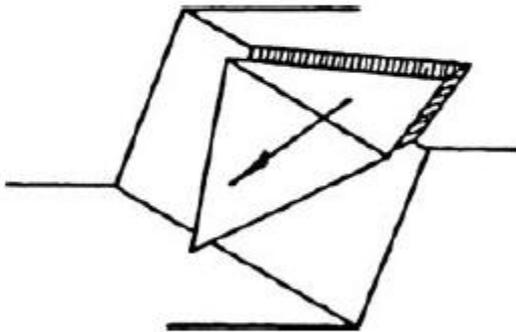
# Inclinação da cava final



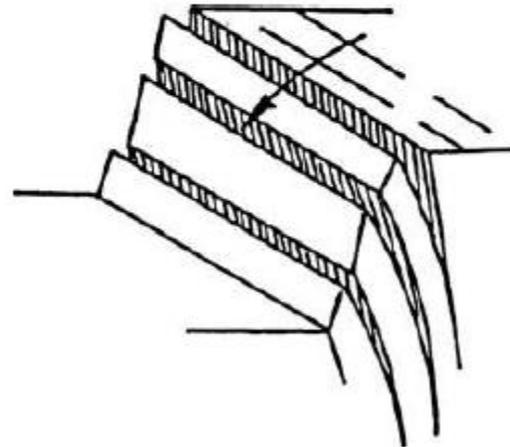
a. Circular failure in overburden soil, waste rock or highly fractured rock with no identifiable structural pattern.



b. Plane failure in rock with highly ordered structure such as slate.

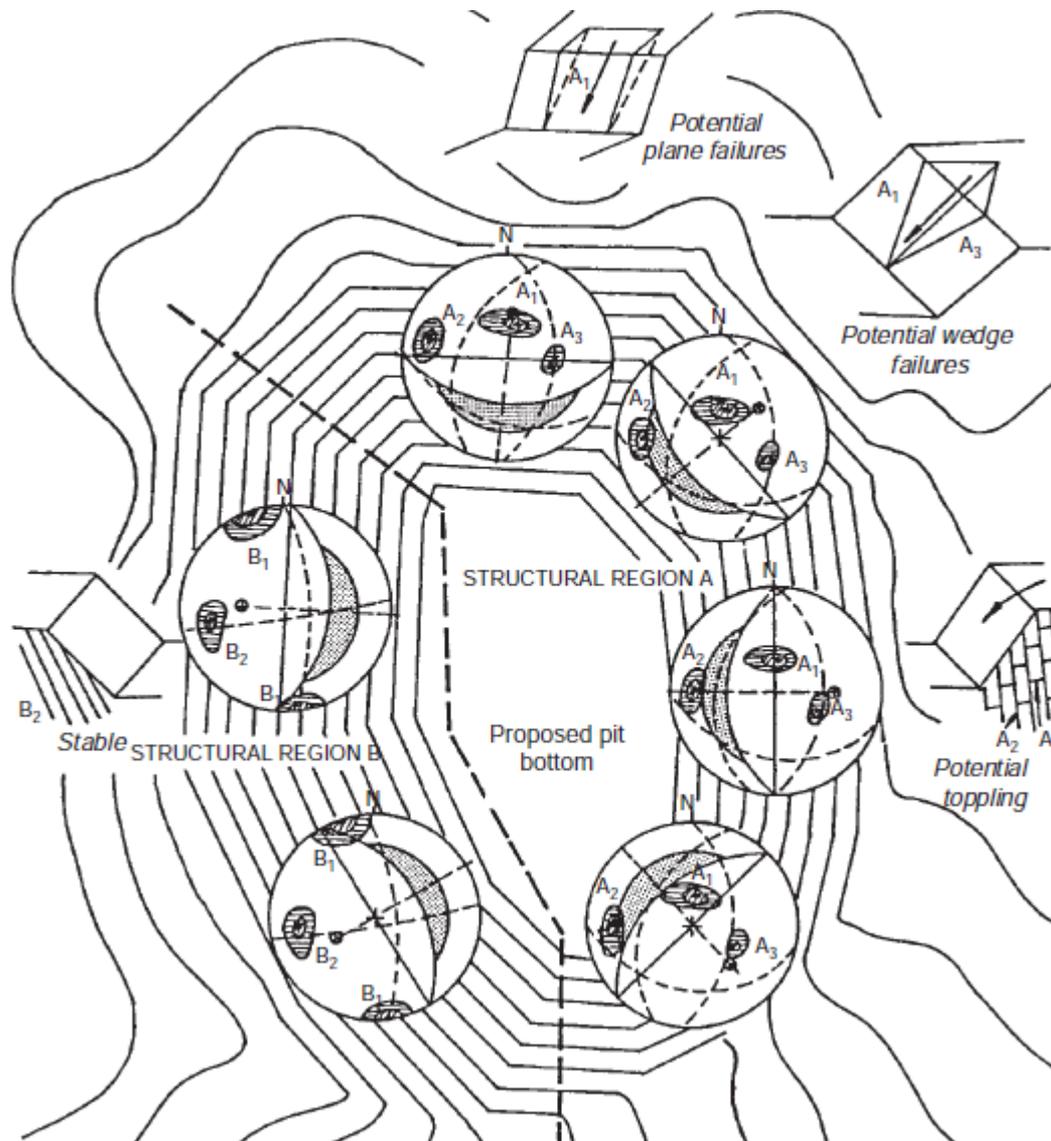


c. Wedge failure on two intersecting discontinuities.

