



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

***PMI-3325***

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

***AULA 2 - 2017***

***Fluxo de Informações de Desenho de Cava  
Dados Topográficos, Geológicos e Geotécnicos***

***Prof. Giorgio de Tomi***



# SUMARIO

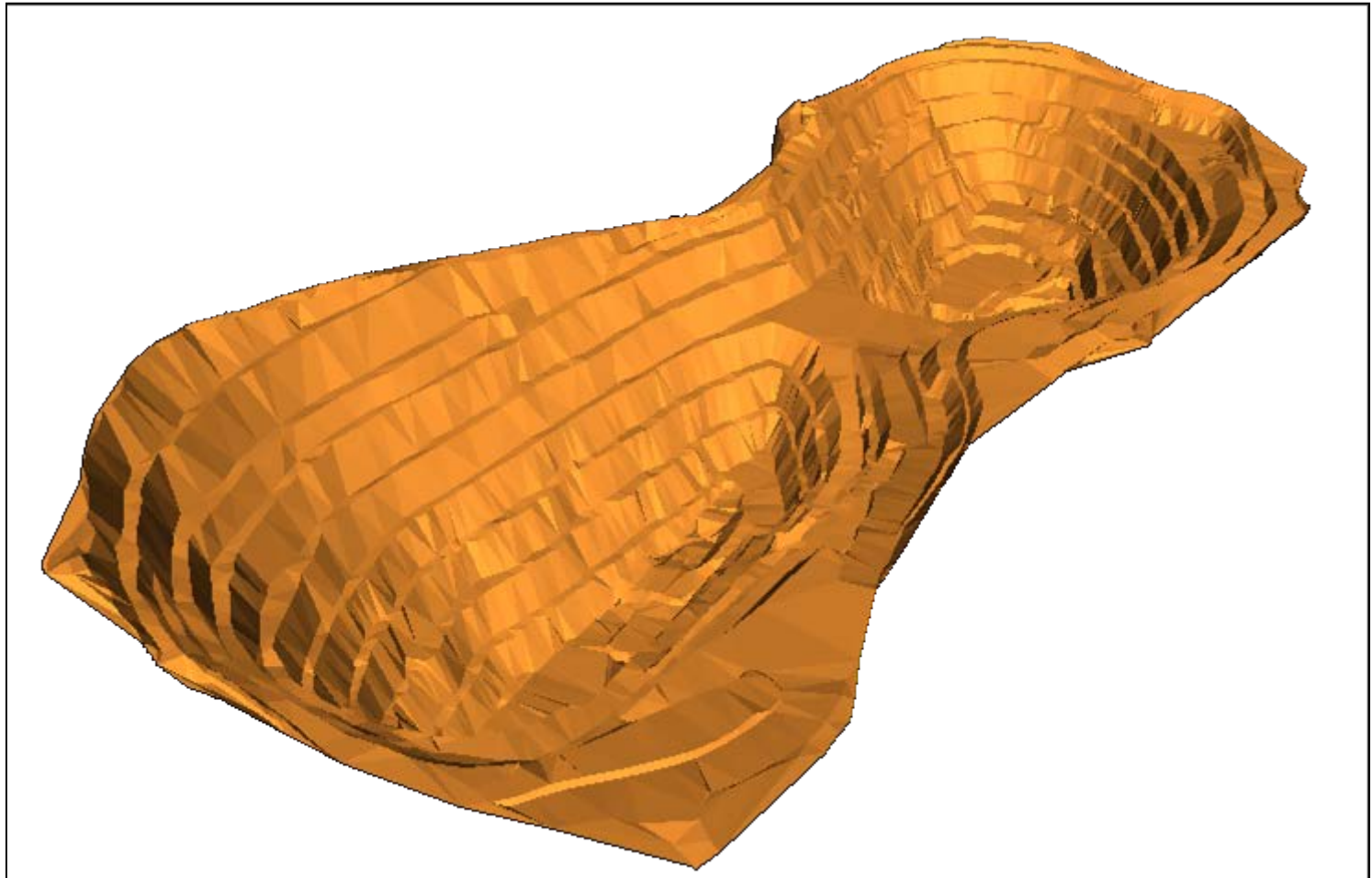
- Fluxo de Informações para Desenho de Cava
- Fontes de dados
  - Topográficos
  - Geológicos
  - Geotécnicos
- Exemplos
- Atividade



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

# DESENHO DE CAVA

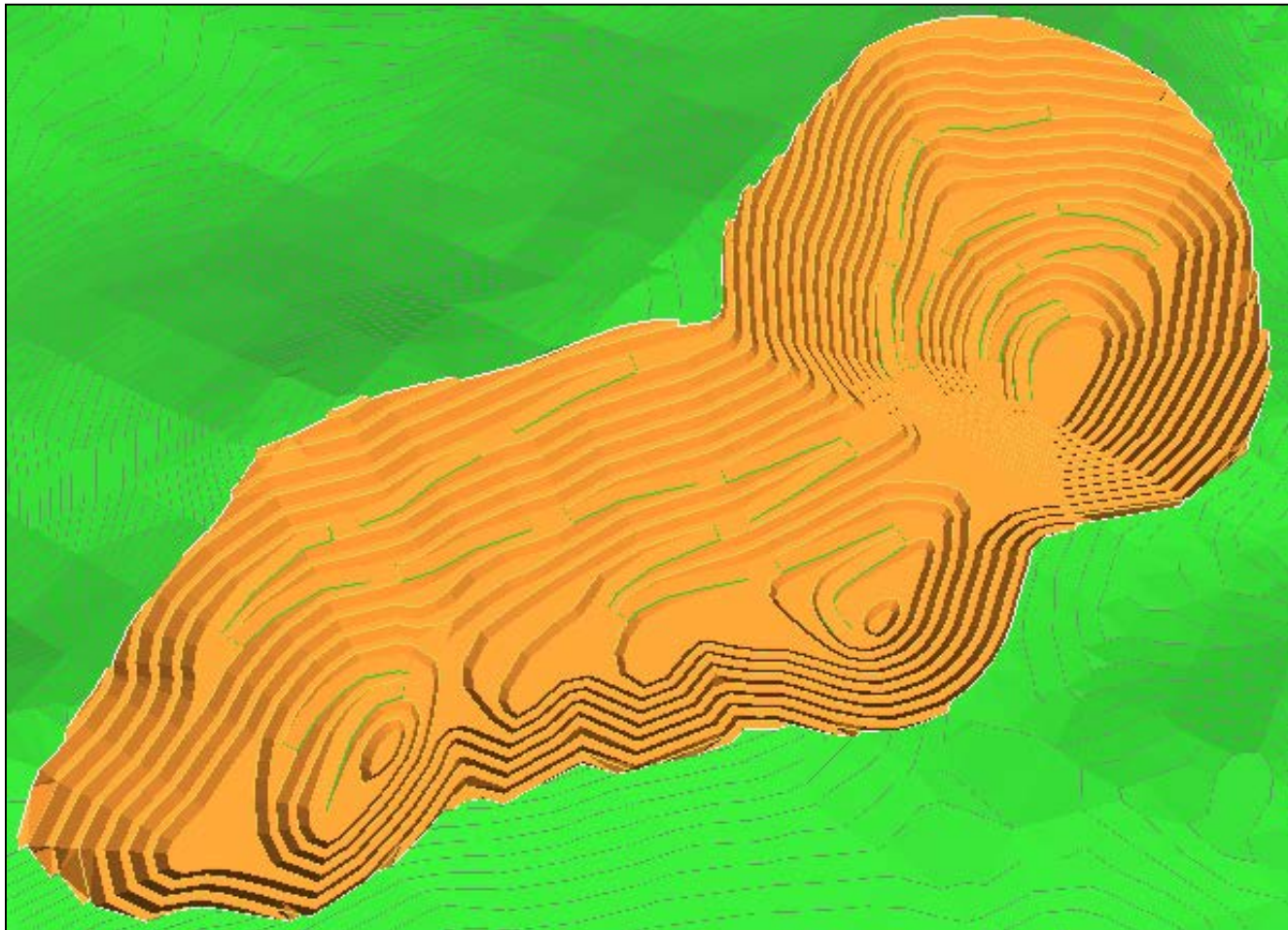




ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

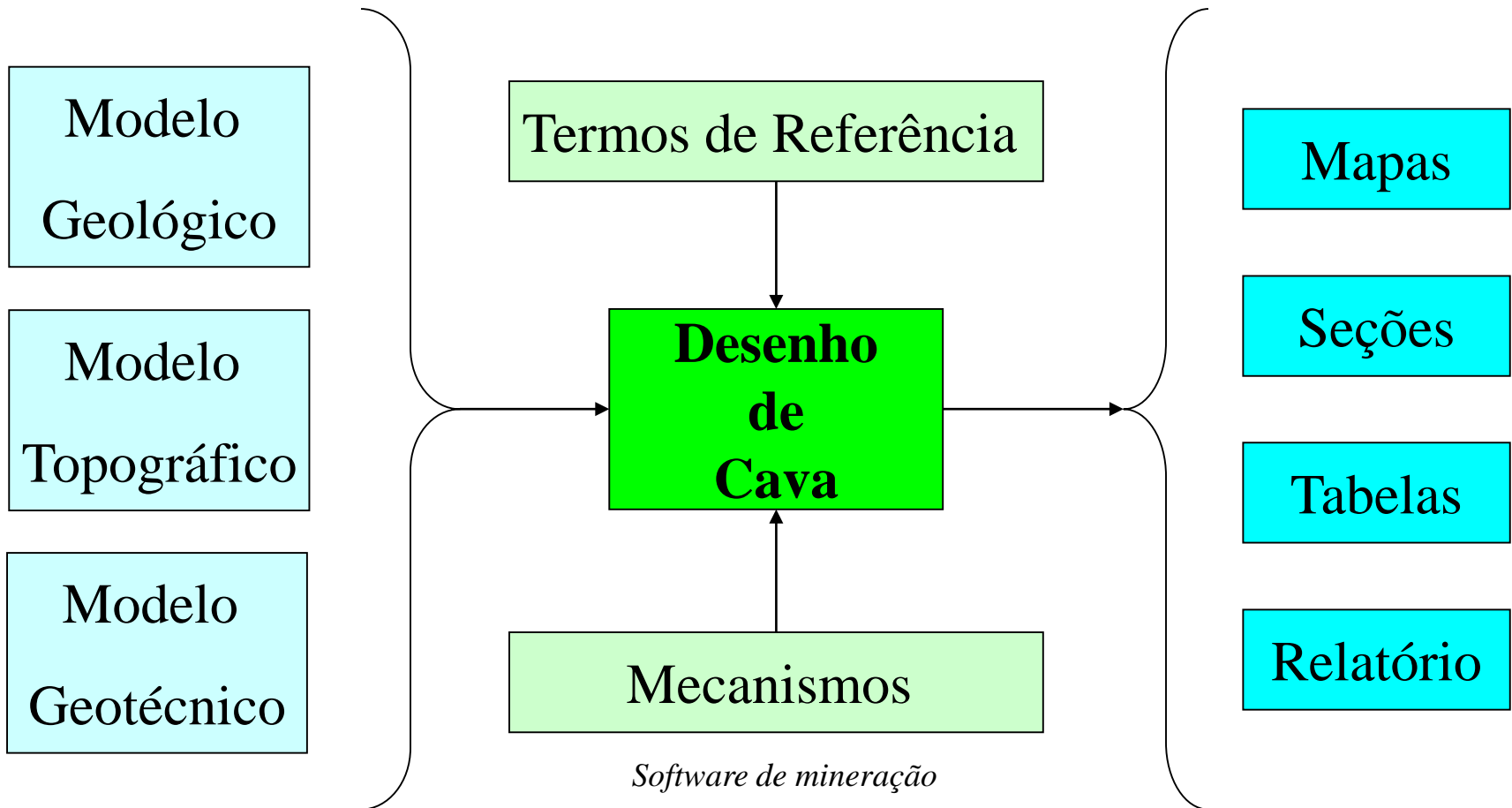
PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

# DESENHO DE CAVA



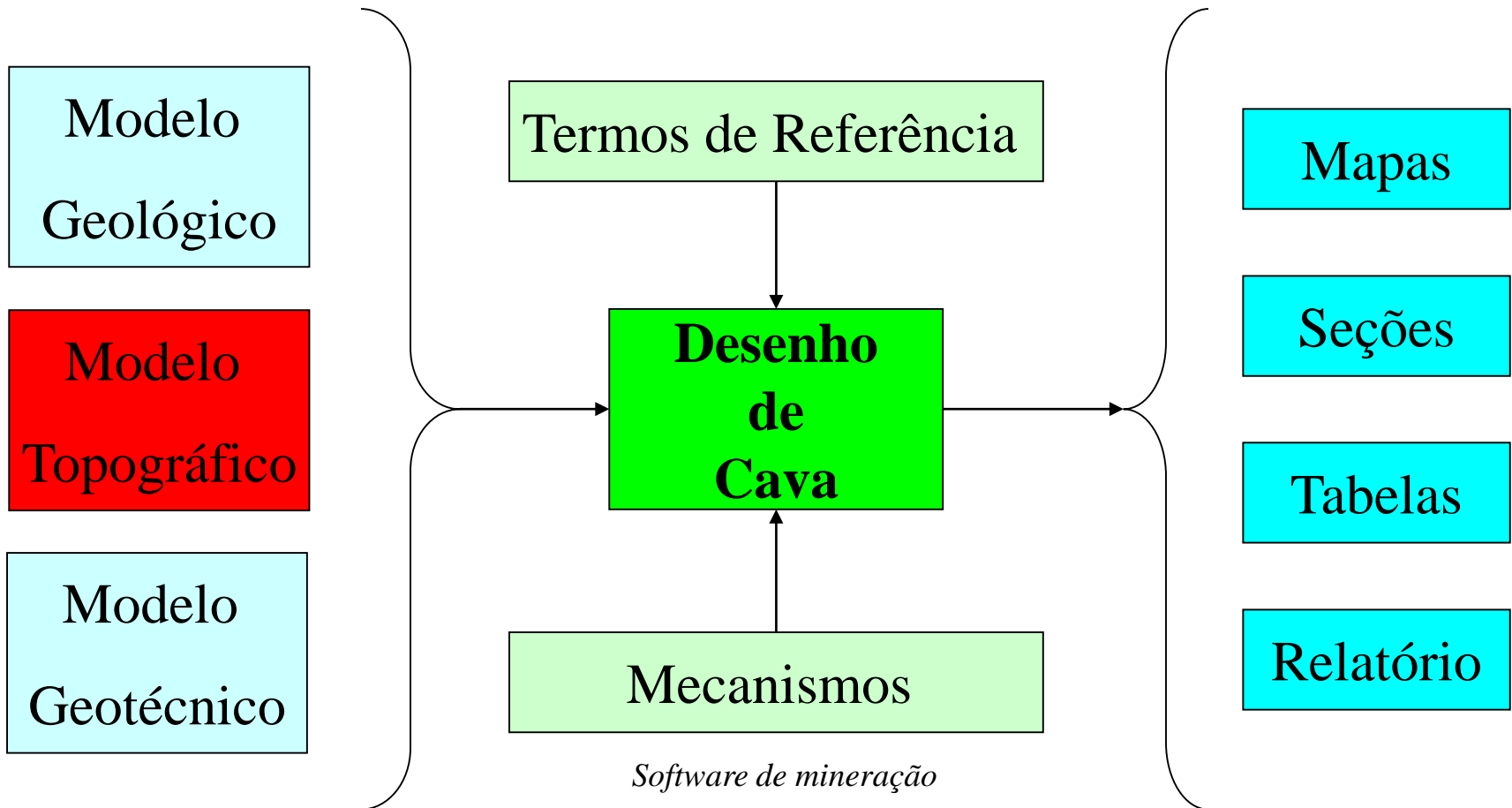


# ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA





# ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



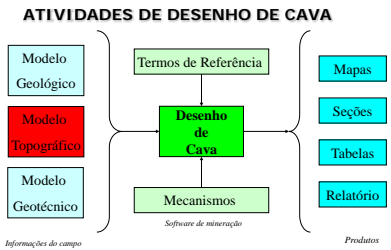
*Informações do campo*

*Produtos*



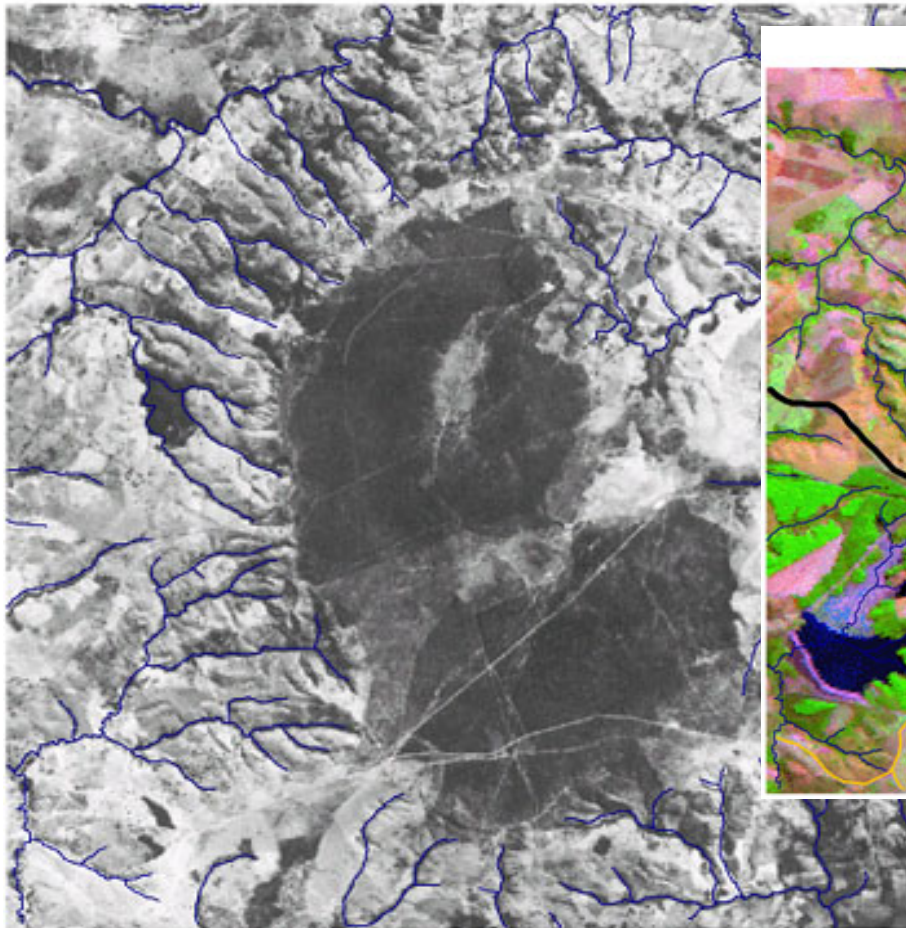
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

