



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI-3325

LAVRA DE MINAS: LAVRA A CEU ABERTO

AULA 3 e 4 - 2019

Fluxo de Informações de Desenho de Cava

Dados Topográficos, Geológicos e Geotécnicos

Prof. Giorgio de Tomi e Prof. Dennis Travagini



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

SUMARIO

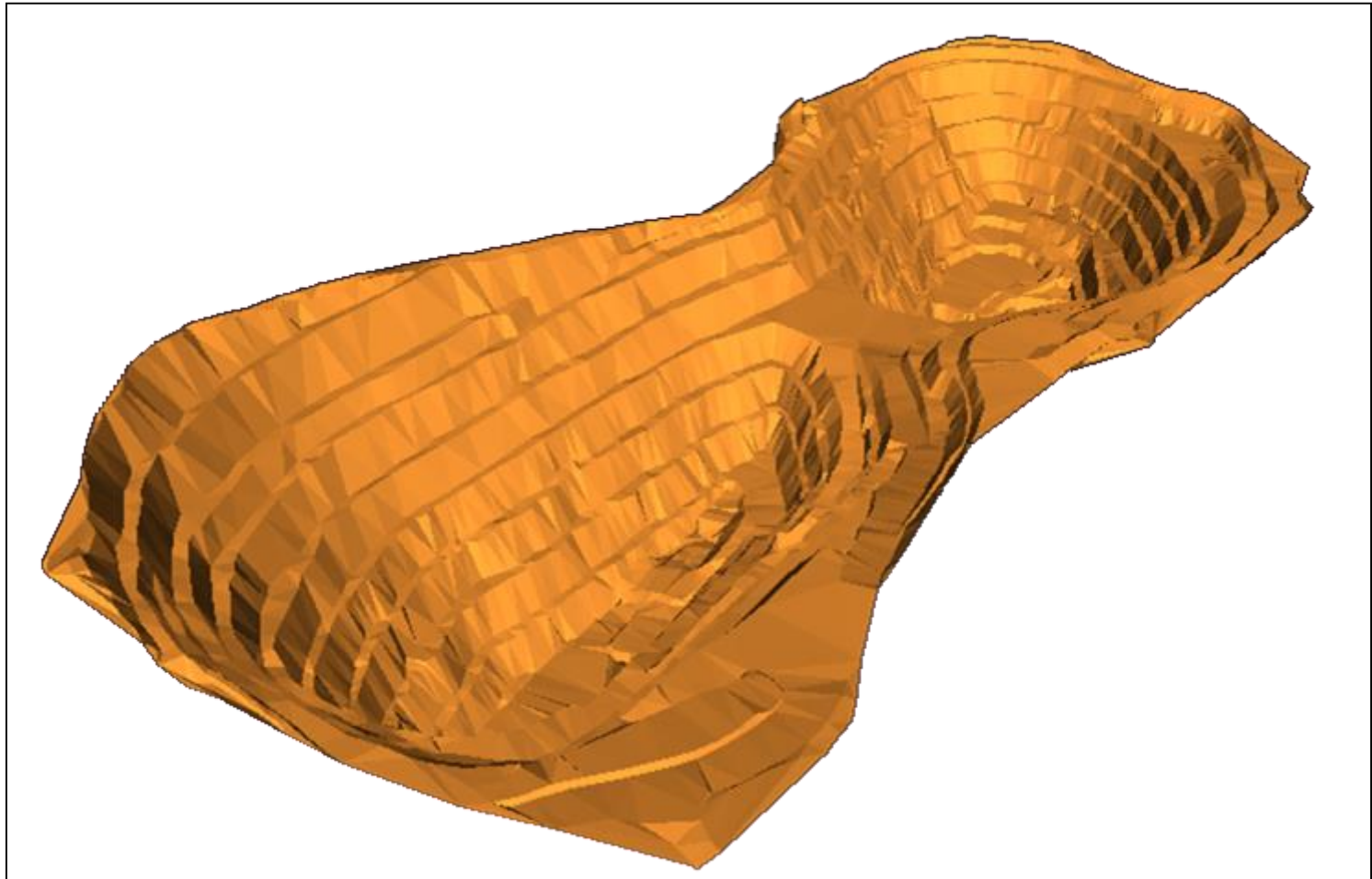
- Fluxo de Informações para Desenho de Cava
- Fontes de dados
 - Topográficos
 - Geológicos
 - Geotécnicos
- Exemplos
- Atividade