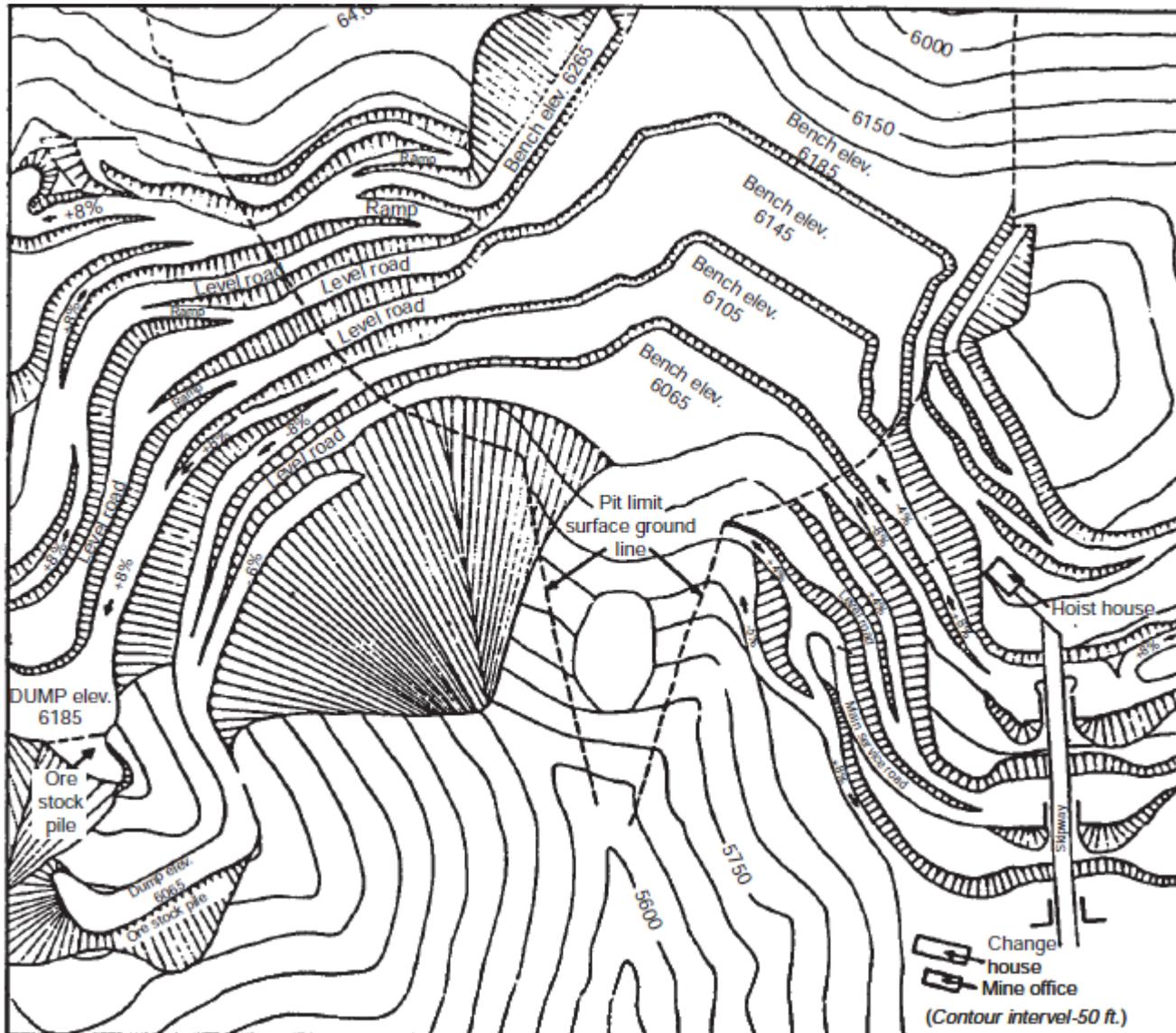


d. Toppling failure in hard rock which can form columnar structure separated by steeply dipping discontinuities.