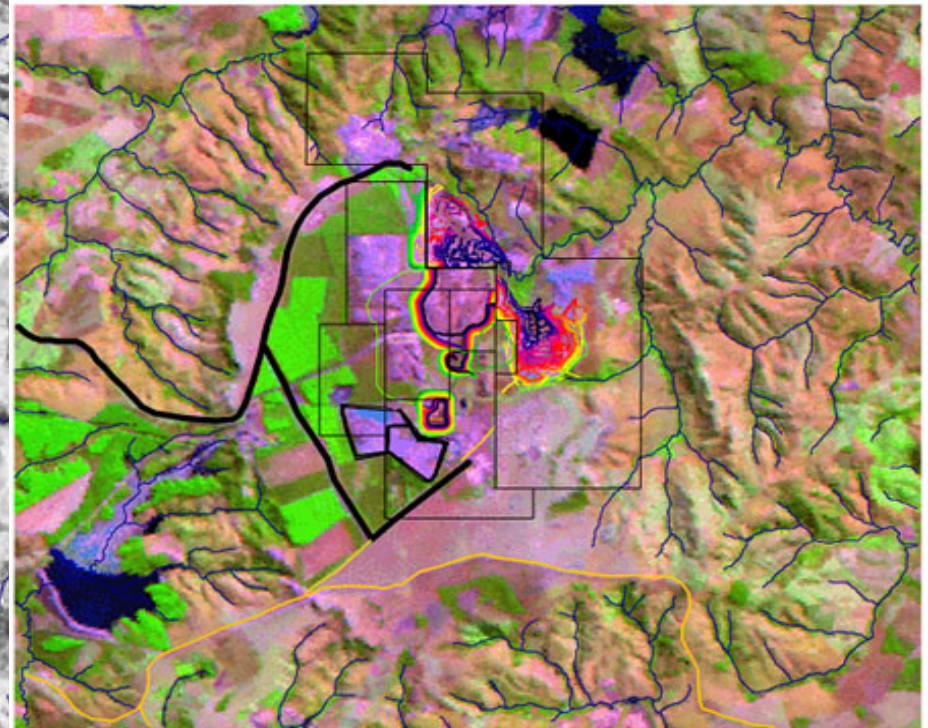


# LEVANTAMENTO POR IMAGENS DE SATÉLITE

ft\_domo resampled



domo\_cl\_sat resampled

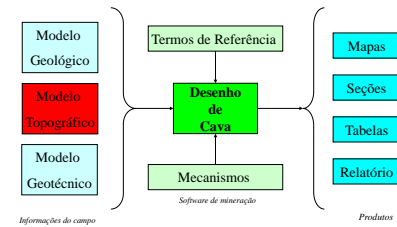




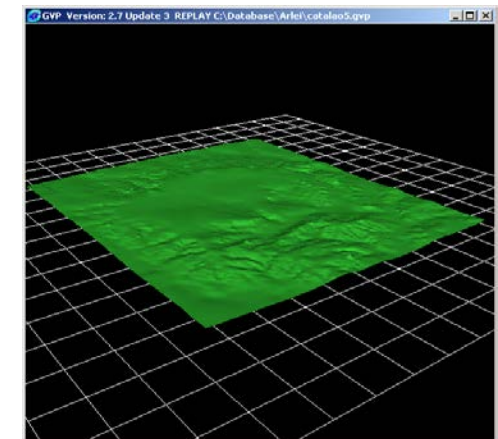
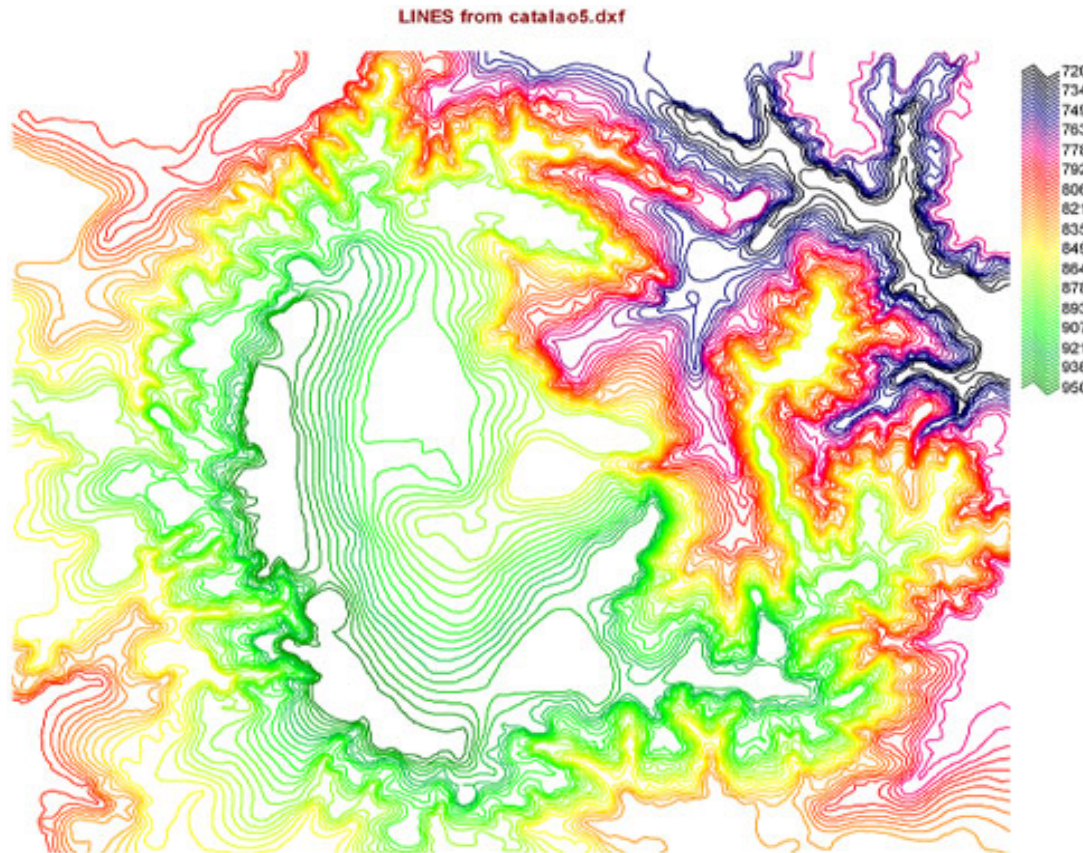
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



# INTERPRETAÇÕES A PARTIR DE FOTOS AÉREAS



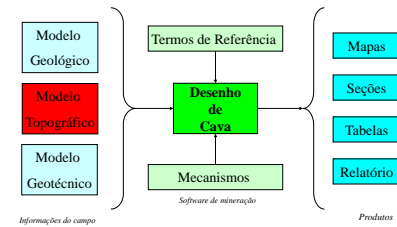




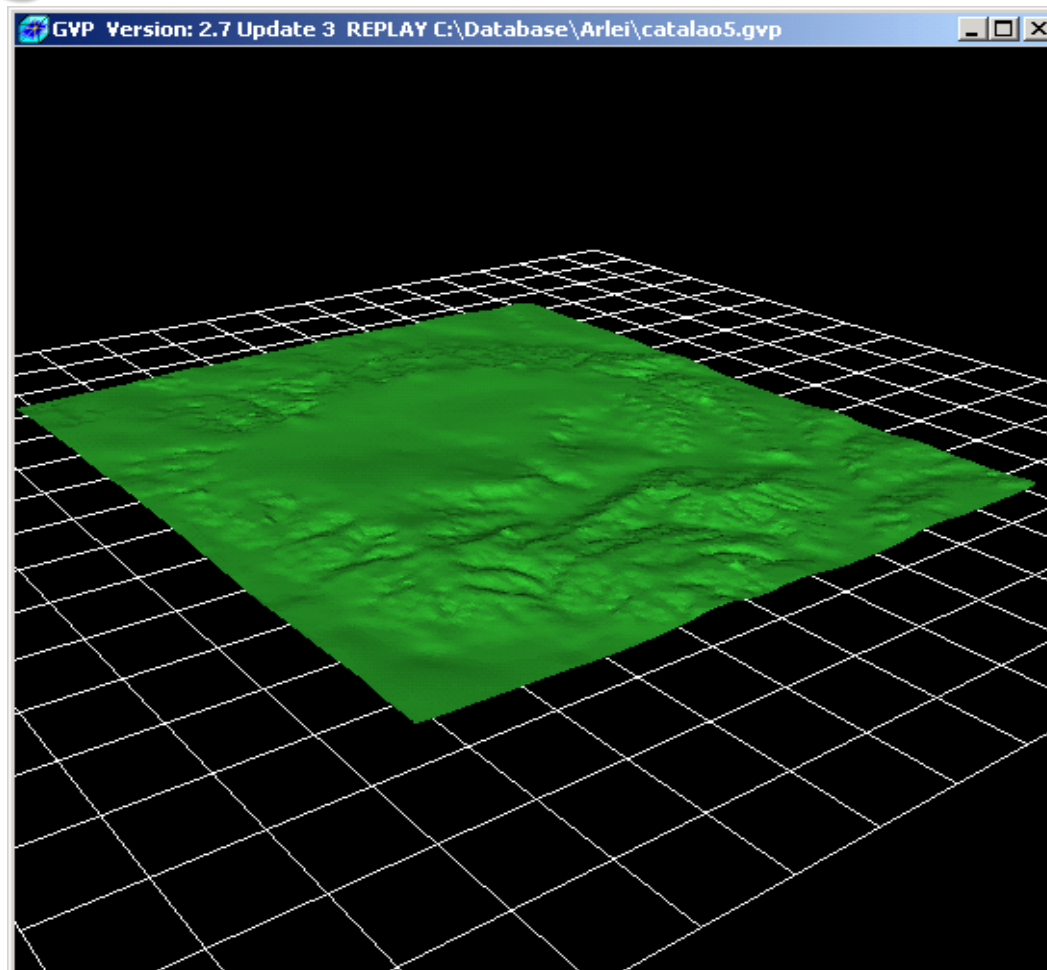
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



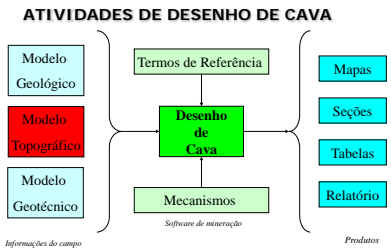
# INTERPRETAÇÕES A PARTIR DE FOTOS AÉREAS





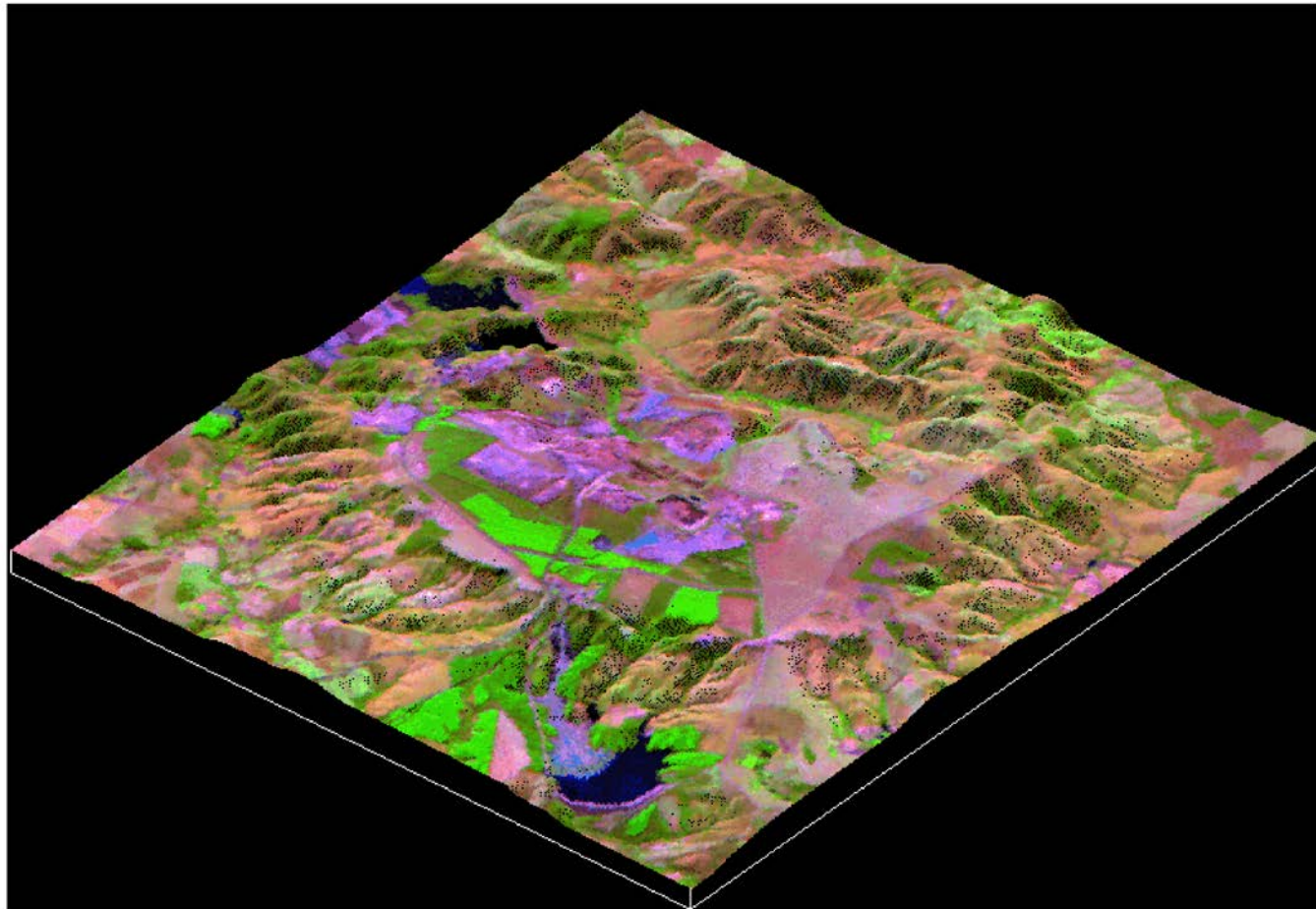
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto



# MODELAGEM TOPOGRÁFICA POR IMAGEM LANDSAT

domo\_cl\_sat resampled

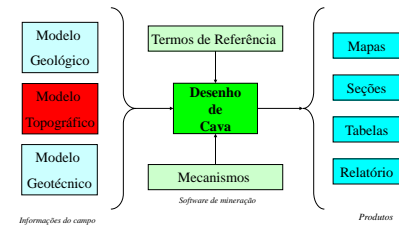




ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

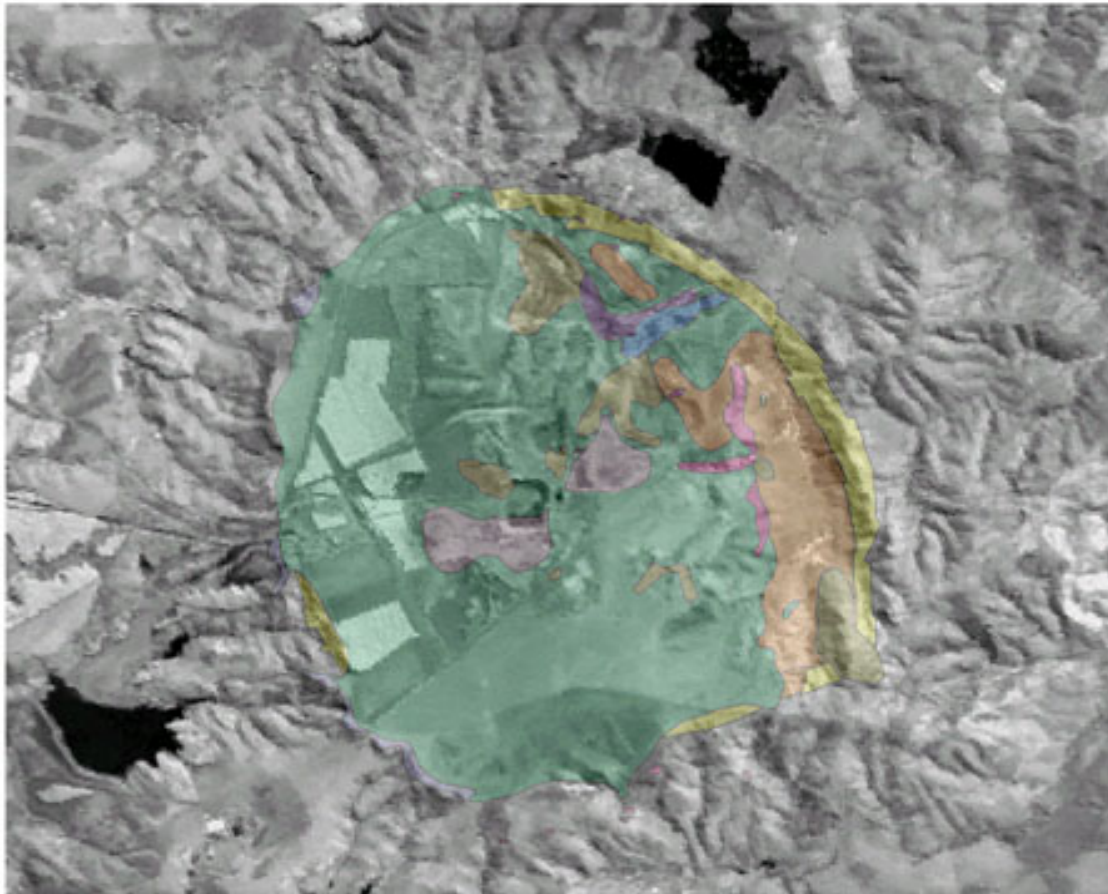
PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto










ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



# MAPEAMENTO – IMAGEM LANDSAT

domo\_bp\_sat resampled



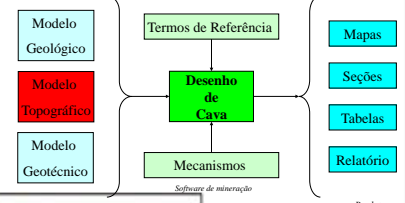
-  Sedimentos Recentes
-  Solo Laterítico Rico em Magnetita
-  Solo Laterítico Rico em Vermiculita
-  Laterito Nodular
-  Canga Laterítica Rica em Magnetita
-  Conglomerado Limonítico
-  Sedimentos Argilosos
-  Silexito
-  Quartzito Fenitizado