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

DESENHO DE CAVA

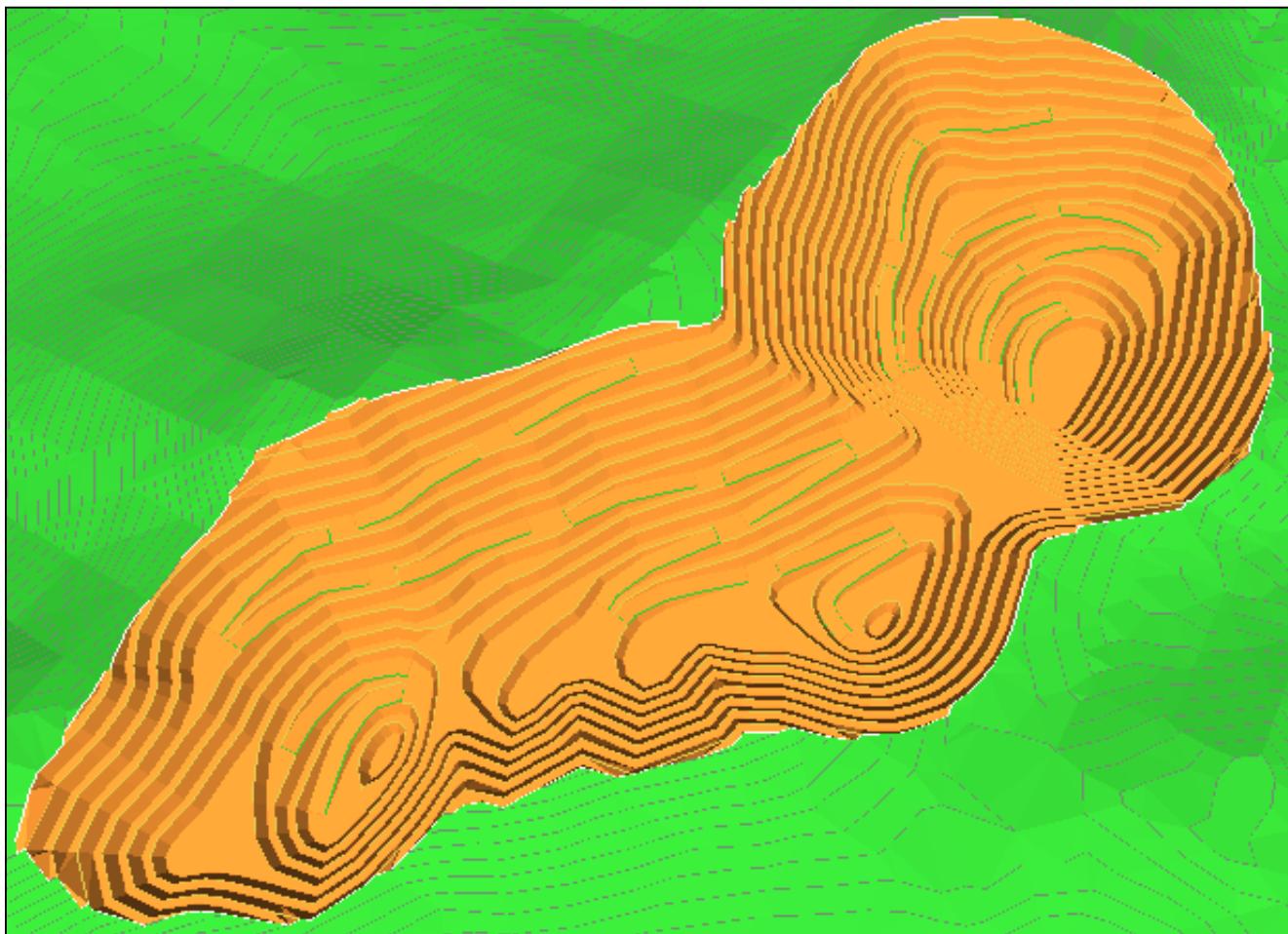




ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

DESENHO DE CAVA

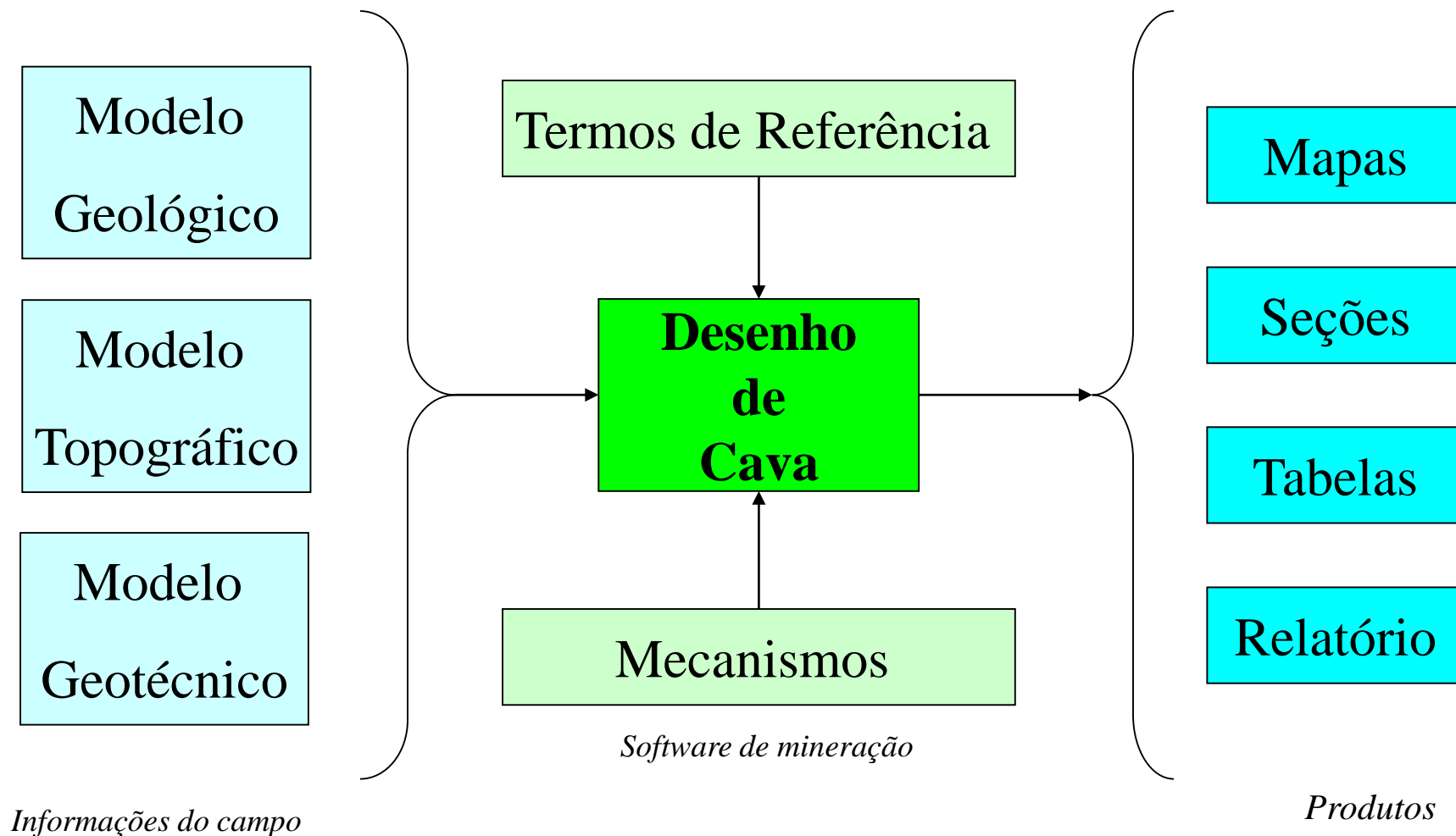




ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