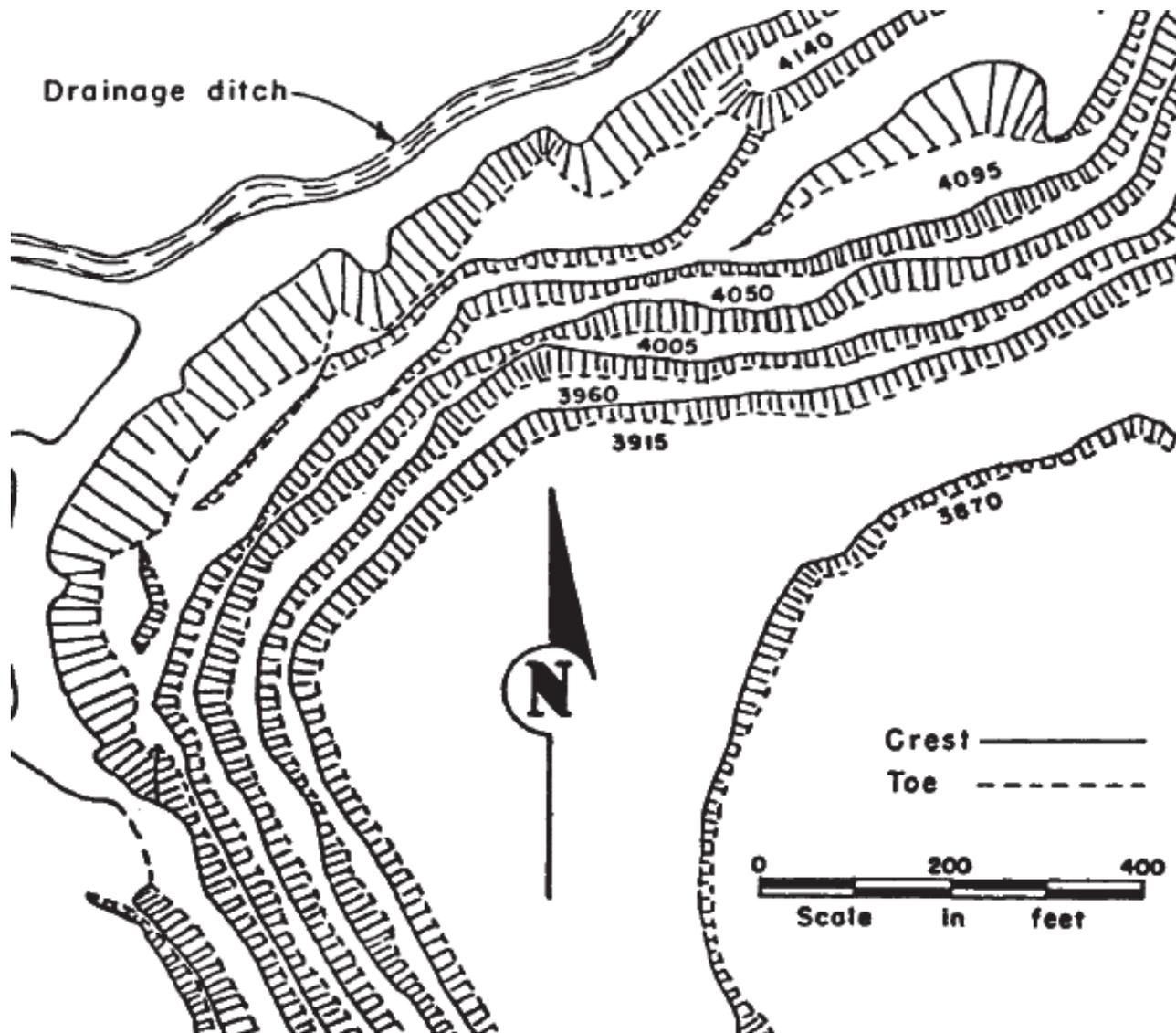
# Inclinação da cava final



# Representação em planta

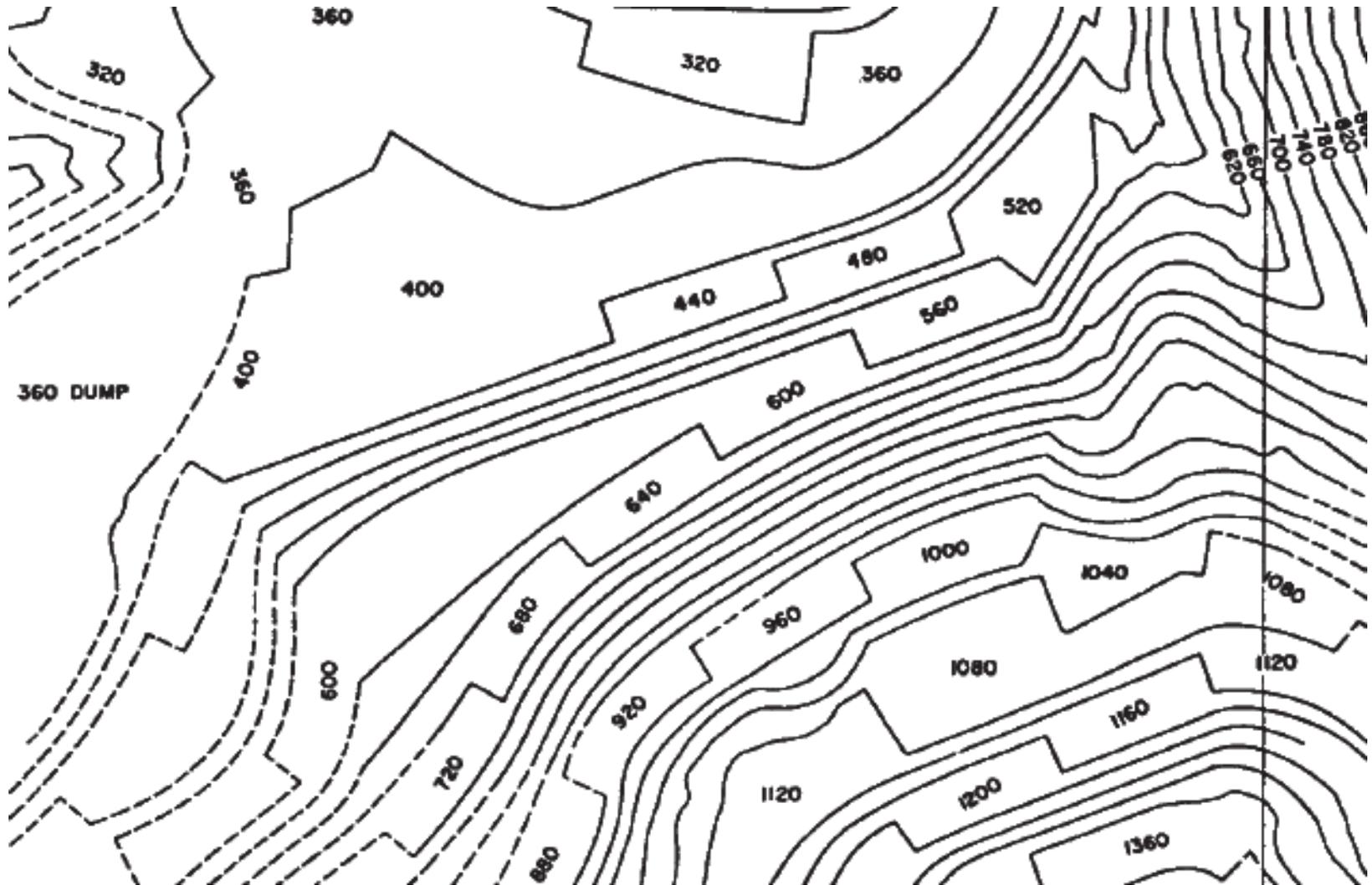


# Representação em planta





# Representação em planta



# Conclusões

# Referencias

**Gertsch, Richard E., Bullock, Richard. L.** Techniques in underground mining: Selections From Underground Mining Methods Handbook. SME. **1998**.

**Hustrulid, W., Kuchta, M.** Open Pit Mine Planning & Design. Rotterdam; Brookfield, VT: A.A. Balkema. **1998**.

**Flores, Belisario Ascarza, & Cabral, Ivo Eyer.** (2008). Análise de sensibilidade na otimização econômica de uma cava. Analysis of sensitivity of the pit economic optimization. *Rem: Revista Escola de Minas*, 61(4), 449-454. <https://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672008000400007>.