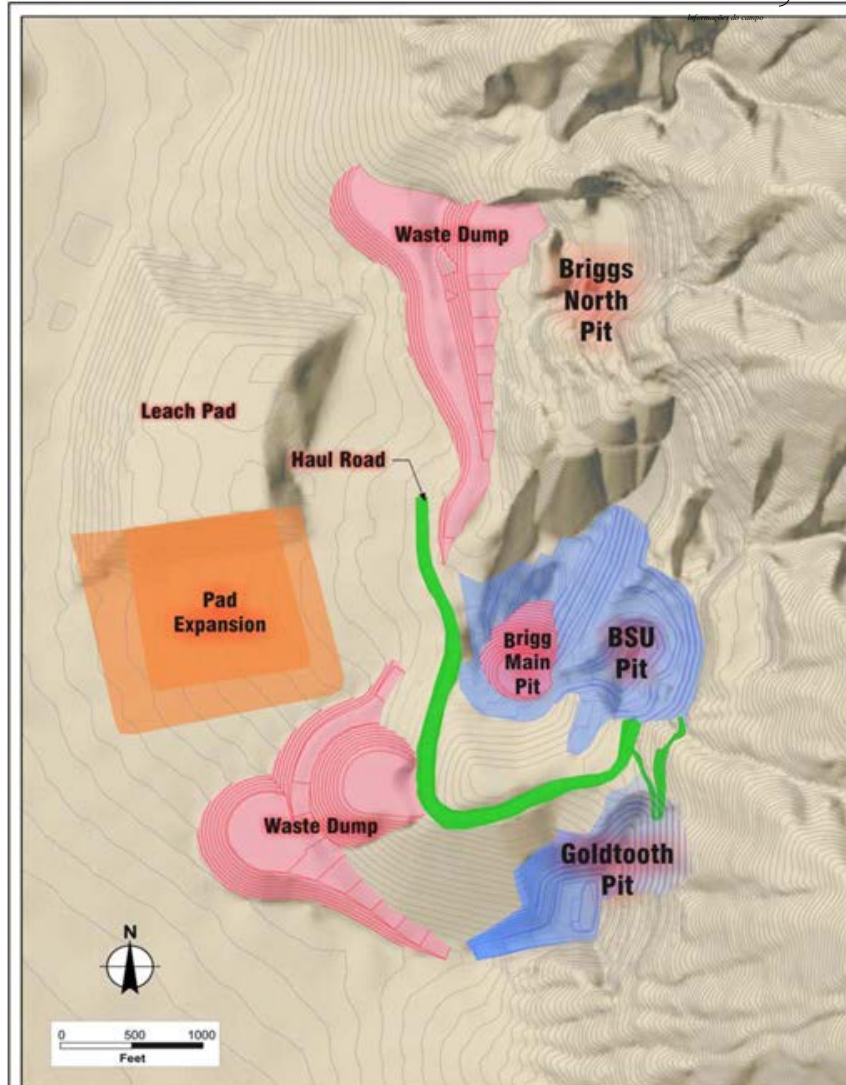
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



# MODELO TOPOGRÁFICO

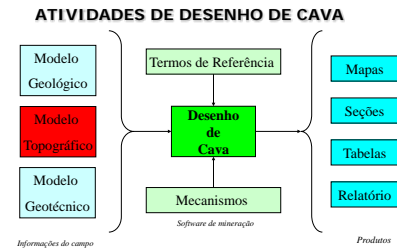


**Briggs Mine Layout**  
Final Open Pit Mine Design  
Inyo County, California



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto



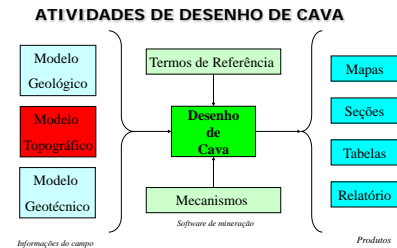
# Formatos de Informações Topográficas

- Mapas Topográficos
  - Segundo o IBGE,  
“Mapa é a representação no plano, normalmente em escala pequena, dos aspectos geográficos, naturais, culturais e artificiais de uma área tomada na superfície terrestre, e delimitada por elementos físicos, político-administrativos.”
  - Informações de interesse para a mineração: Curvas-de-nível, Pontos e marcos topográficos, e poligonais de limites (DNPM, superficiários, zonas de proteção etc.)



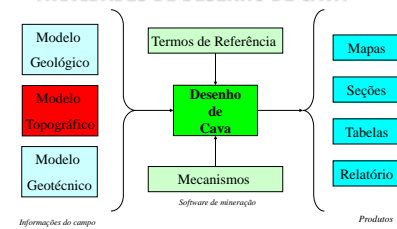
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto



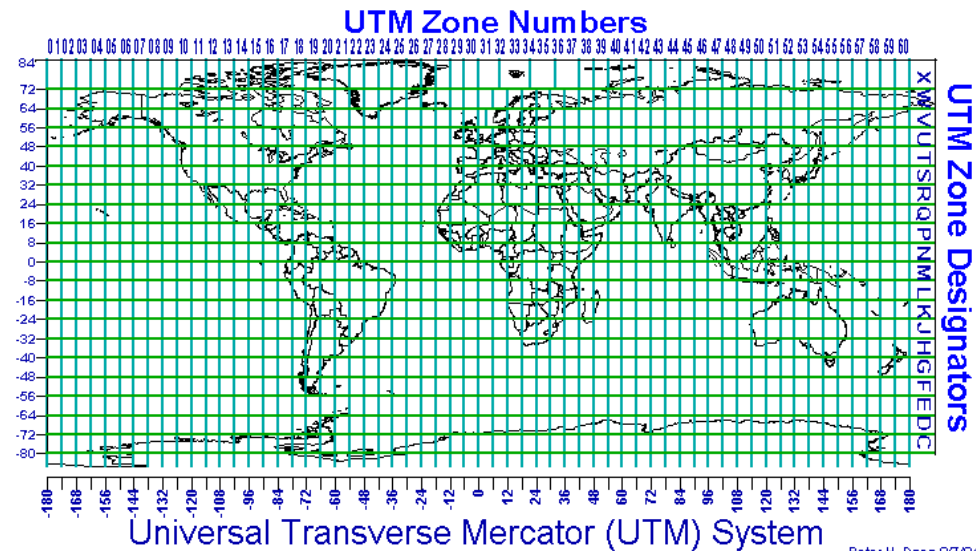
# Formatos de Informações Topográficas

- Mapas (papel & imagens)
  - Curvas-de-nível
  - Pontos e marcos topográficos
  - Poligonais de limites (DNPM, superficiários, zonas de proteção etc.)
- Mapas digitais
  - Poligonais
  - Pontos Topográficos
  - Formatos comuns: CAD (\*.dwg), DXF e TXT
- Formato das informações
  - Poligonais: XP, YP, ZP, PTN, PVALUE
  - Pontos Topográficos: XPT, YPT, ZPT, PID



# Coordenadas Topográficas na Mineração

- Coordenadas Locais
  - Muito comuns até os anos 90
  - Utilizados em projetos mais antigos
  - É muito importante conhecer o ponto de amarração
- UTM
  - “Universal Transverse Mercator system”
  - “Projeção Universal Transversal de Mercator”
  - É o sistema de coordenadas mais utilizado na mineração

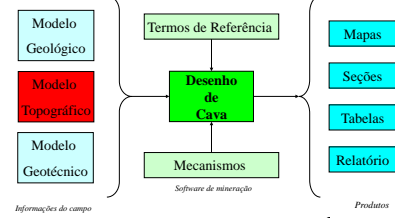




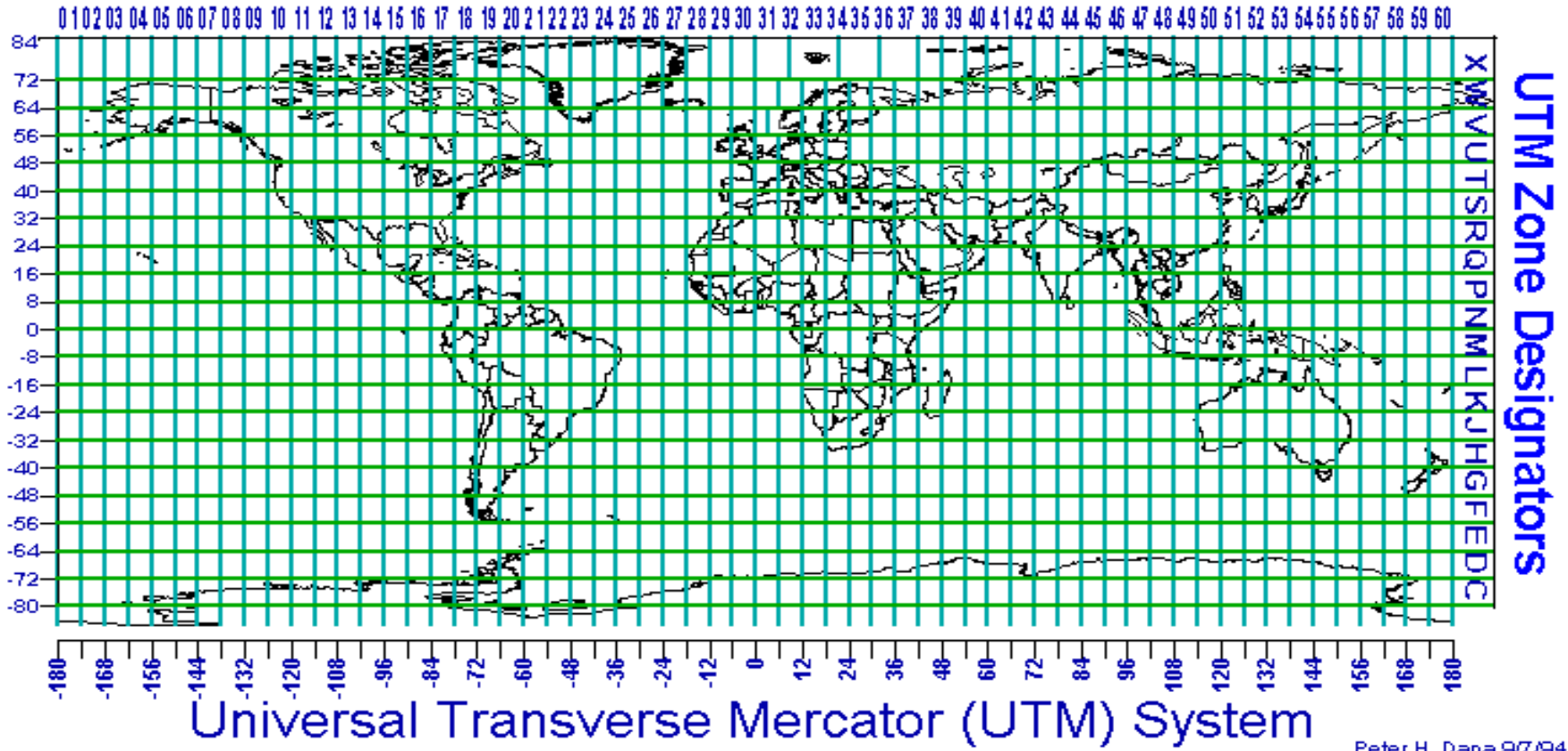
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



# UTM Zone Numbers



Peter H. Dana 9/7/94

~~SAD 69 (South American Datum 1969)~~

**SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000)**

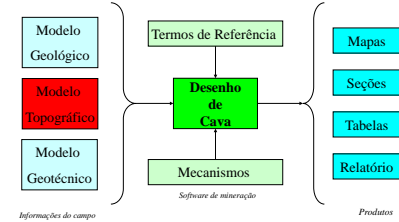




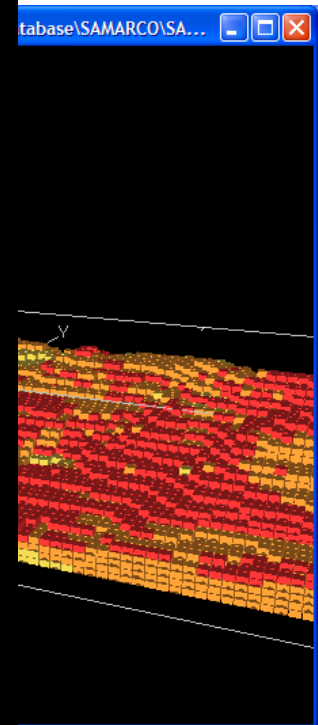
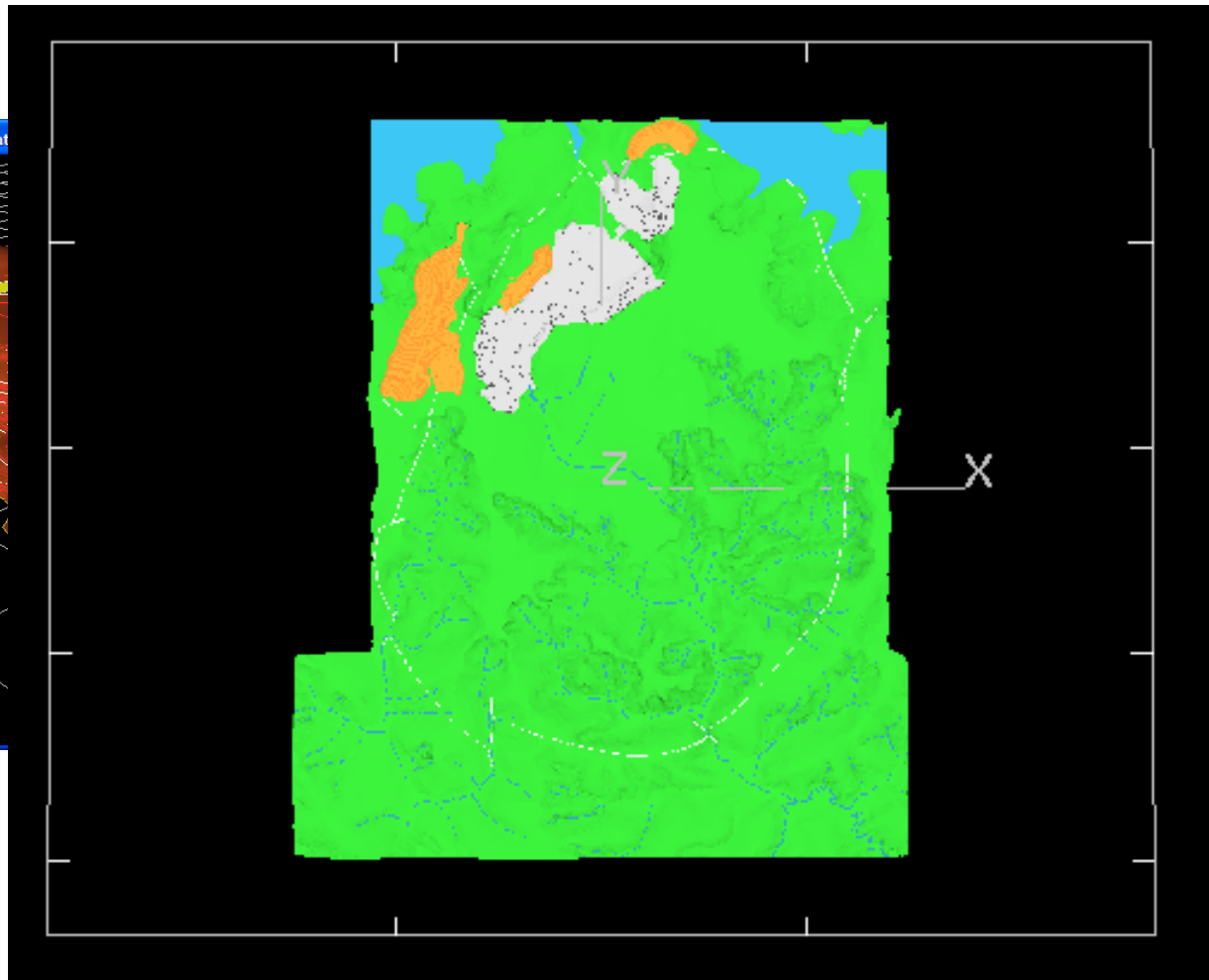
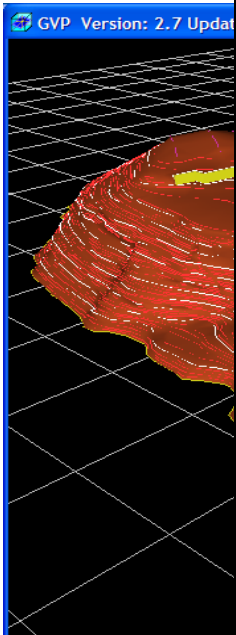
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



# MODELAGEM TOPOGRÁFICA





ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

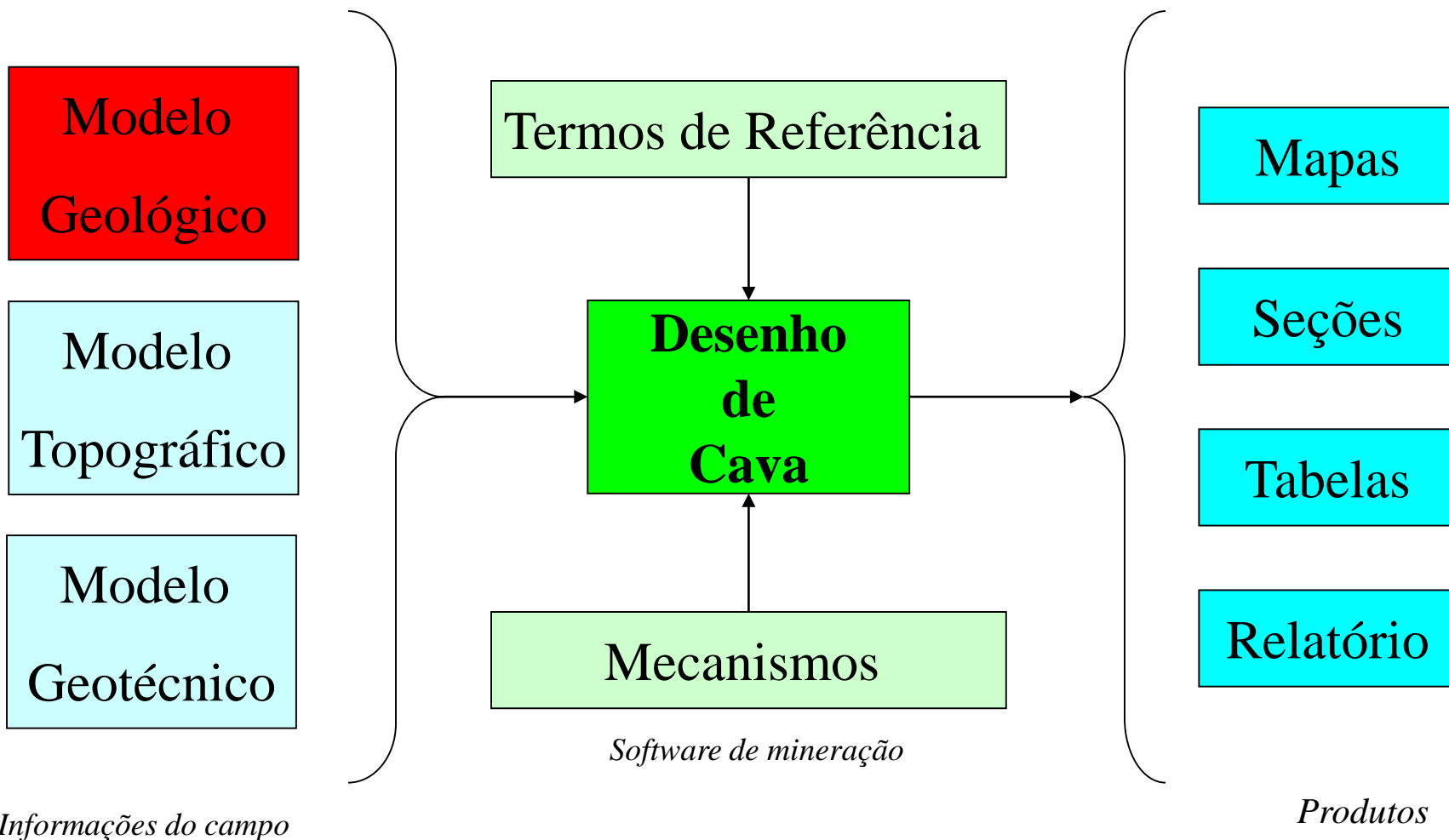
# COMENTÁRIOS SOBRE MODELAGEM TOPOGRÁFICA

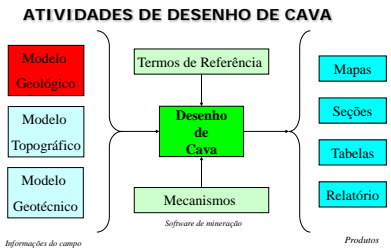
- Tomada de decisão depende da qualidade das informações
- Fontes diversas disponíveis, com resoluções diferentes: adotar a resolução adequada para o problema em questão
- Erros de posicionamento são comuns – atenção aos procedimentos de auditoria e de controle de qualidade.