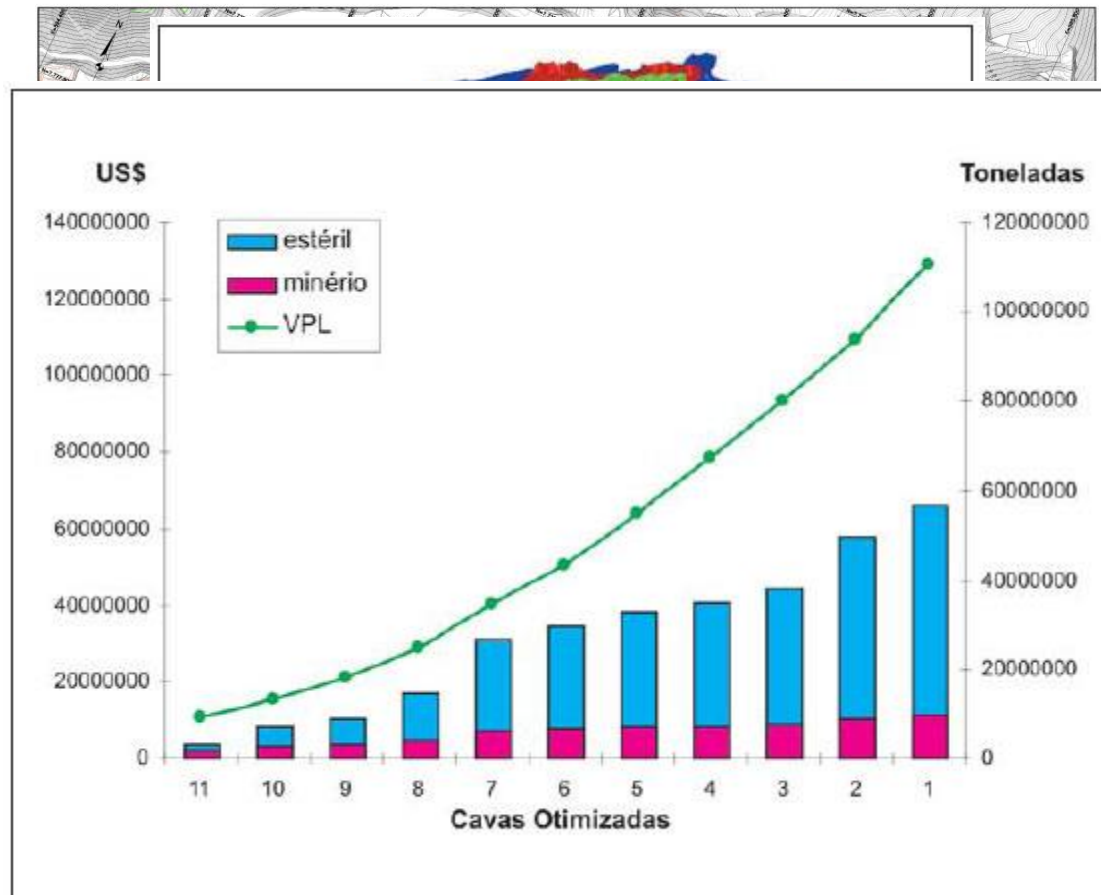
PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



Atividades de Desenho de Cava

- Produtos:
 - Mapas
 - Seções
 - Tabelas
 - Relatórios
 - Imagens 3D



Atividades de Desenho de Cava

- Informações:
 - Técnicas
 - Financeiras
 - Socioambientais*

Atividades de Desenho de Cava

- Informações Técnicas
 - Modelo geológico
 - Modelo topográfico
 - Modelo geotécnico
 - Equipamentos a serem utilizados
 - Etc.

Atividades de Desenho de Cava

- Informações Financeiras
 - Receita
 - Custos (OPEX e CAPEX)
 - Teor de corte
 - Taxa de retorno
 - Etc.