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto**

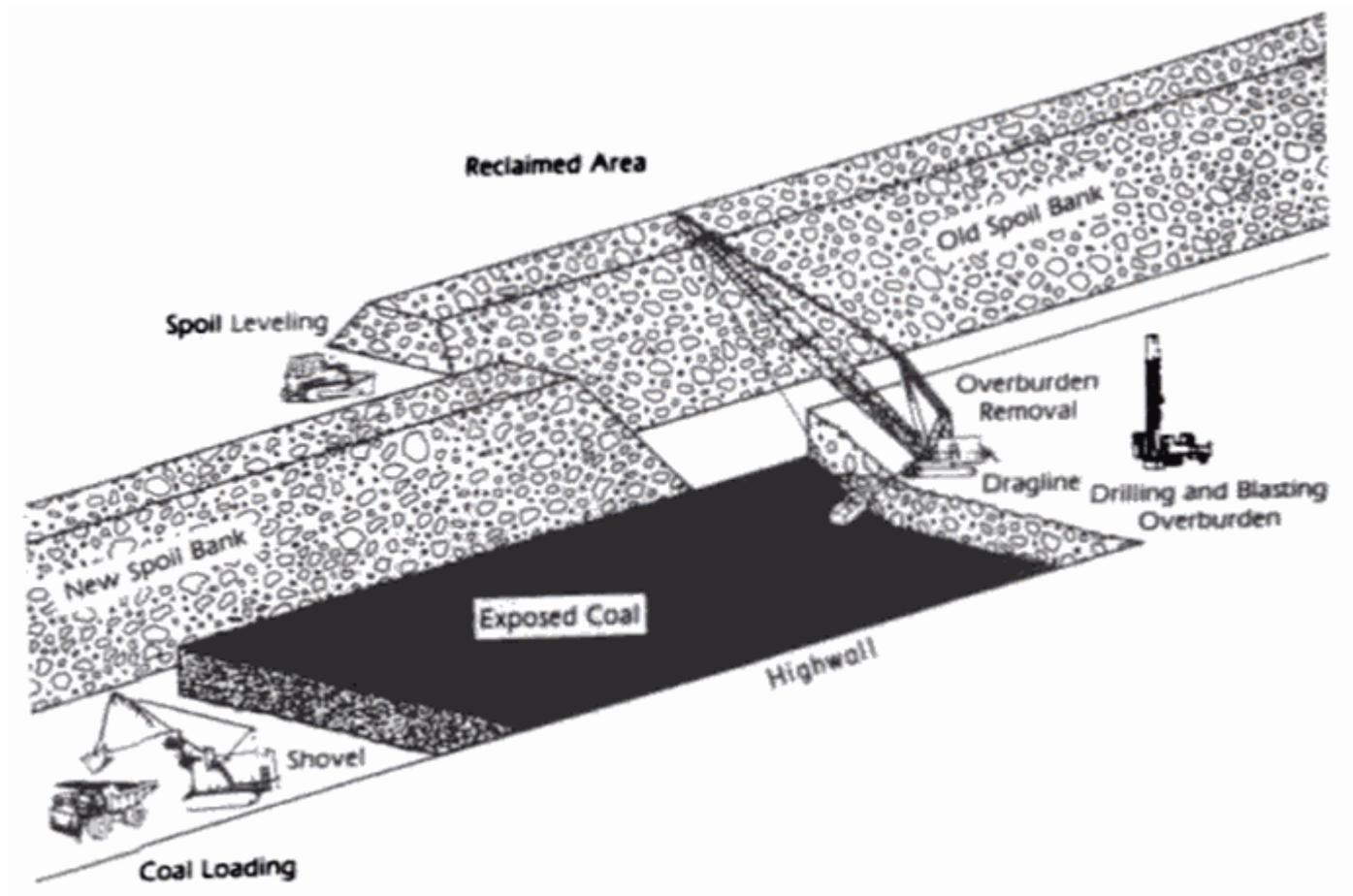
# **LAVRA EM TIRAS**

# Agenda

- Introdução/Contextualização
- Métodos
- Equipamentos

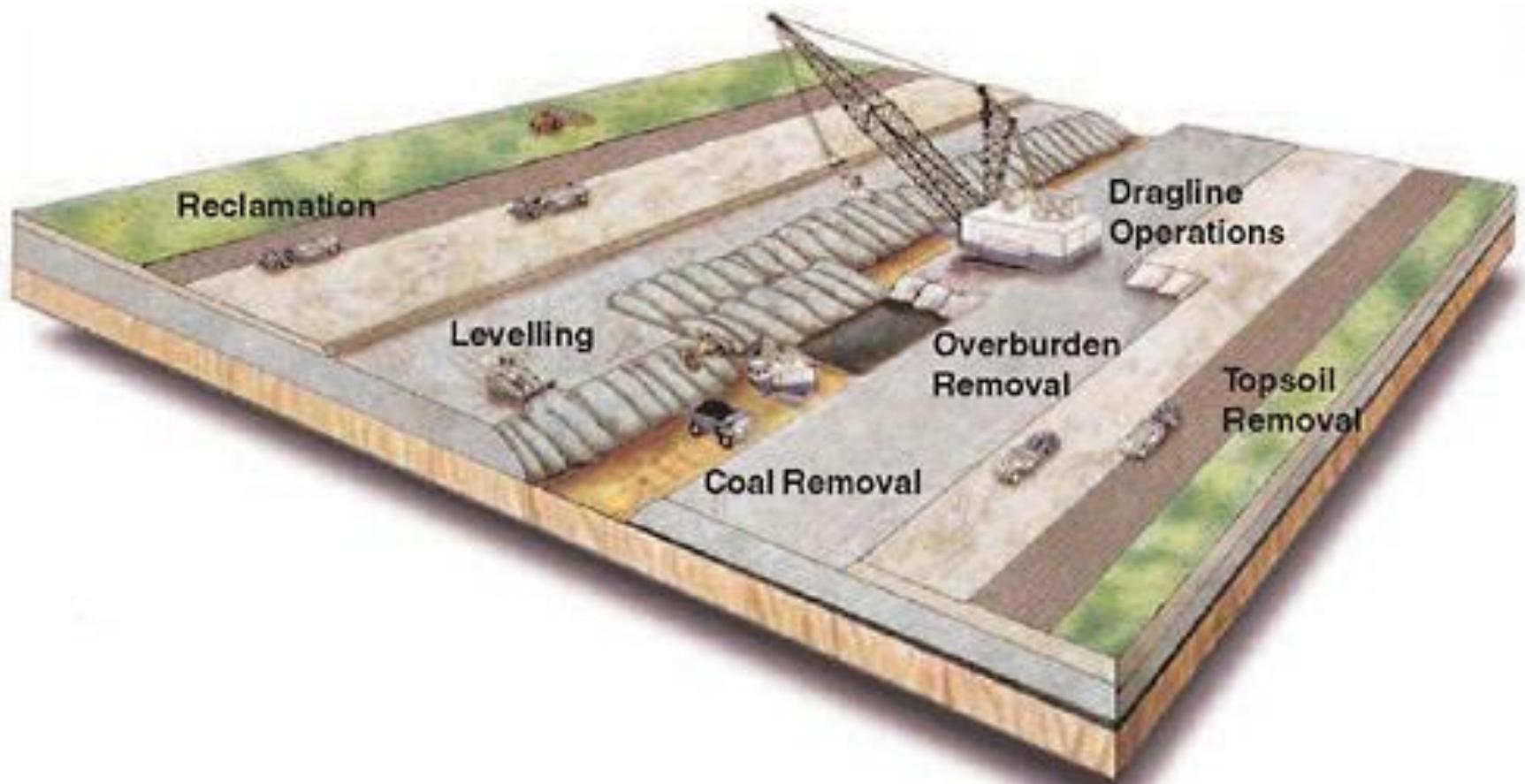
# Lavra em Tiras

## Conceito



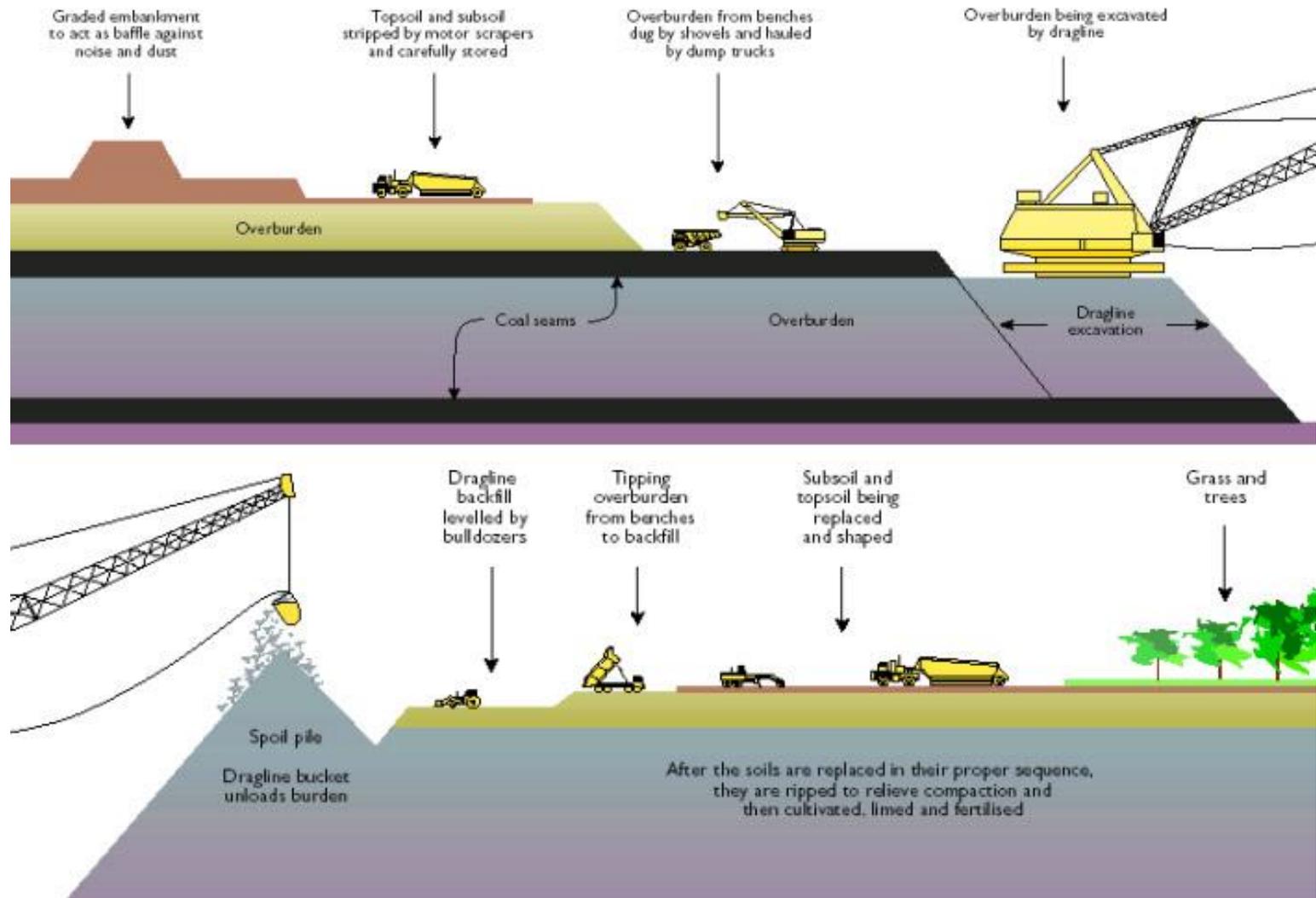
# Lavra em Tiras

## Etapas



# Lavra em Tiras

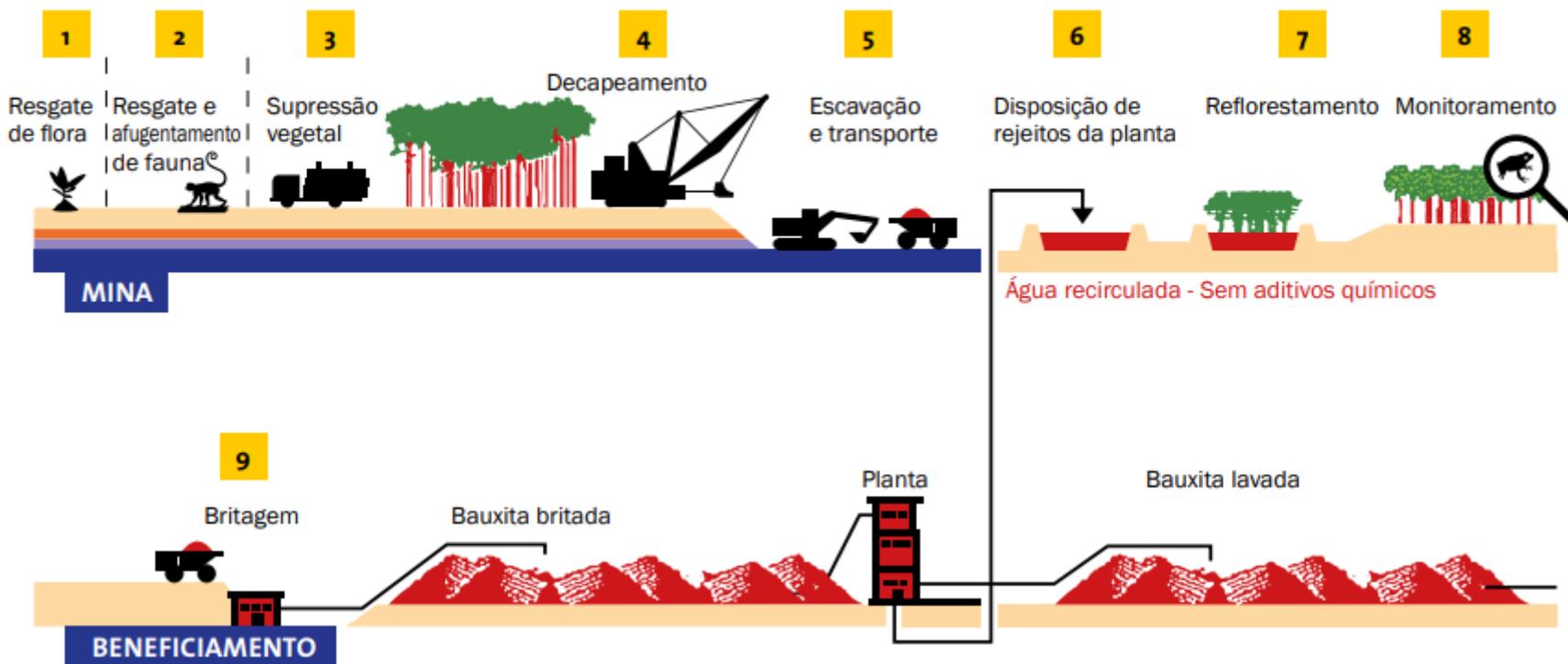
## Etapas



# Lavra em Tiras

## Etapas

### ESTRUTURA E PROCESSO OPERACIONAL



# Lavra em Tiras

- Métodos/Equipamentos:
  - Dragline
  - Escavadeira de Roda de Caçamba
  - Escavadeiras e caminhões
  - Mistos e Outros



**HYDRAULIC MINING SHOVELS** >

**ESCAVADEIRAS HIDRÁULICAS DE MINERAÇÃO** >



**ELECTRIC ROPE SHOVELS** >

**ESCAVADEIRAS A CABO** >



# Lavra em Tiras

## Dragline

- Baixo custo operacional
- Depósitos:
  - Grandes
  - Pouca inclinação
  - Rasos