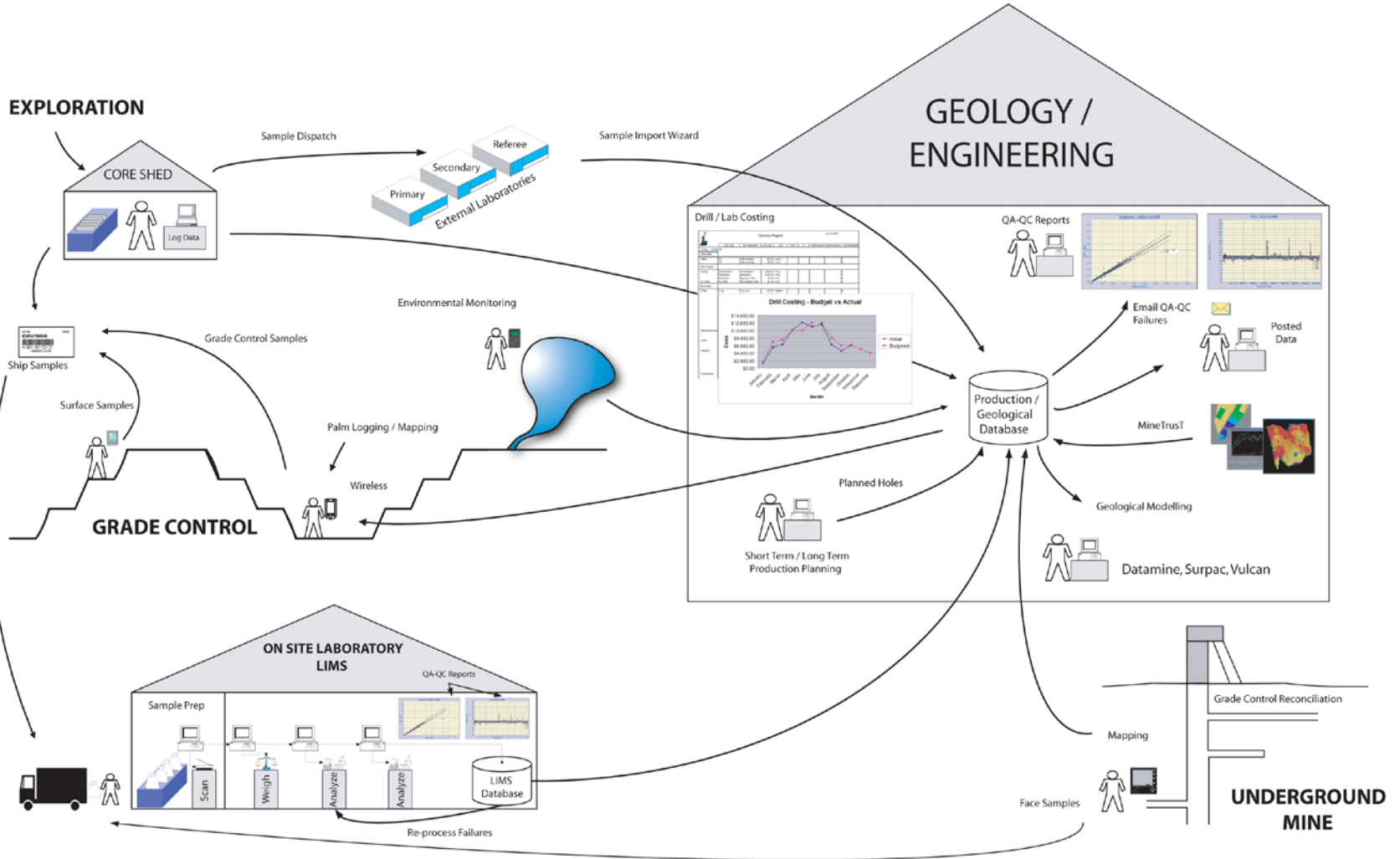


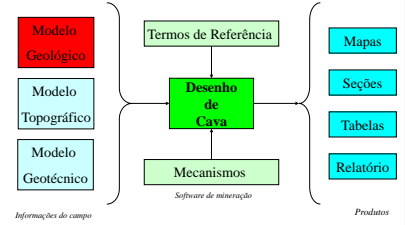
# ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA





# FLUXO DE DADOS GEOLÓGICOS





# FLUXO DE DADOS GEOLÓGICOS

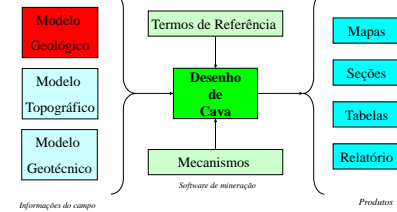




ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



# SEÇÕES GEOLÓGICAS

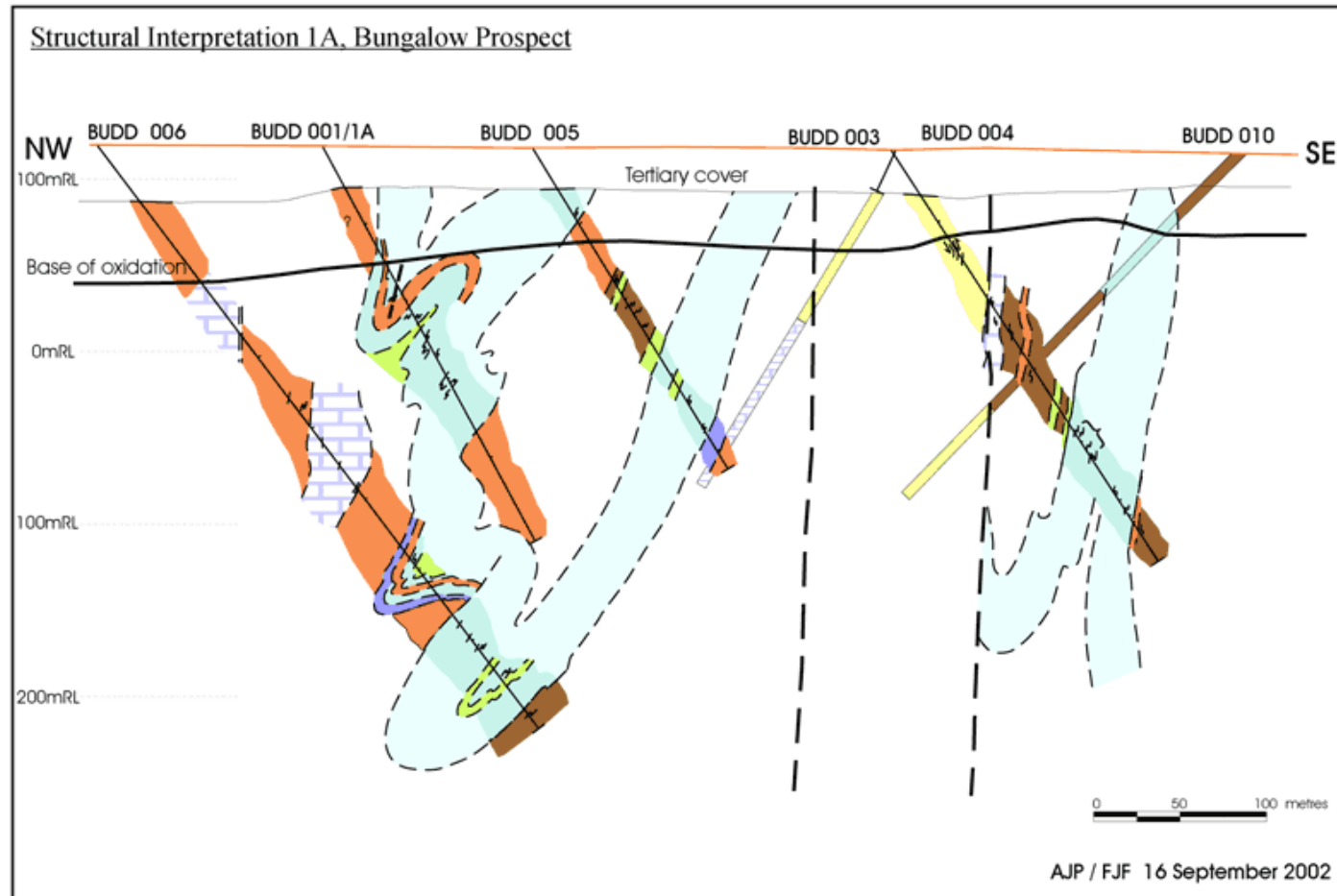


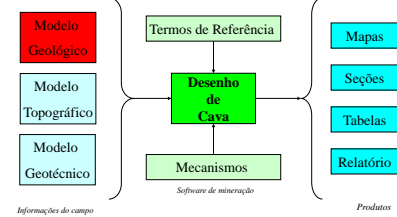
Fig. 13 Bungalow: geological section across the northern deposit, section 2000N



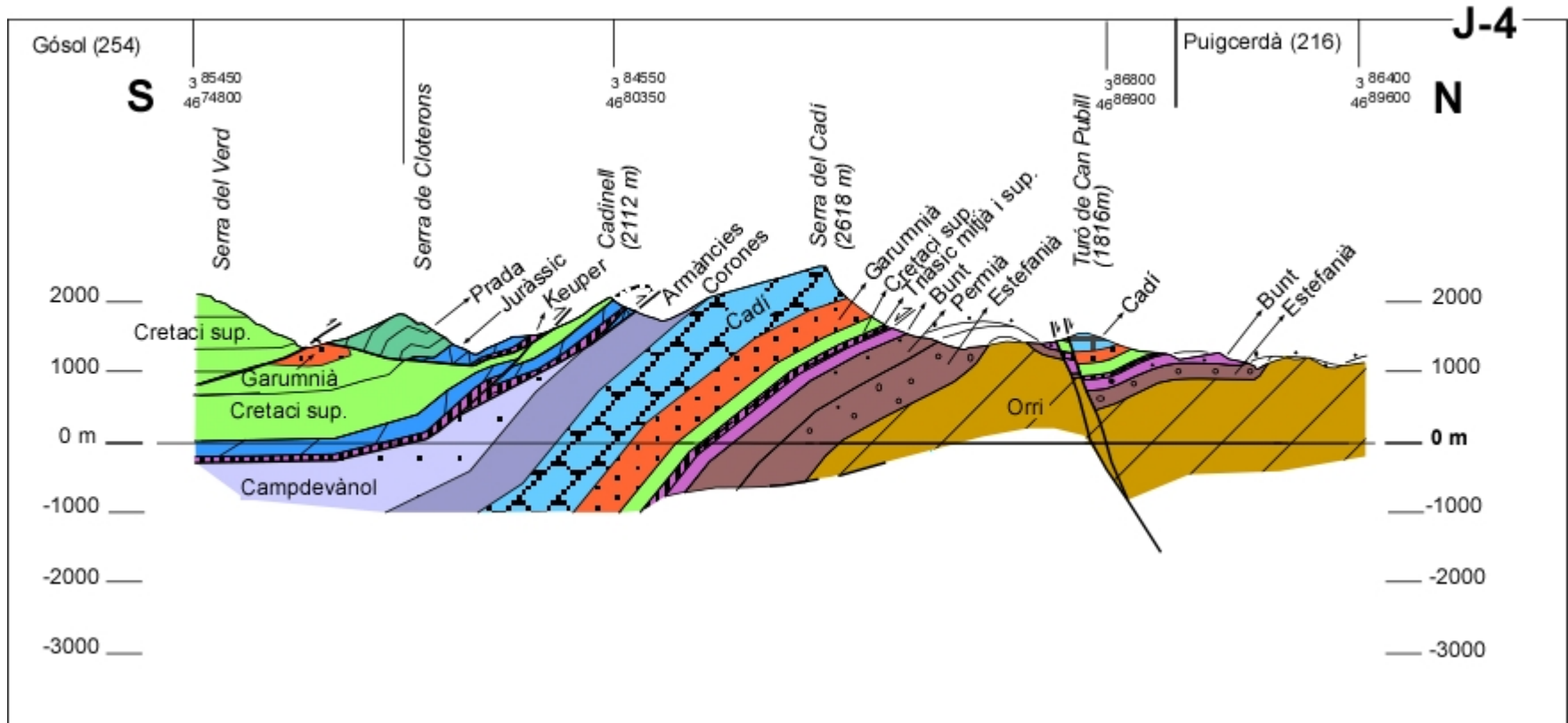
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



# SEÇÕES GEOLÓGICAS

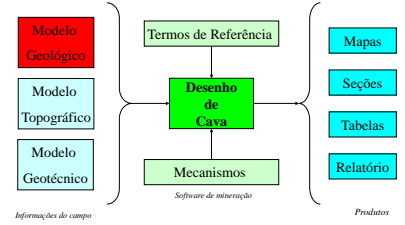




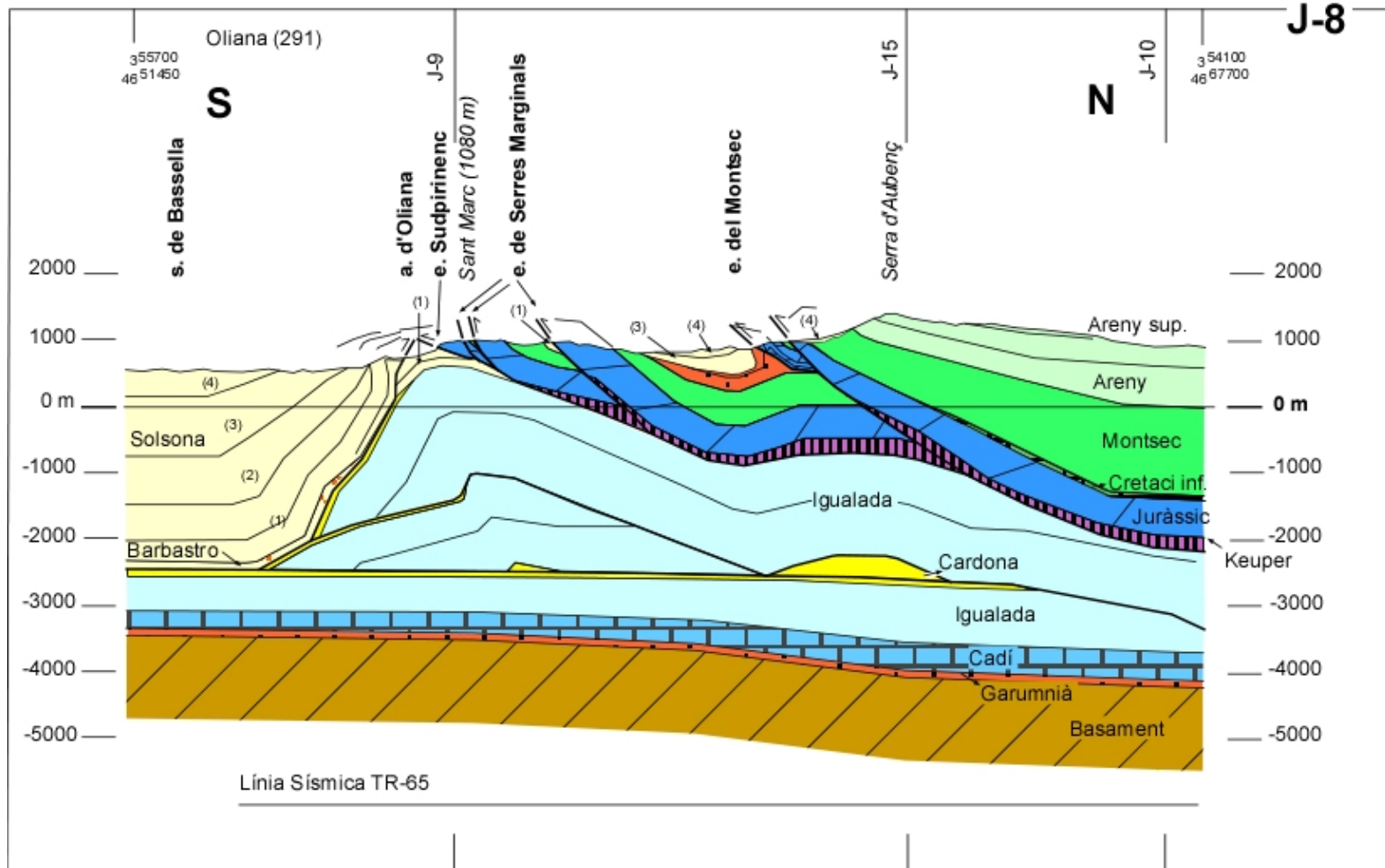
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