Atividades de Desenho de Cava

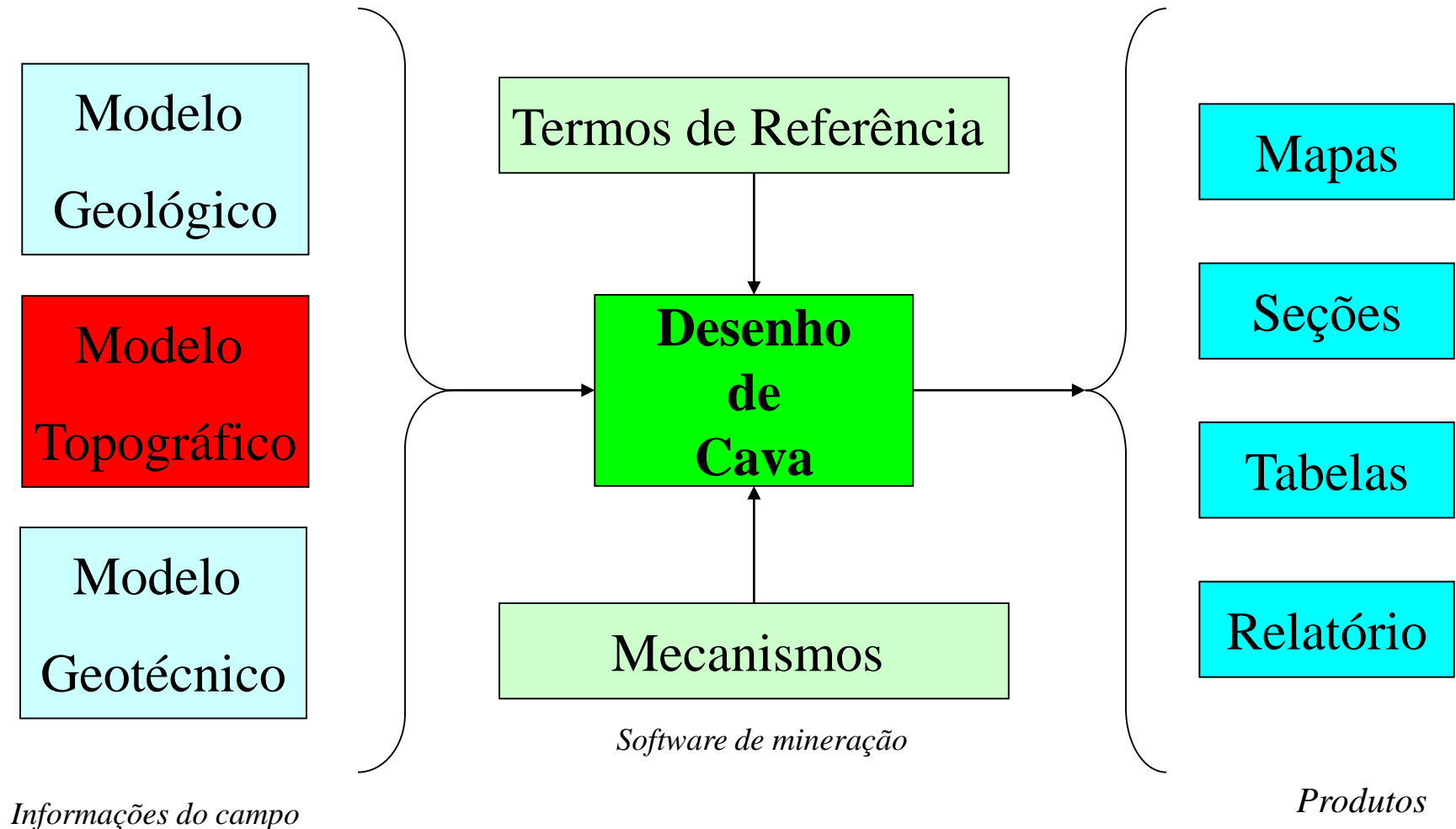
- Ferramentas
 - GEMS (da empresa GEMCOM)
 - SURPAC (da empresa GEMCOM)
 - VULCAN (da empresa MAPTEK)
 - MICROMINE (da empresa MICROMINE)
 - Outros (SKETCHUP da empresa GOOGLE).