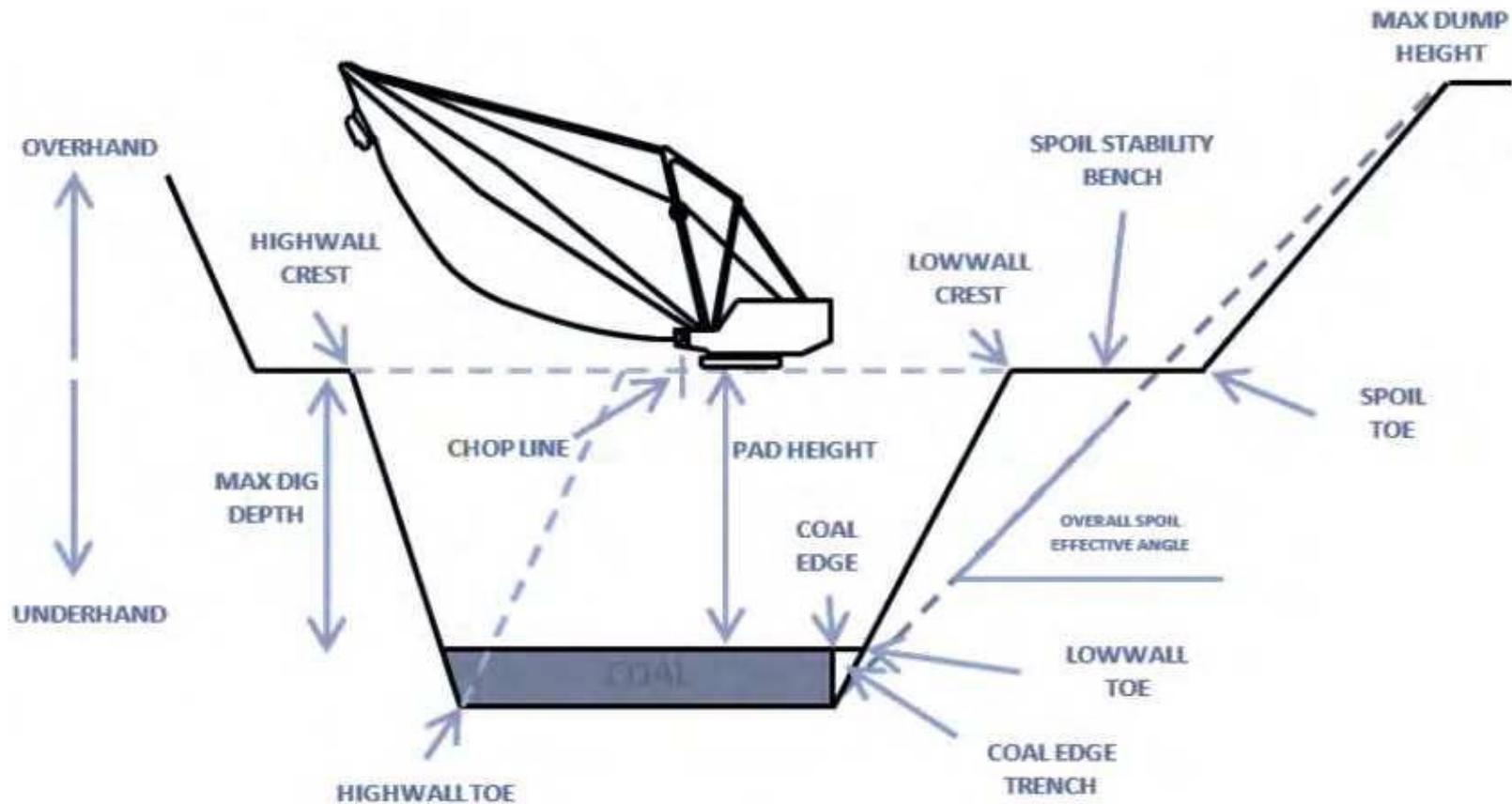
# Lavra em Tiras Dragline



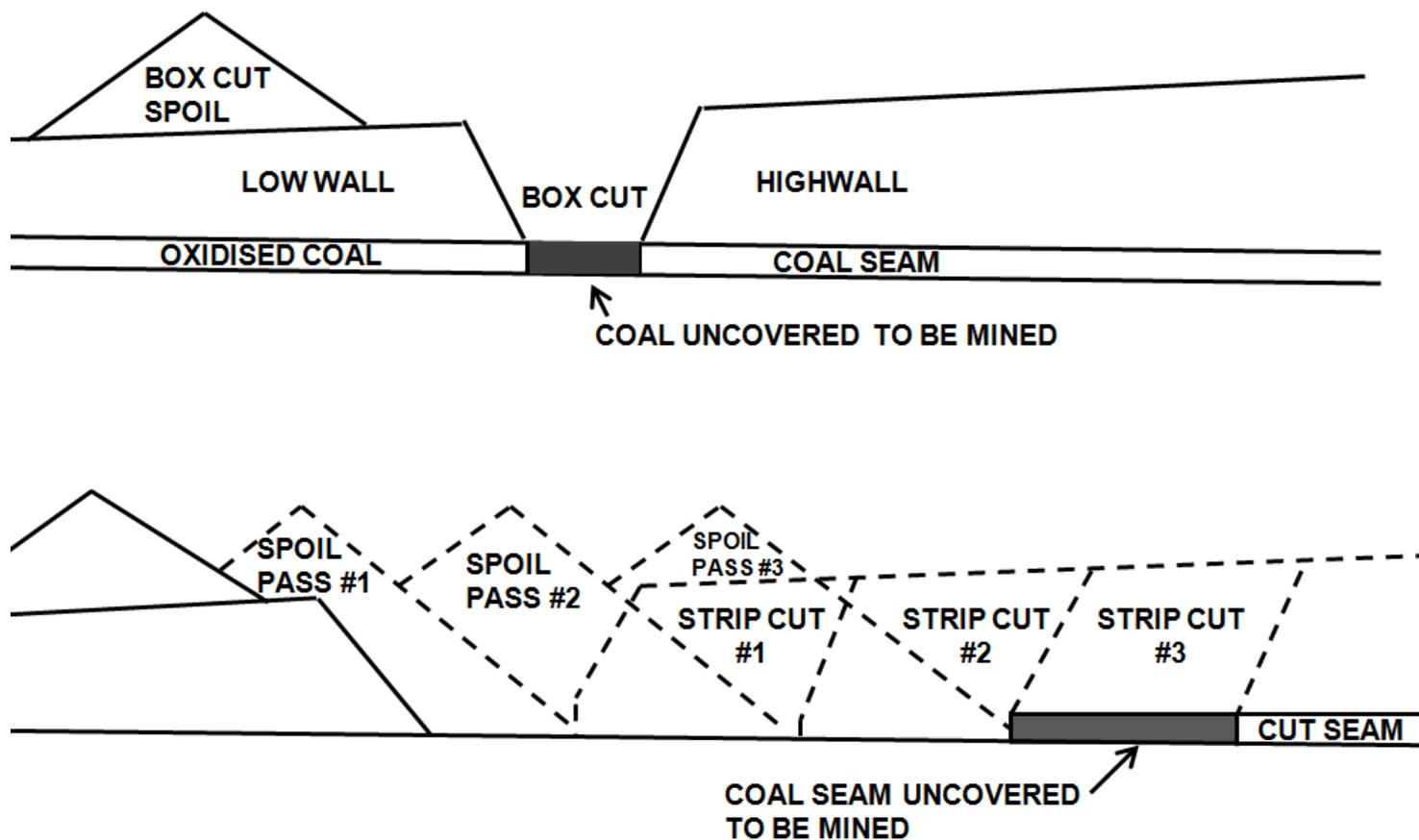
# Lavra em Tiras Dragline



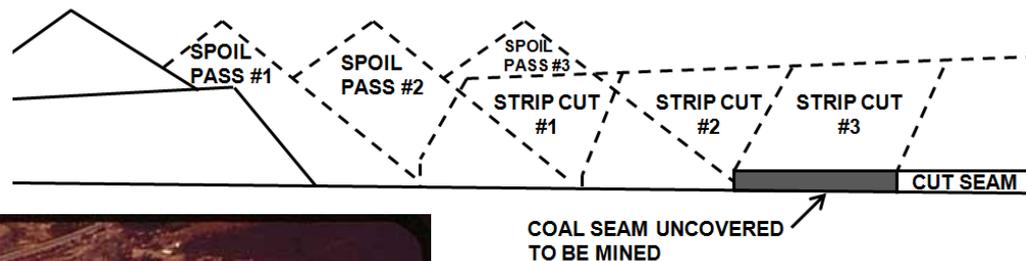
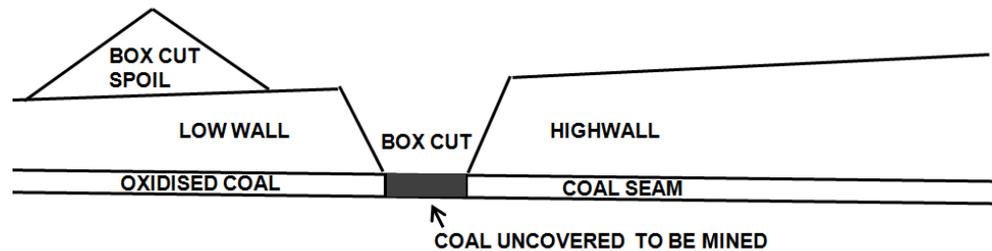
# Lavra em Tiras Dragline