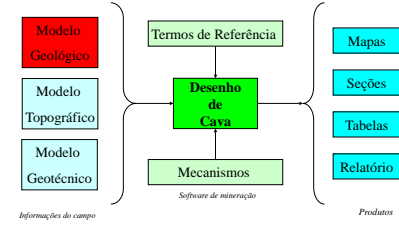
ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



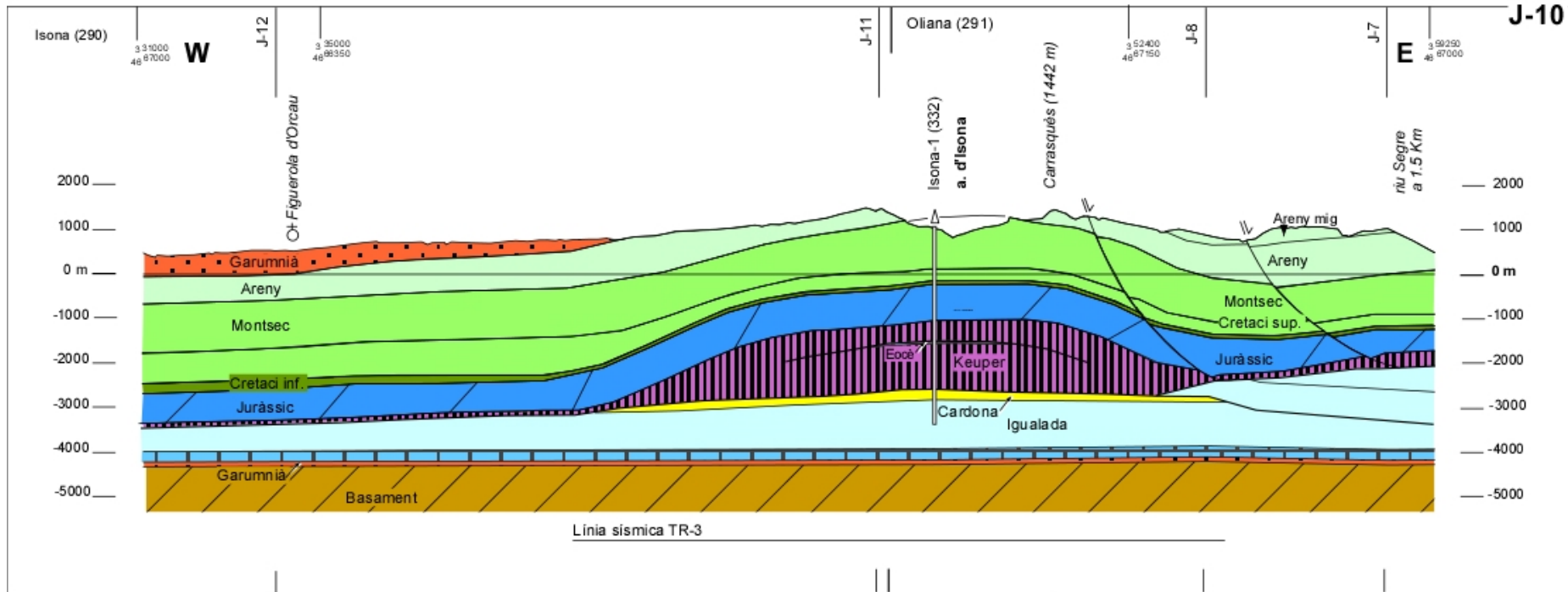
# SEÇÕES GEOLÓGICAS







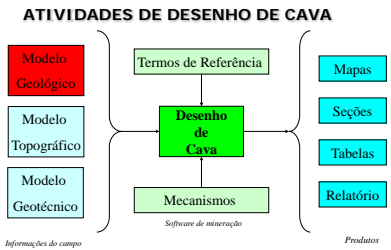
# SEÇÕES GEOLÓGICAS



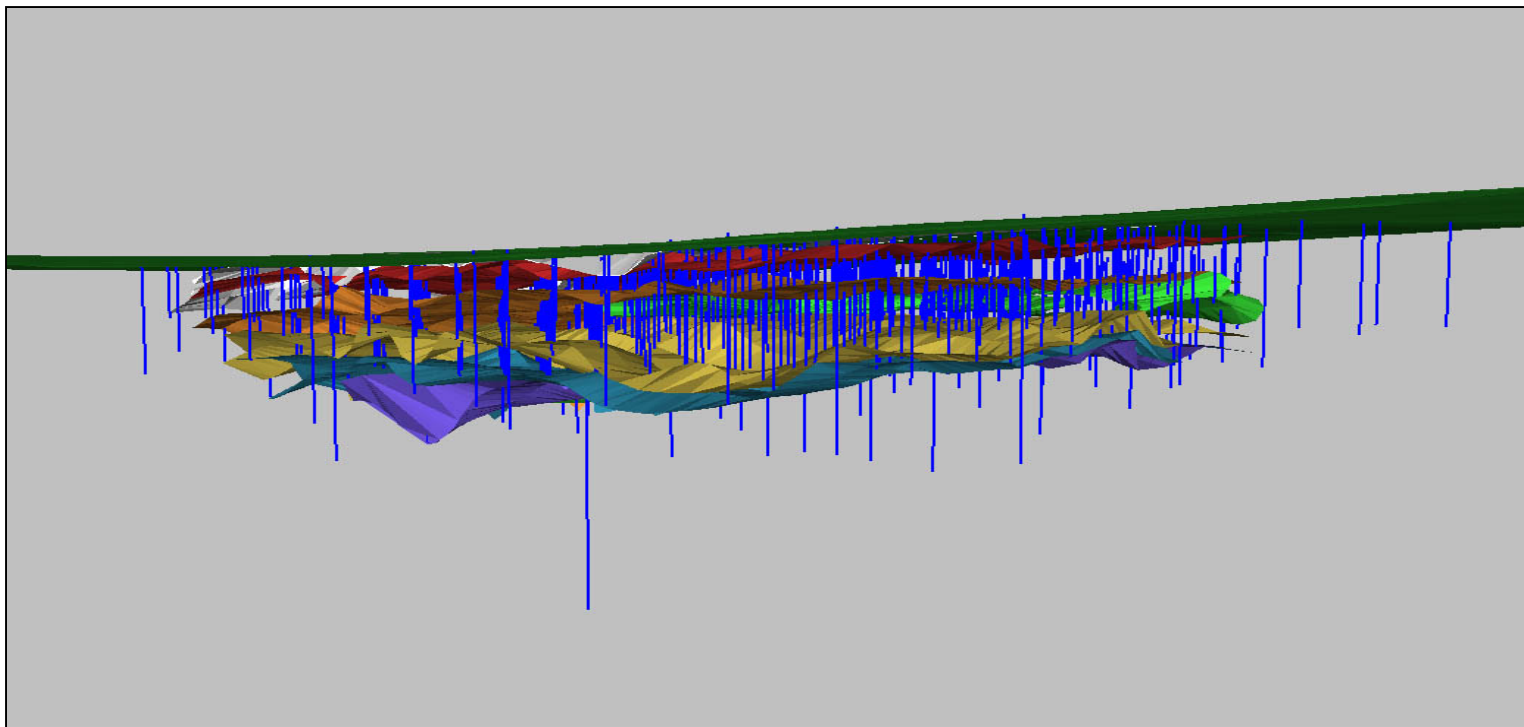


ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto



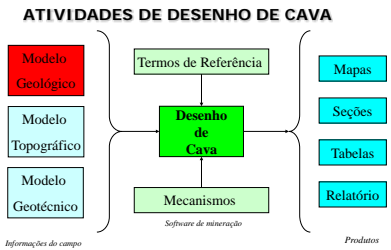
# MODELAGEM GEOLÓGICA (SOLIDOS)



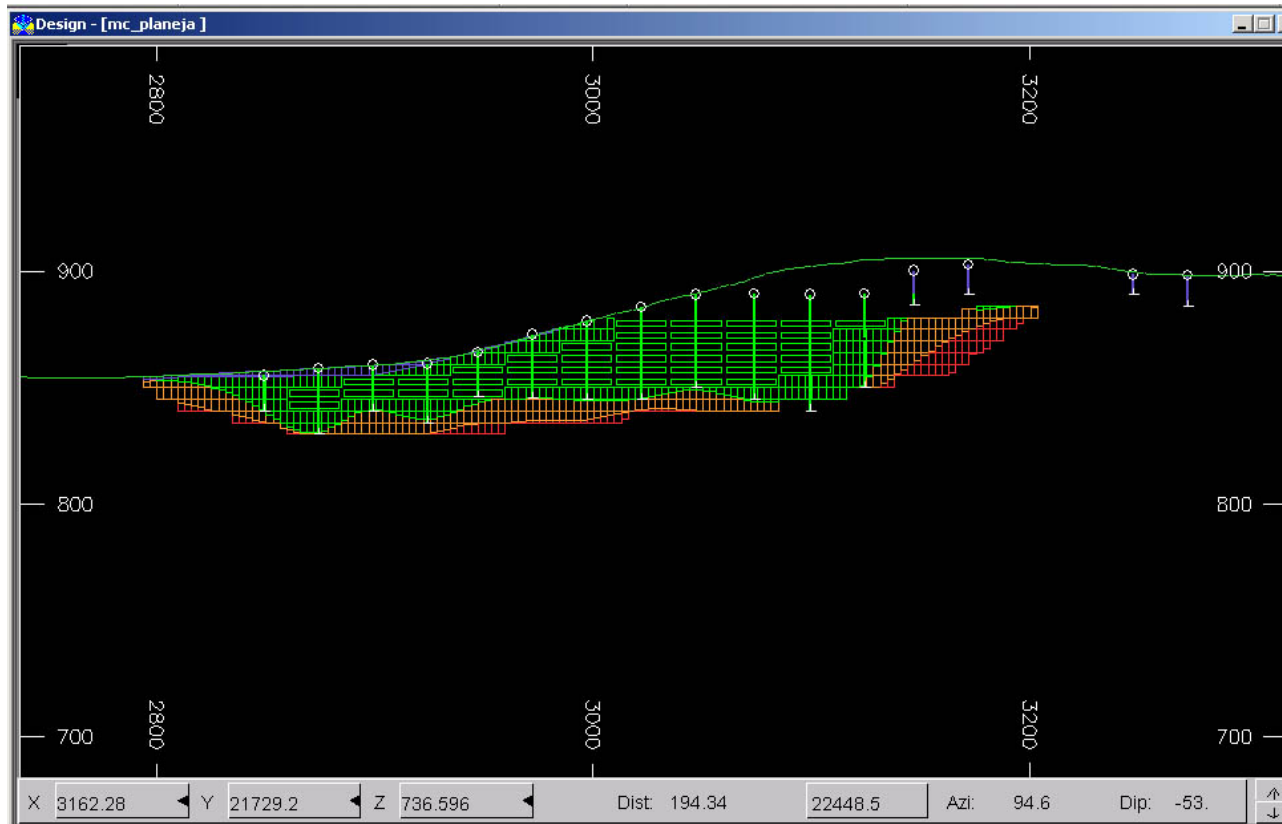


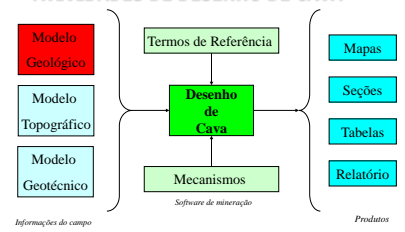
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

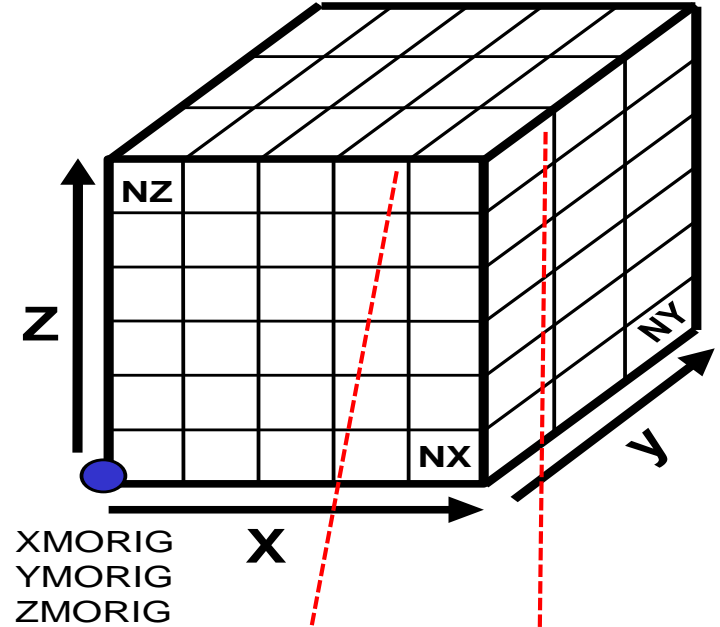


# MODELAGEM GEOLÓGICA (MODELO DE BLOCOS)





# MODELO DE BLOCOS



## Definição do tamanho dos blocos:

Antes de criar um modelo é necessário definir a região onde vai ser construído o modelo e o tamanho dos blocos. Esta informação é o Protótipo de Modelo.

## Campos do modelo:

**XMORIG, YMORIG, ZMORIG:** Coordenadas de origem do modelo.

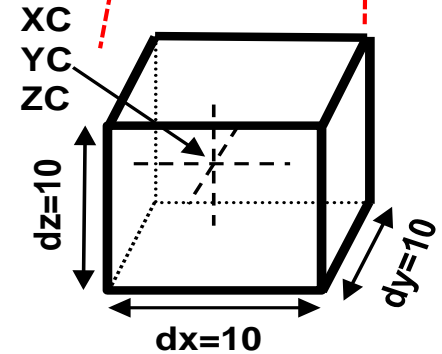
**XINC, YINC, ZINC:** Dimensões das células.

**NX, NY, NZ:** Número de células inteiras nas direções X, Y, Z.

**XC, YC, ZC:** Coordenadas do centro do bloco.

**IJK:** Código que identifica o bloco com base em sua posição espacial

**Atributos:** atributos necessários, litológicos, geológicos, teores e valores econômicos.

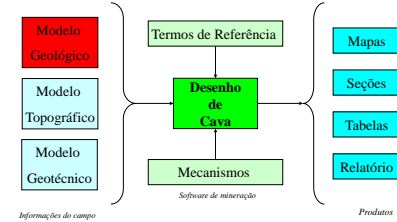




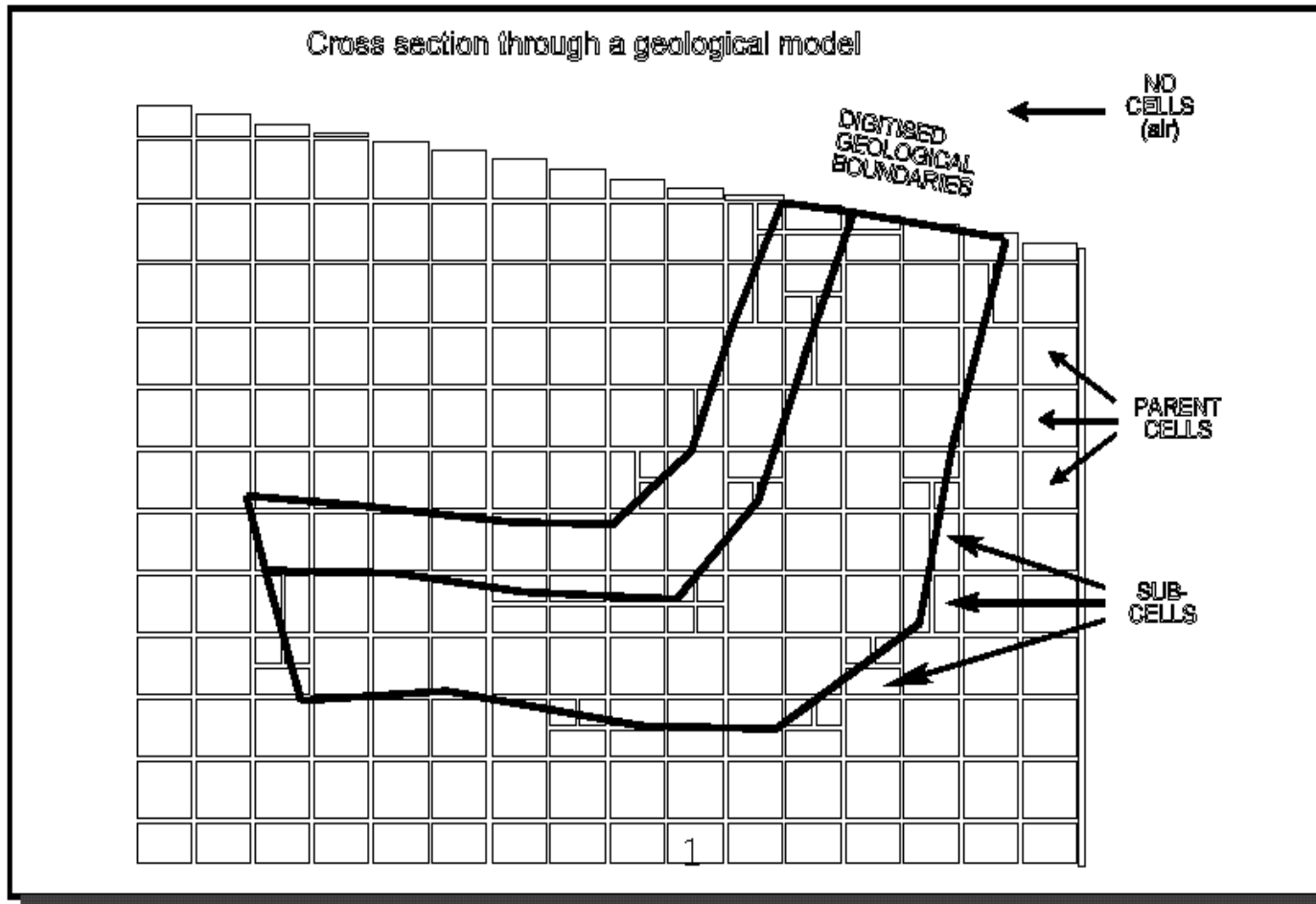
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