# Lavra em Tiras Dragline



# Lavra em Tiras Dragline



# Lavra em Tiras

## Dragline



# Lavra em Tiras Dragline



# Lavra em Tiras Dragline



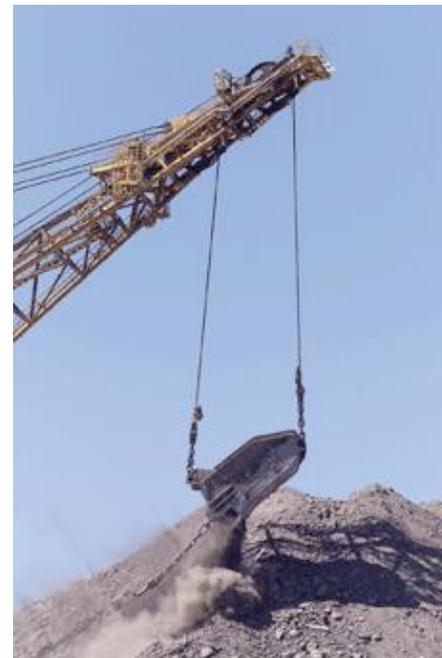
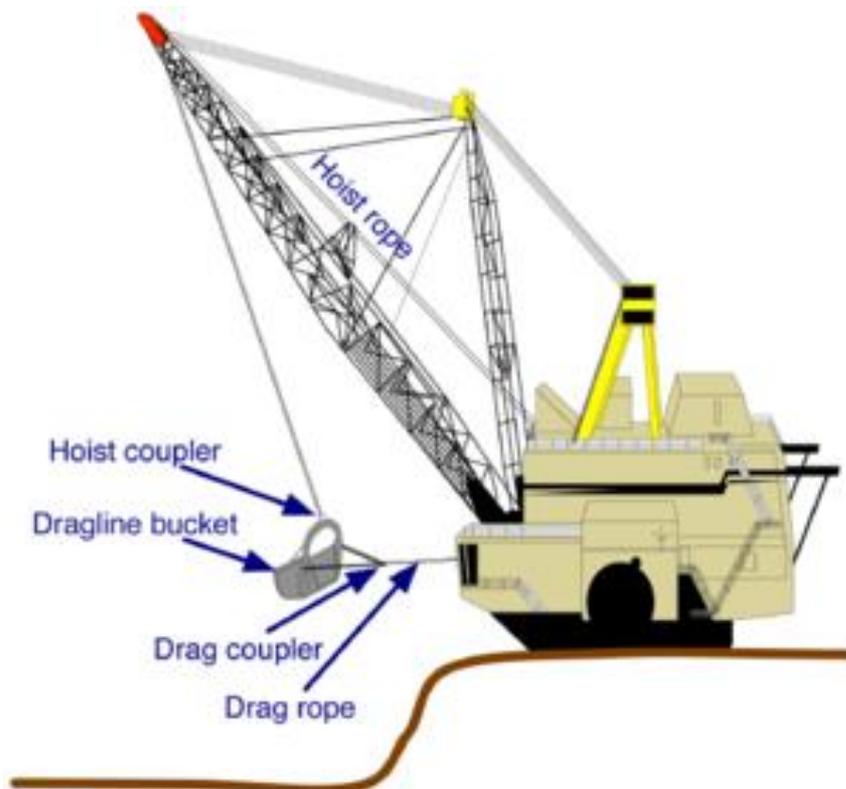
# Lavra em Tiras

## Dragline

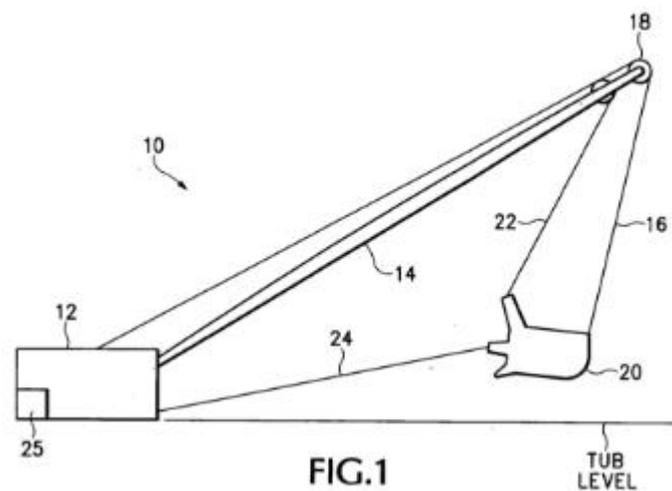
- Vantagens:
  - Escavação e transporte juntos
  - Custos operacionais baixos
  - Alcança escavações difíceis
- Desvantagens:
  - Profundidade e Altura
  - Inflexível
  - Planejamento detalhado
  - CAPEX