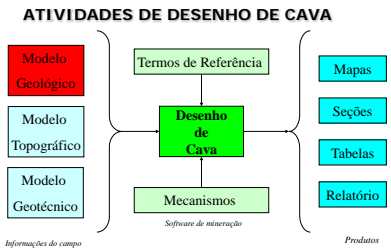
# MODELO DE BLOCOS



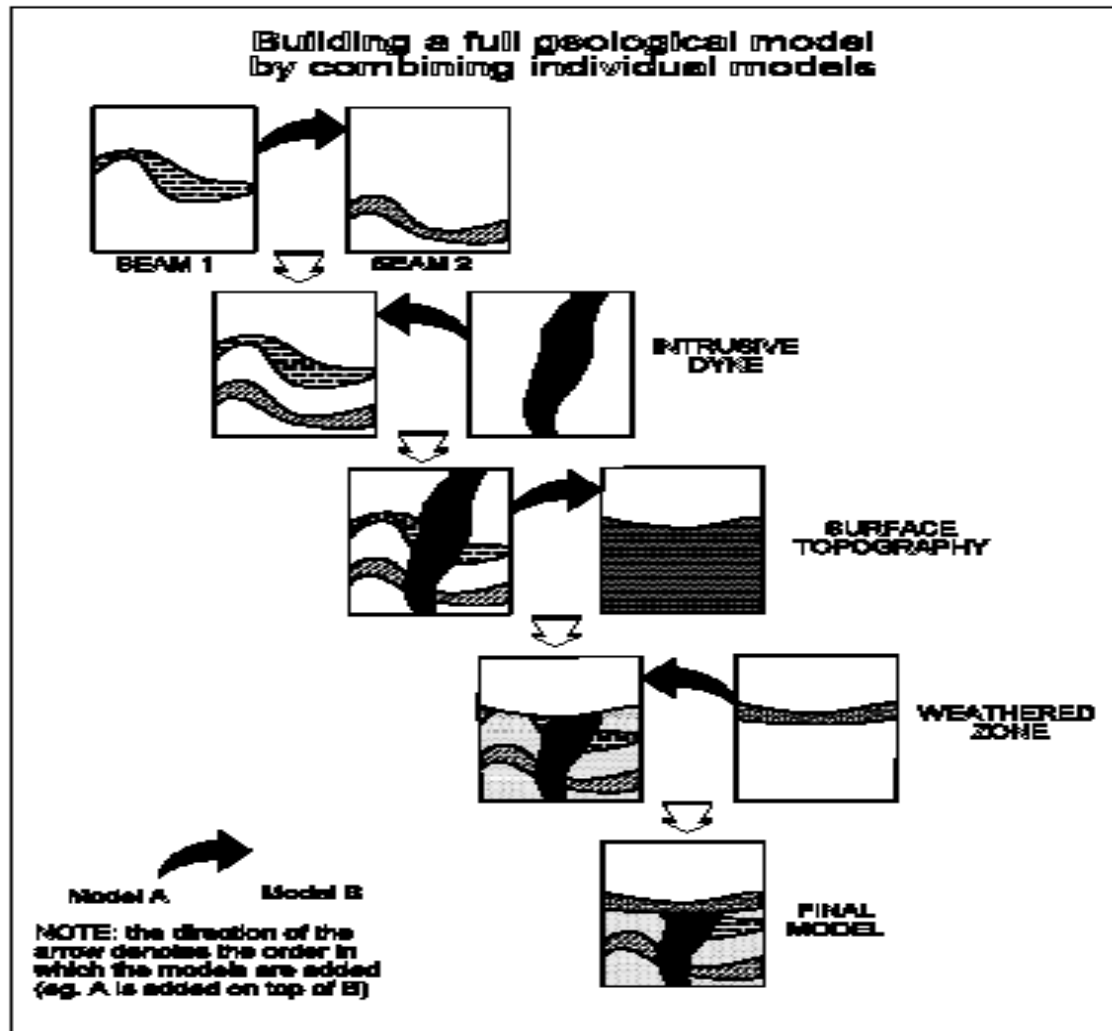


ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto



# MODELO DE BLOCOS

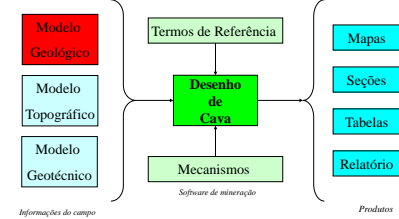




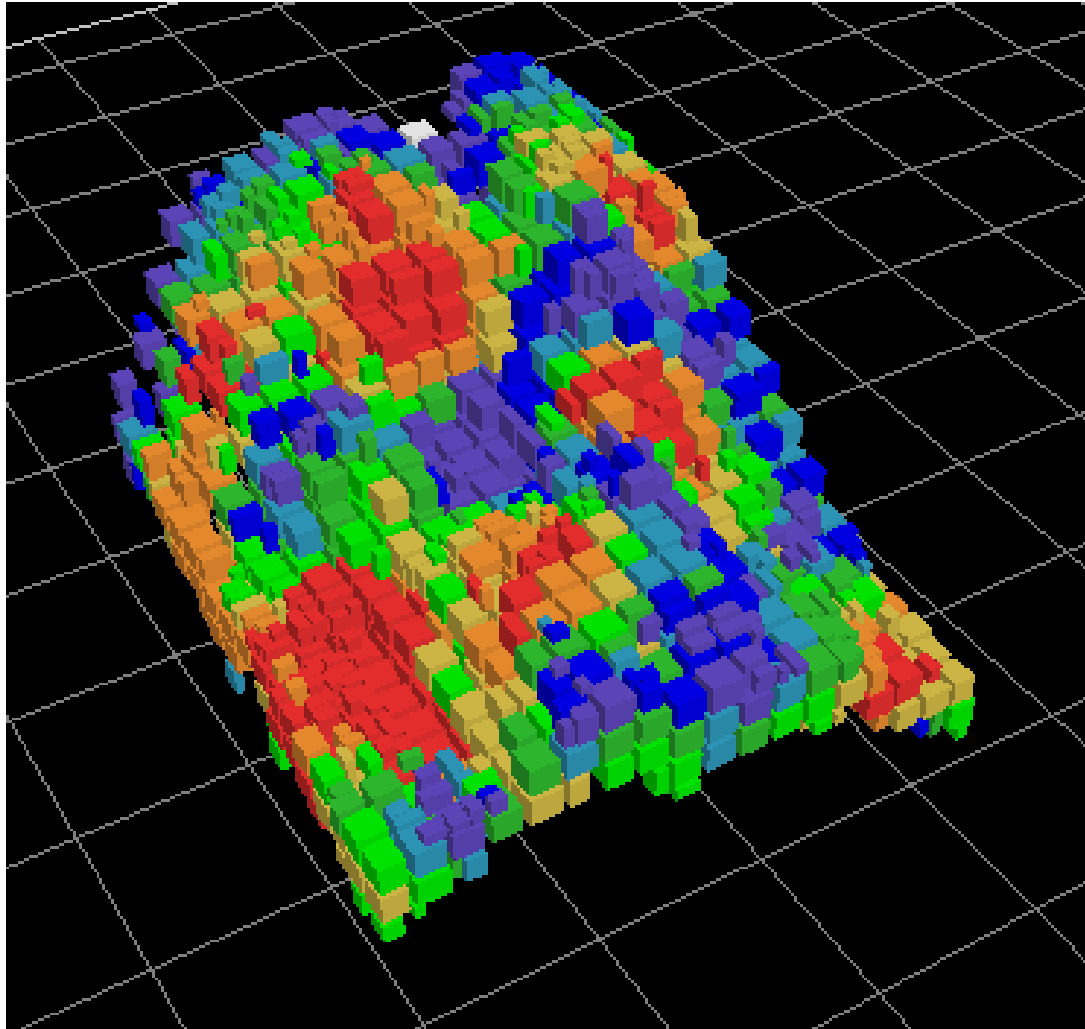
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

#### ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



# MODELO DE BLOCOS

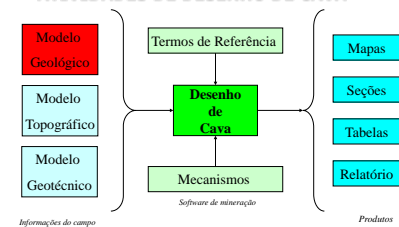




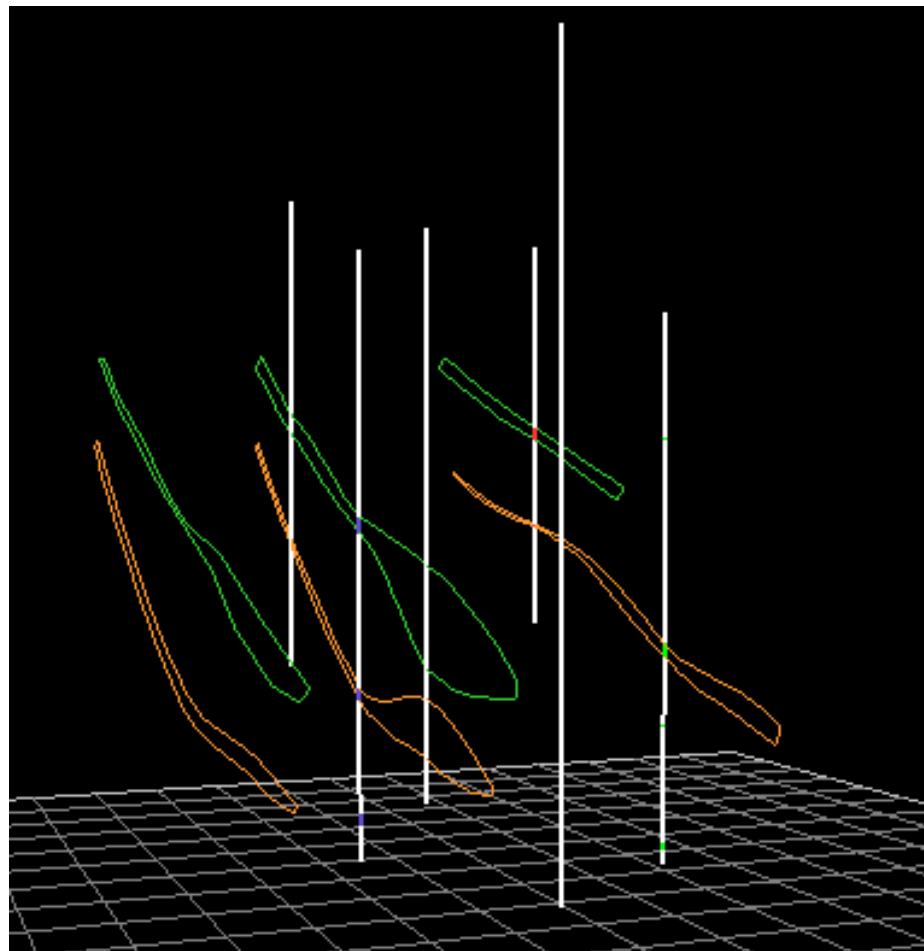
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



# EXEMPLO DIDÁTICO

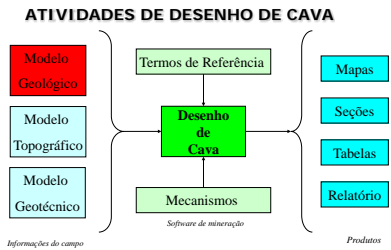






ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto



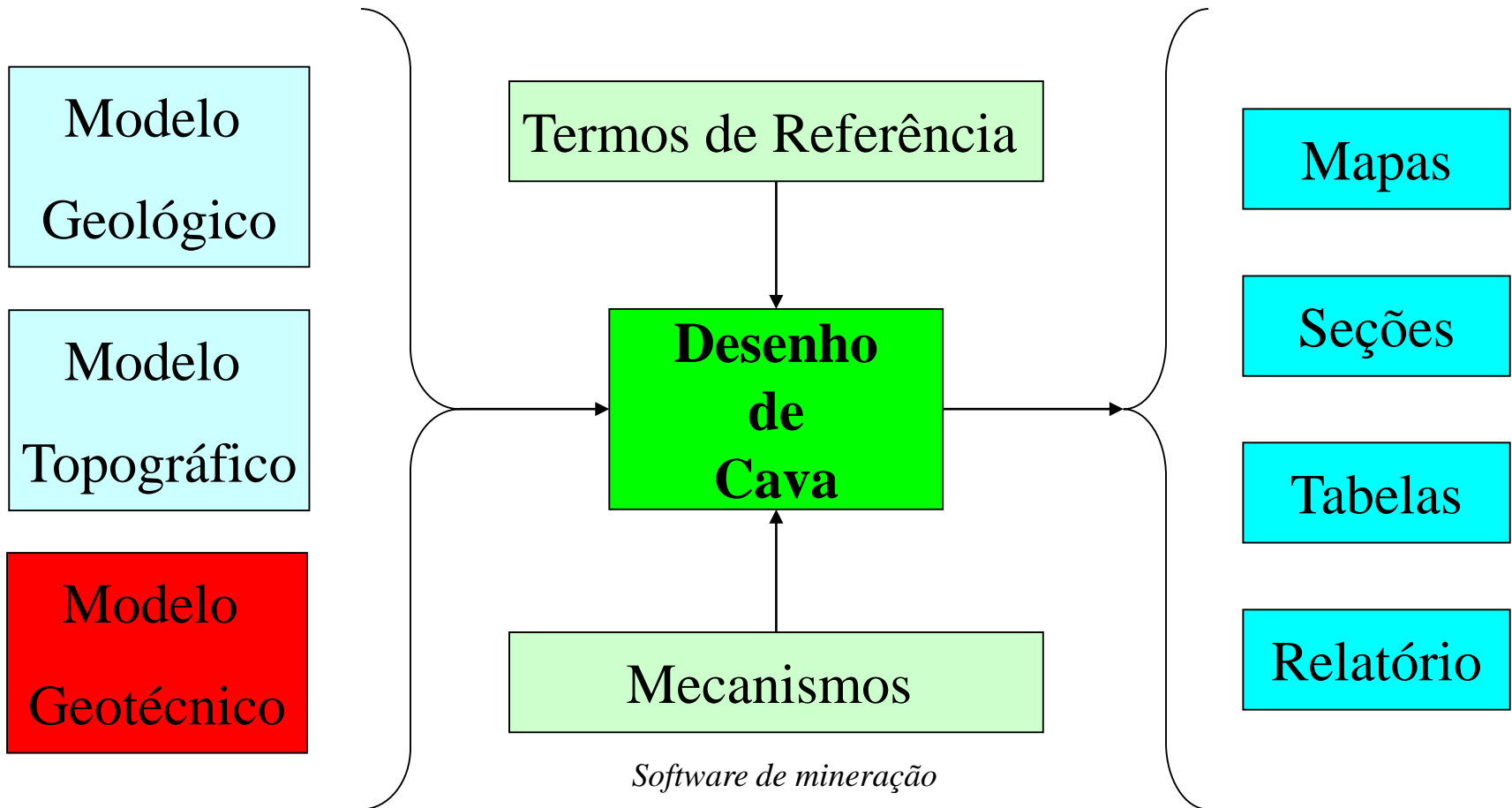
# COMENTÁRIOS SOBRE MODELAGEM GEOLÓGICA

- Tomada de decisão depende da qualidade das informações
- “Information is not knowledge” – somente informações corretas não é suficiente
- Revisar definição de “modelo”
- Ver o video:

<http://www.ctech.com/index.php?page=geology>



# ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



*Informações do campo*

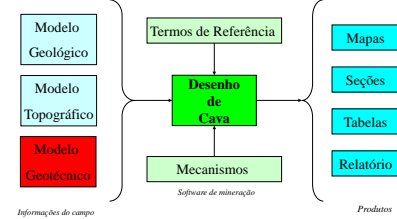
*Produtos*



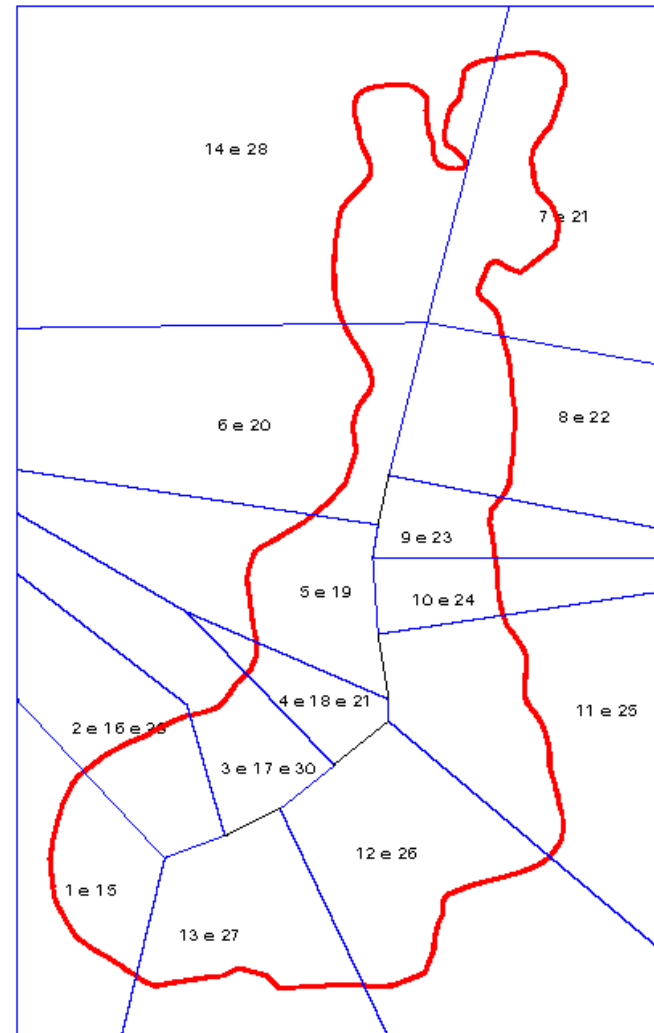
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



# SETORIZAÇÃO GEOTÉCNICA

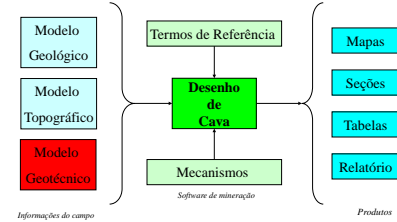




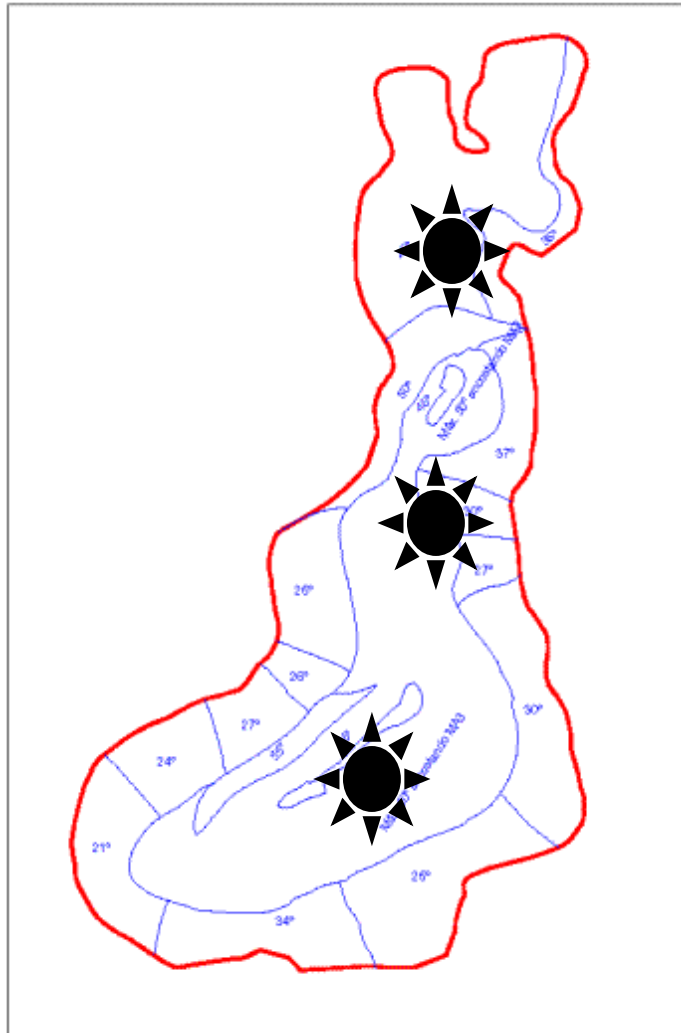
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

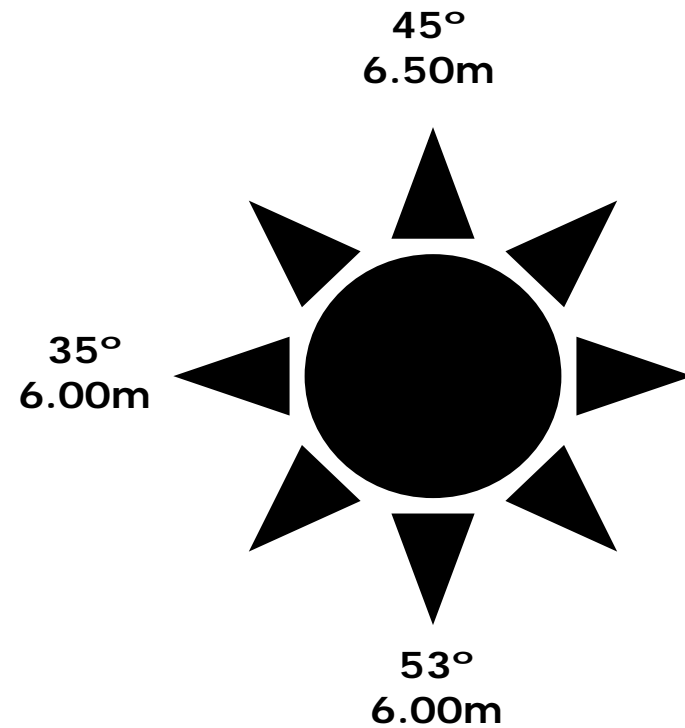
ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA

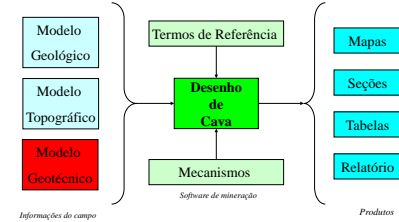


## USO DE "rosettes"

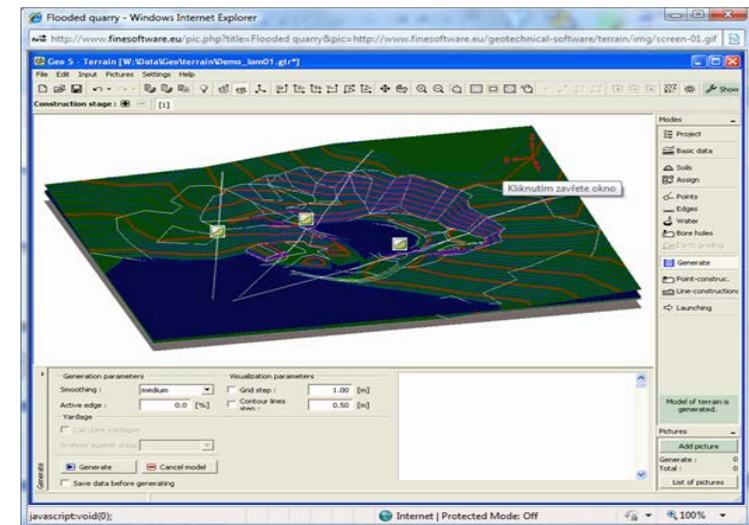
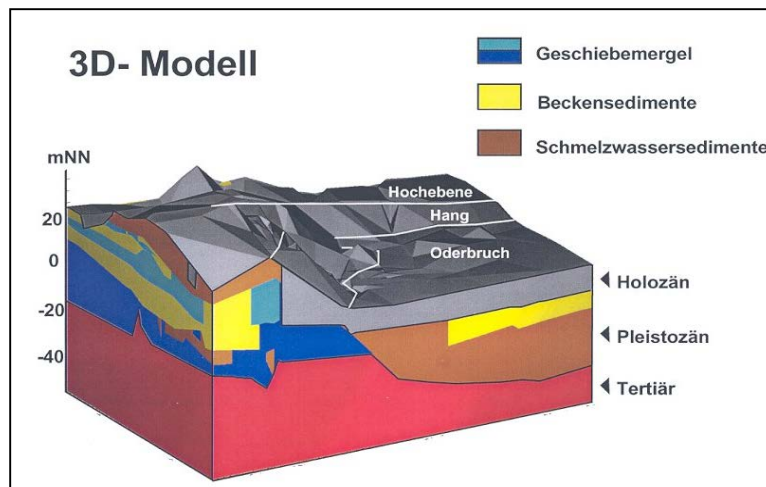
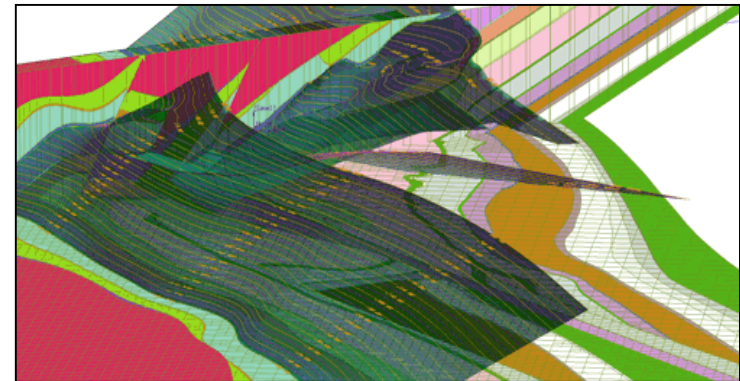
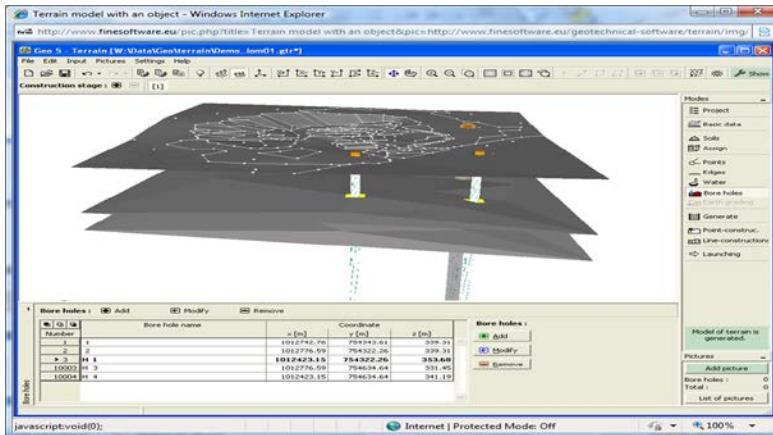


Exemplo:





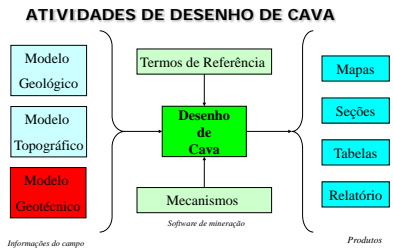
# Manuseio do Modelo Geotécnico





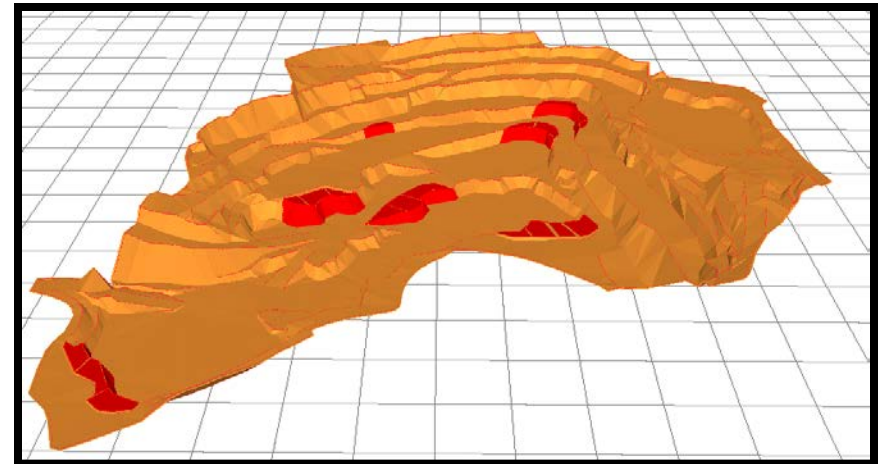
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

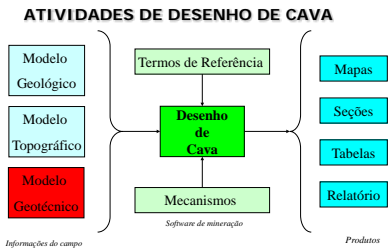
PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto



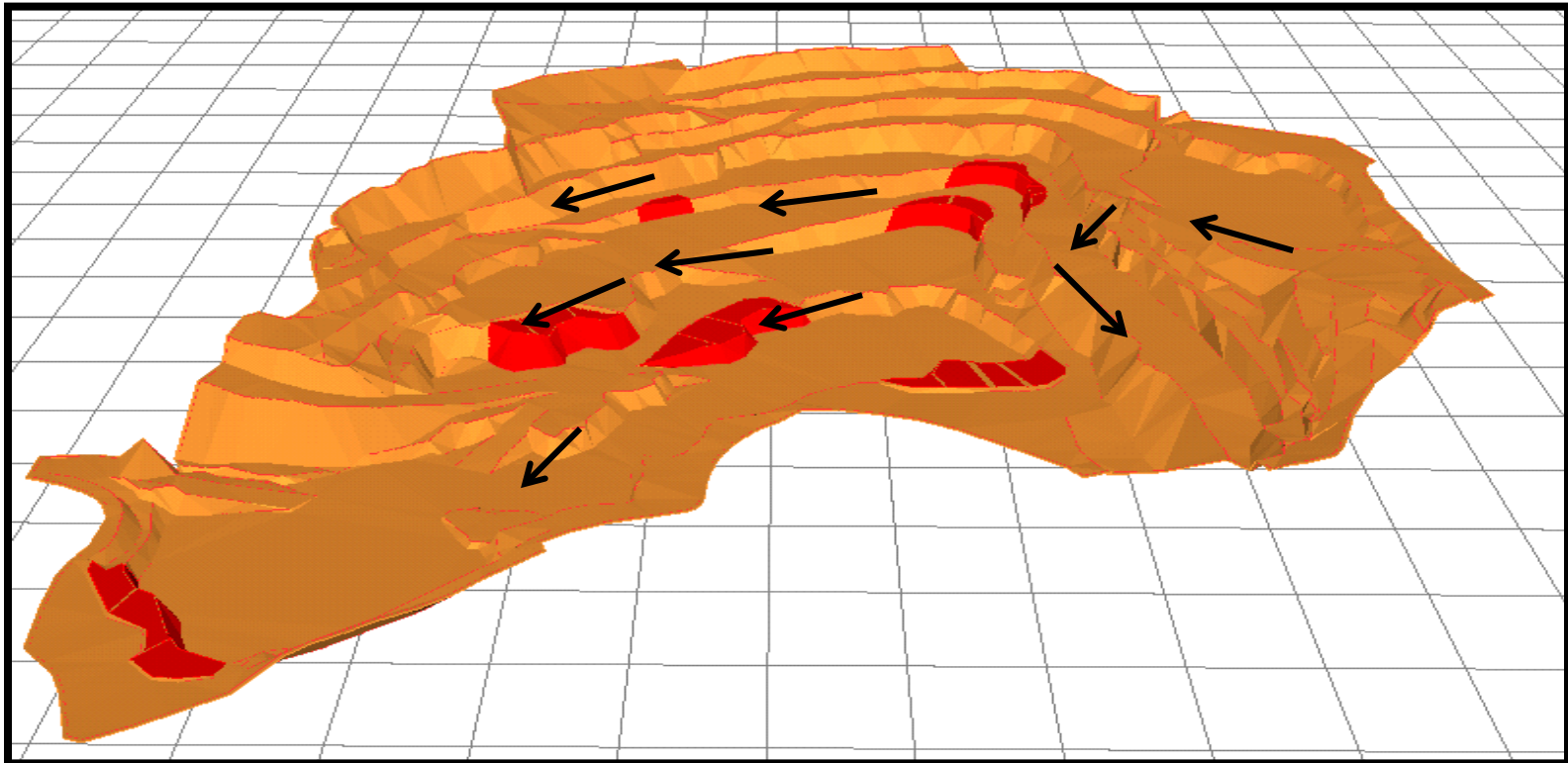
# DRENAGEM

- Nos bancos
- Na cava
- Estação Chuvosa
- Exemplos (deslizamento, drenagem KJS)
- Outros fatores