# Lavra em Tiras Dragline - Inovação

## Tradicional



## UDD



# Lavra em Tiras

## Escavadeira de Roda de Caçambas



# Lavra em Tiras

## Escavadeira de Roda de Caçambas



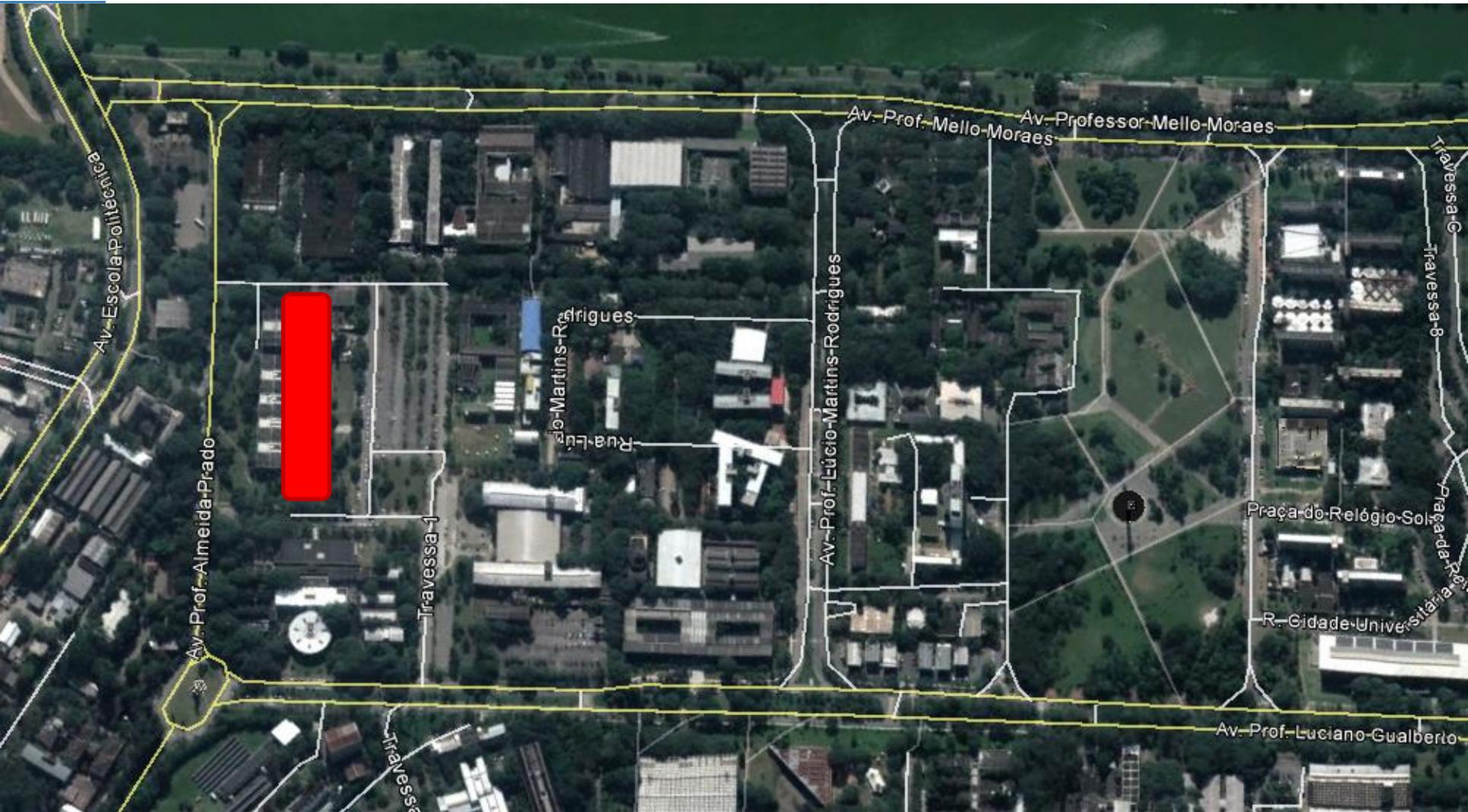
Lavra em Tiras

Escavadeira de Roda de Caçambas



# Lavra em Tiras

## Escavadeira de Roda de Caçambas



Lavra em Tiras

Escavadeira de Roda de Caçambas



# Lavra em Tiras

## Escavadeira e Caminhões

- Vantagens:
  - Depósitos complexos e menores
  - Transporte de material
  - CAPEX
- Desvantagens:
  - OPEX

# Lavra em Tiras

## Escavadeira e Caminhões



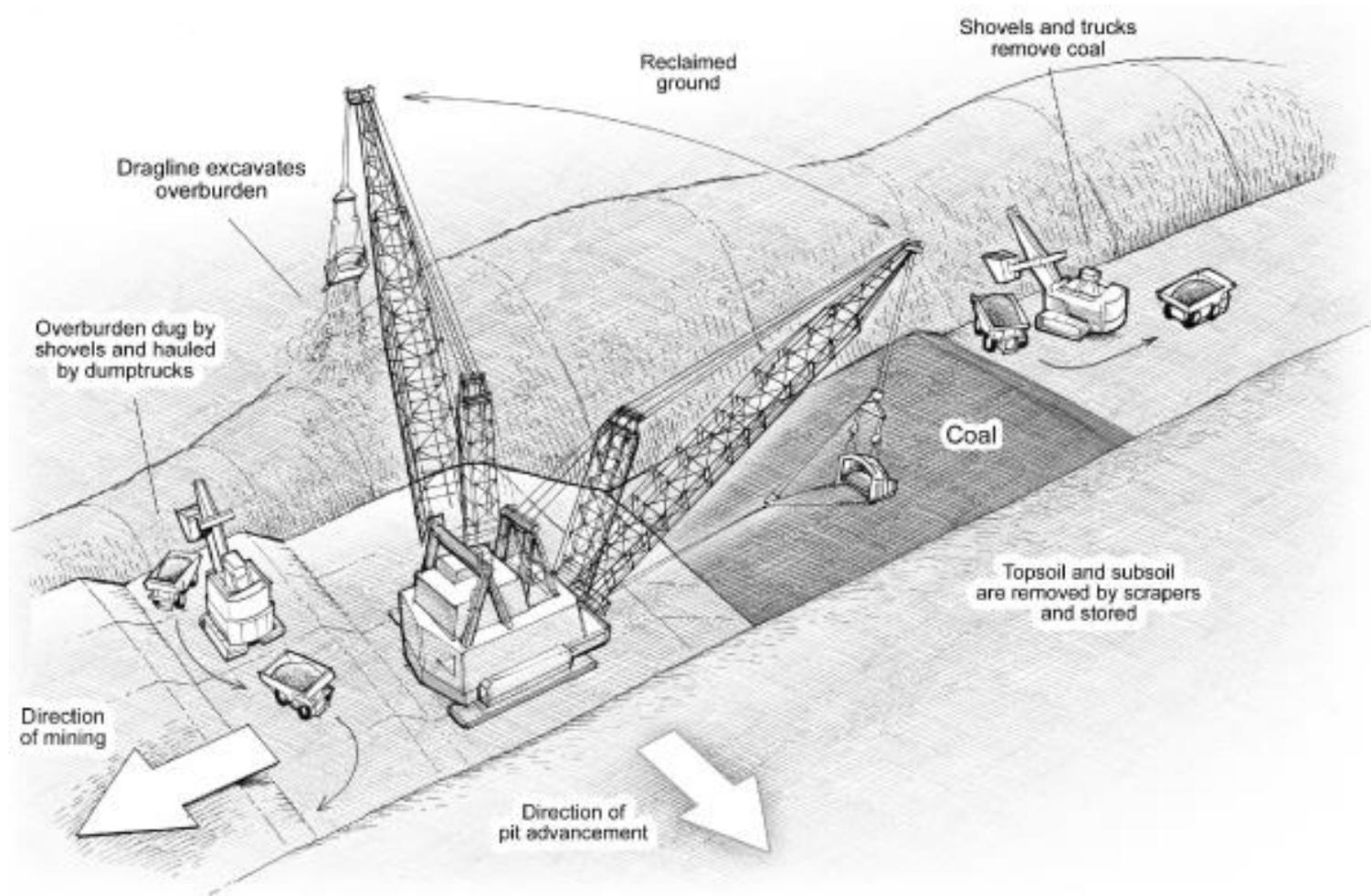
Fonte: Turgay (2012)

# Lavra em Tiras

## Escavadeira e Caminhões



# Lavra em Tiras Misto e Outros



# Lavra em Tiras Misto e Outros



# Lavra em Tiras Misto e Outros



# Lavra em Tiras Misto e Outros



# Referencias

**Howard L. Hartman.** Introductory Mining Engineering. John Wiley & Sons Inc. **1987.**

**Hustrulid, W., Kuchta, M.** Open Pit Mine Planning & Design. Rotterdam; Brookfield, VT: A.A. Balkema. **1998.**

**Onargan, Turgay.** (2012). Mining Methods.  
<https://www.intechopen.com/books/mining-methods>

# Próxima aula