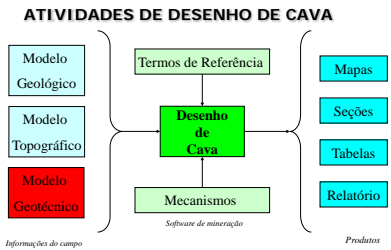




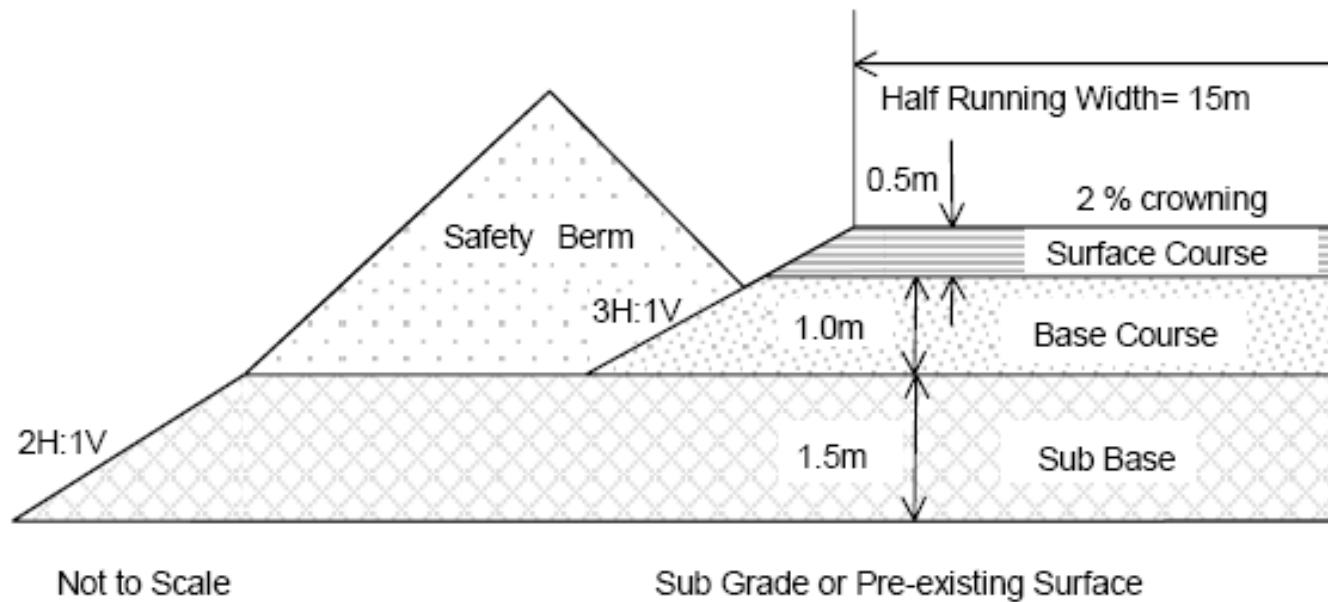
# DRENAGEM NOS BANCOS



- Valores típicos: inclinação de 0.5% a 1% nos bancos



# DRENAGEM EM RAMPAS E ACESSOS

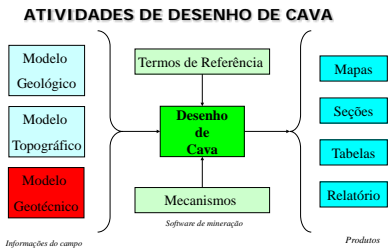




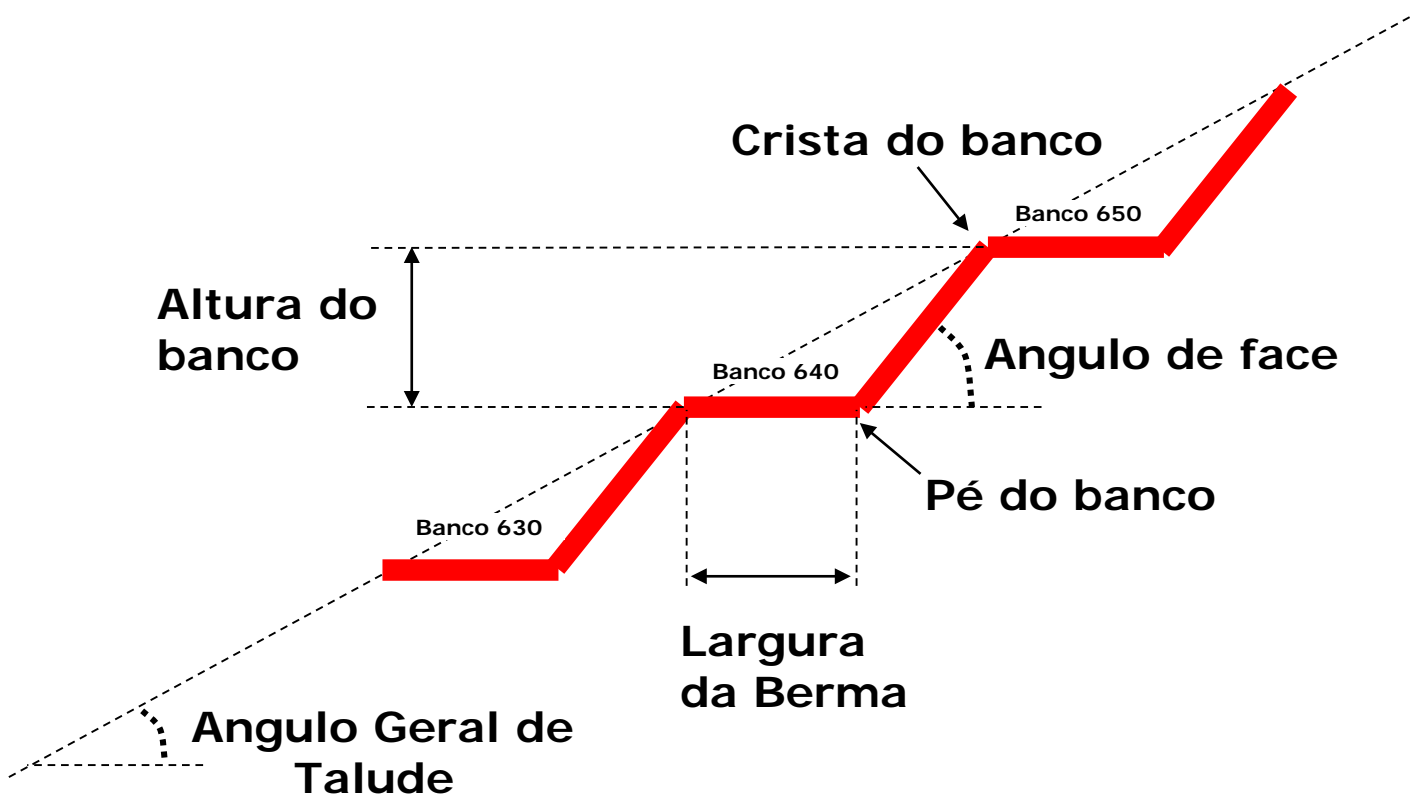


ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto



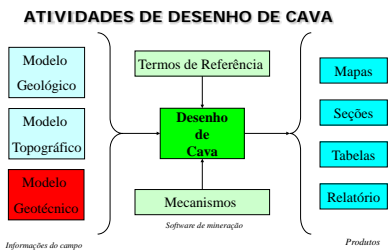
# NOMENCLATURA USUAL





ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto



# EXEMPLOS

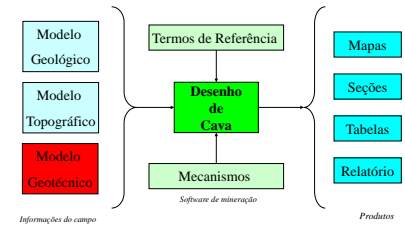




ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



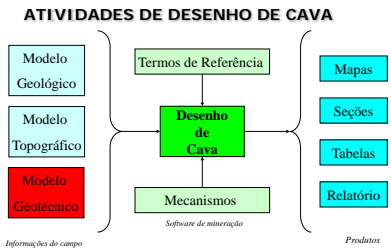
# EXEMPLOS





ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto



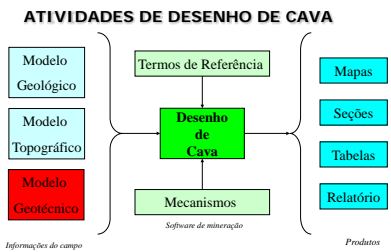
# EXEMPLOS





ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto



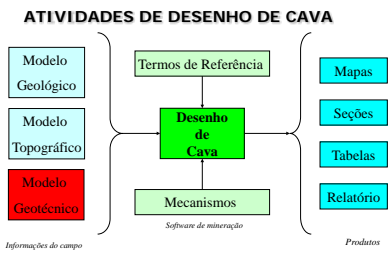
# EXEMPLOS





ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto



# EXEMPLOS

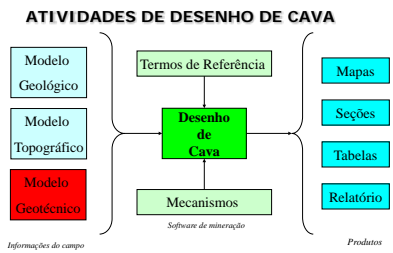




ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

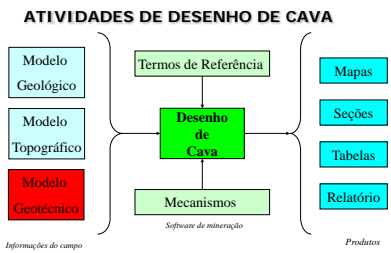
# EXEMPLOS





ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto



# EXEMPLOS

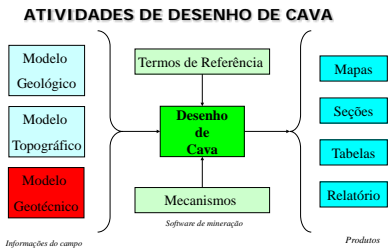






ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto



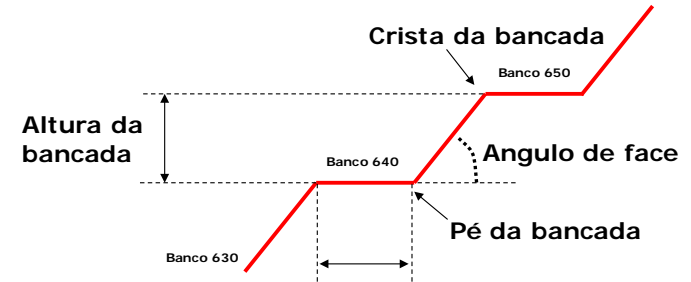
# EXERCÍCIO

## Drenagem na rampa

Q1: É necessária?

Q2: Porque?

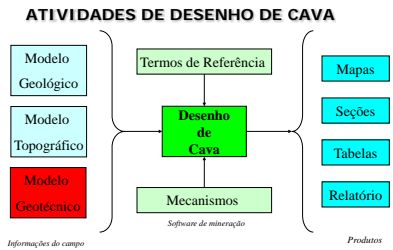
Q3: Como fazer?





ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto



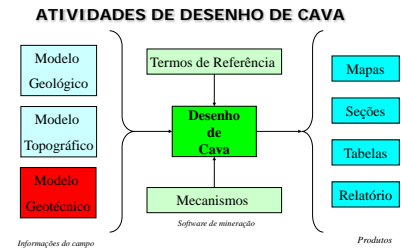
## EXEMPLO

- Estudo de caso da ruptura do Morro do Patrimônio, Mina de Aguas Claras, BH, em 1992



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto



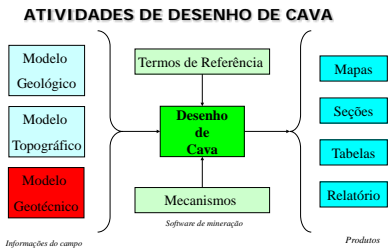
## Exemplo: Ruptura do Morro do Patrimônio

- O Morro do Patrimônio encontra-se em BH e divide a mina de Águas Claras de áreas urbanas vizinha;
- No dia 29/Abril/1992, às 05:50 am ocorreu a ruptura do talude nordeste da cava;
- A ruptura teve 30 m de largura na crista e 240m de altura;
- Volume deslocado: 2 milhões de toneladas.



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto



# Vista antes da ruptura

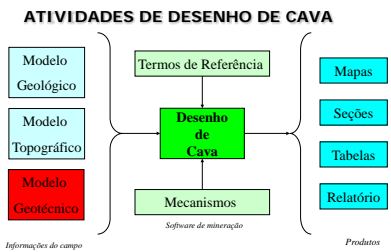


Nota: observar a complexidade do talude e da configuração da cava



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto



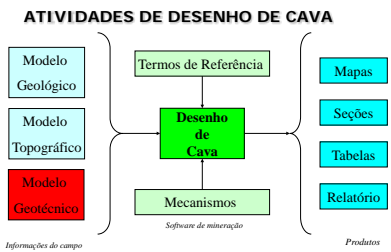
# Vista após a ruptura





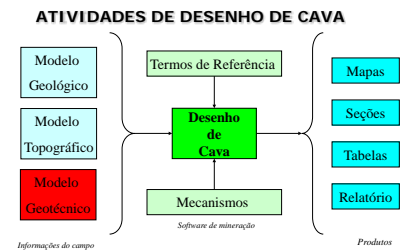
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto



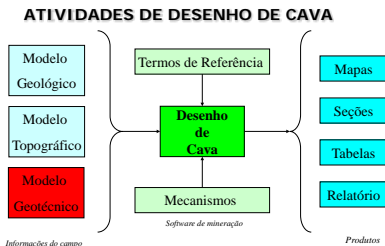
# Detalhe da base da ruptura



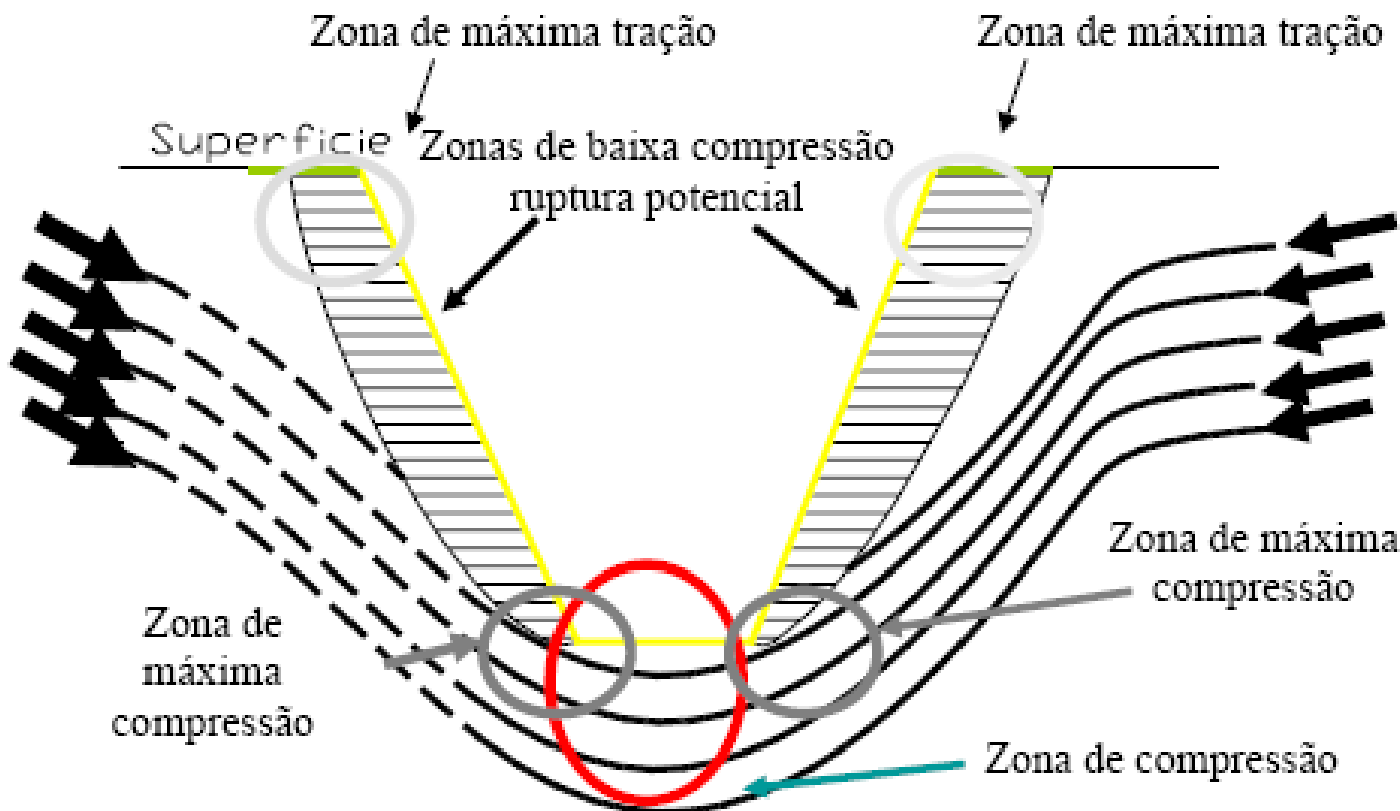


## Causas Prováveis

- Desde o aparecimento dos primeiros sinais de instabilidade até a ruptura total foram decorridos 21 dias, sendo que a ruptura ocorreu de forma brusca, na madrugada do último dia.
- A geologia no local é composta de camadas de hematita e filito de consistência friável, em contatos ondulados e concordantes com a atitude geral do talude.
- Incremento e concentração de tensões na porção inferior da cava, o que caracterizou o caráter explosivo da ruptura
- Rápido decréscimo da resistência do contato entre as litologias em função da presença de água nas fissuras expandidas após o avanço da cava
- Efeito de convexidade da topografia anterior à ruptura



# Campo de tensões em taludes de cava



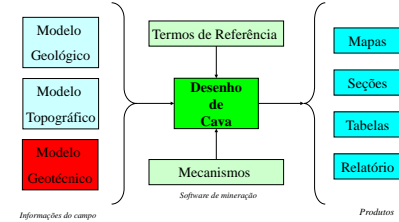




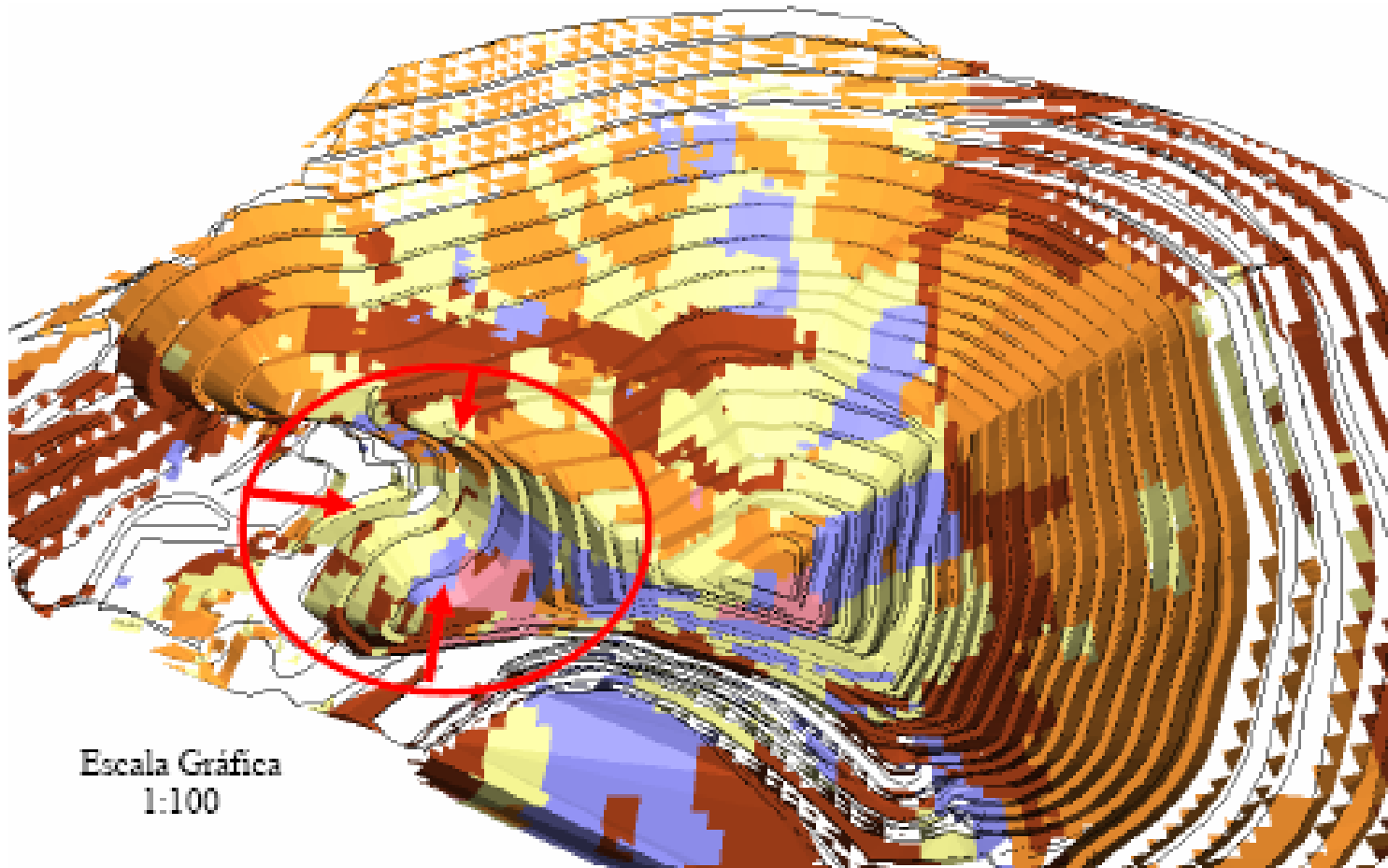
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



# Influência da configuração da cava



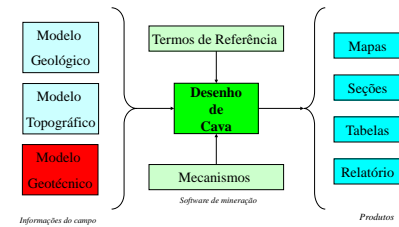
Escala Gráfica  
1:100



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



# Ruptura do Morro do Patrimônio (1992)

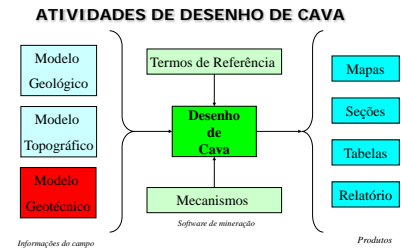


Incluir: imagens da RECUPERAÇÃO DO TALUDE pós-ruptura



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto



## Revisão

- O que fazer após uma ruptura?
- É possível **evitar** uma ruptura similar?
- Qual **o procedimento** que vc recomendaria para evitar rupturas e escorregamentos?
- O que acontece com o **preço da ação** de uma empresa de mineração que sofre uma ruptura de taludes?
- Esse problema é exclusivo de **minas a céu-aberto**?