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA

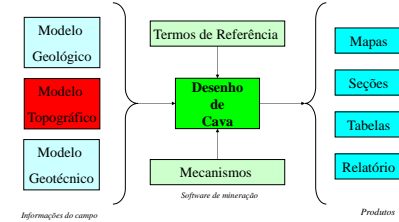




ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

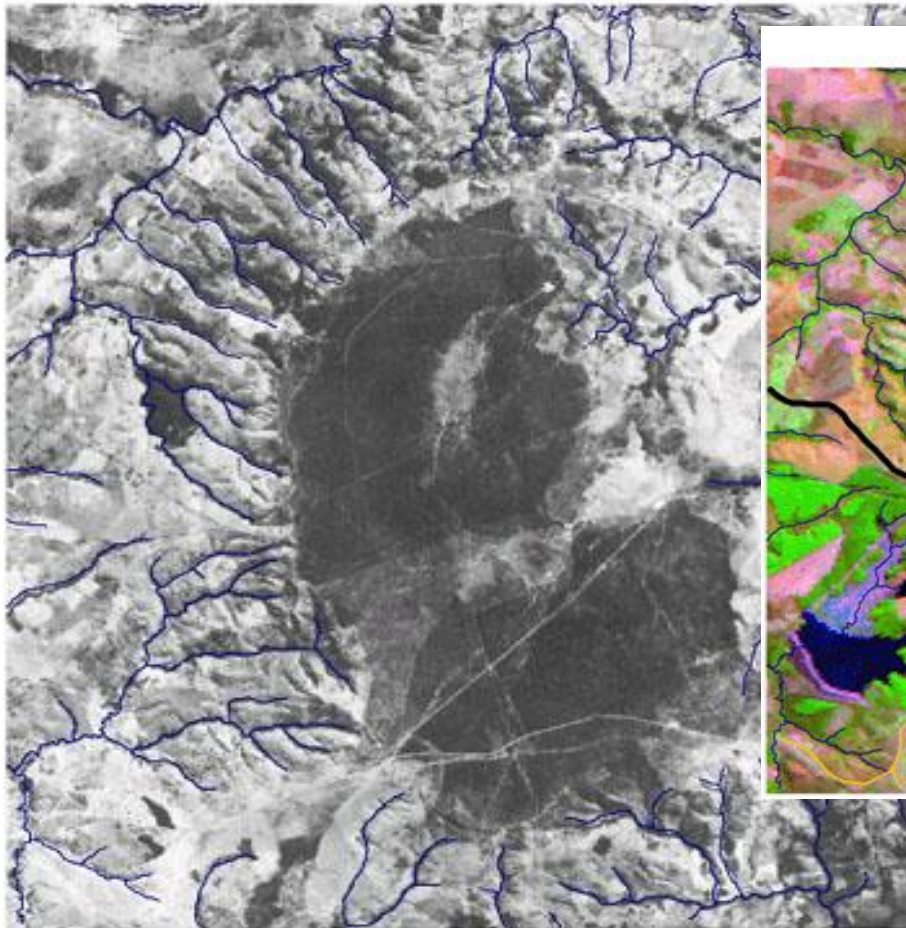
PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA

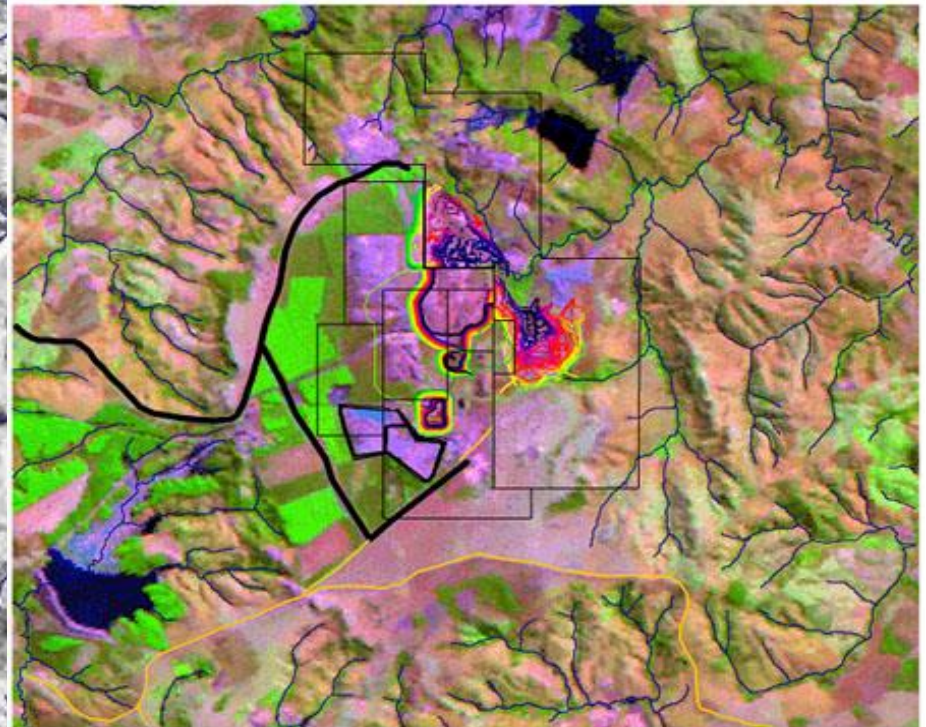


LEVANTAMENTO POR IMAGENS DE SATÉLITE

ft_domo resampled



domo_cl_sat resampled

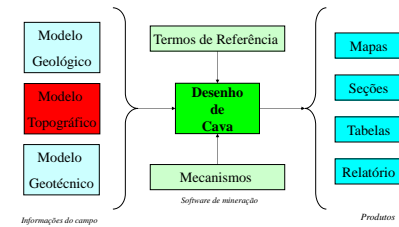




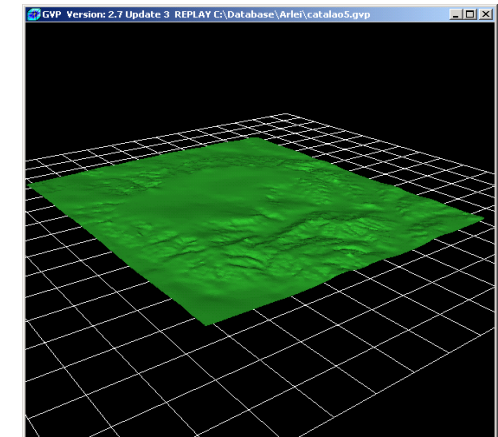
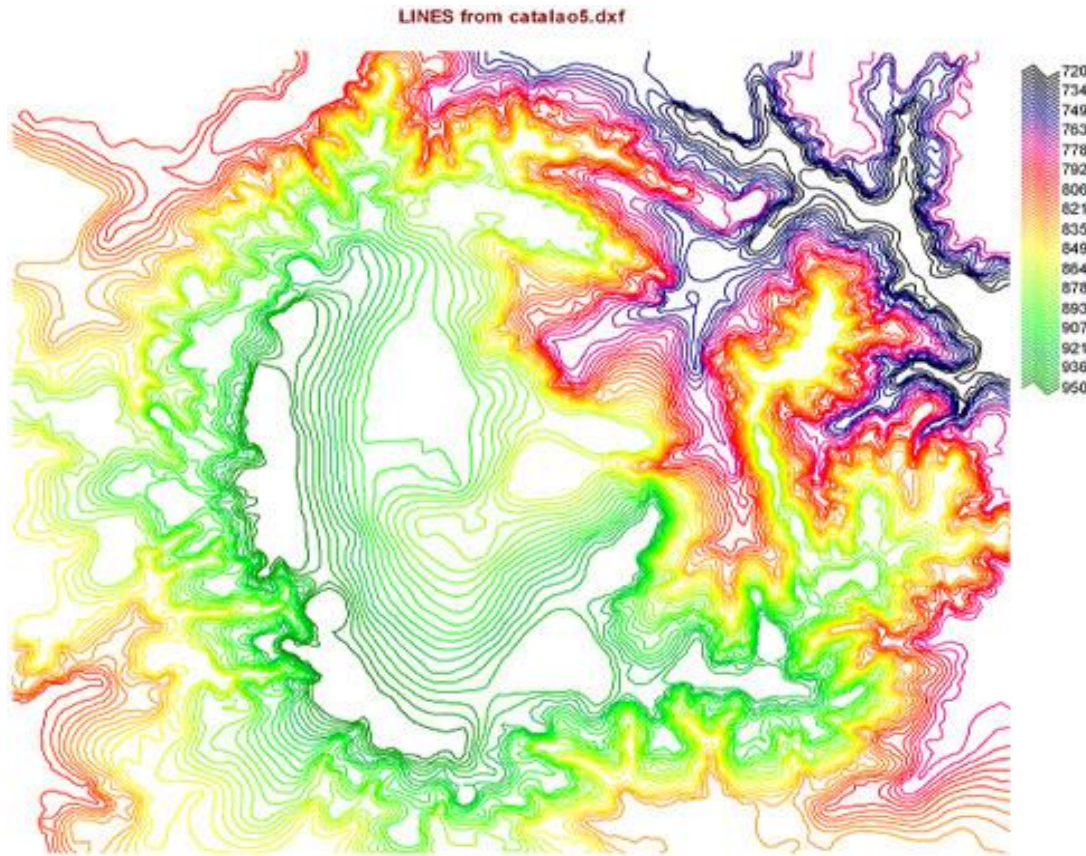
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



INTERPRETAÇÕES A PARTIR DE FOTOS AÉREAS

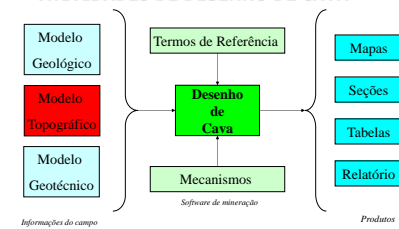




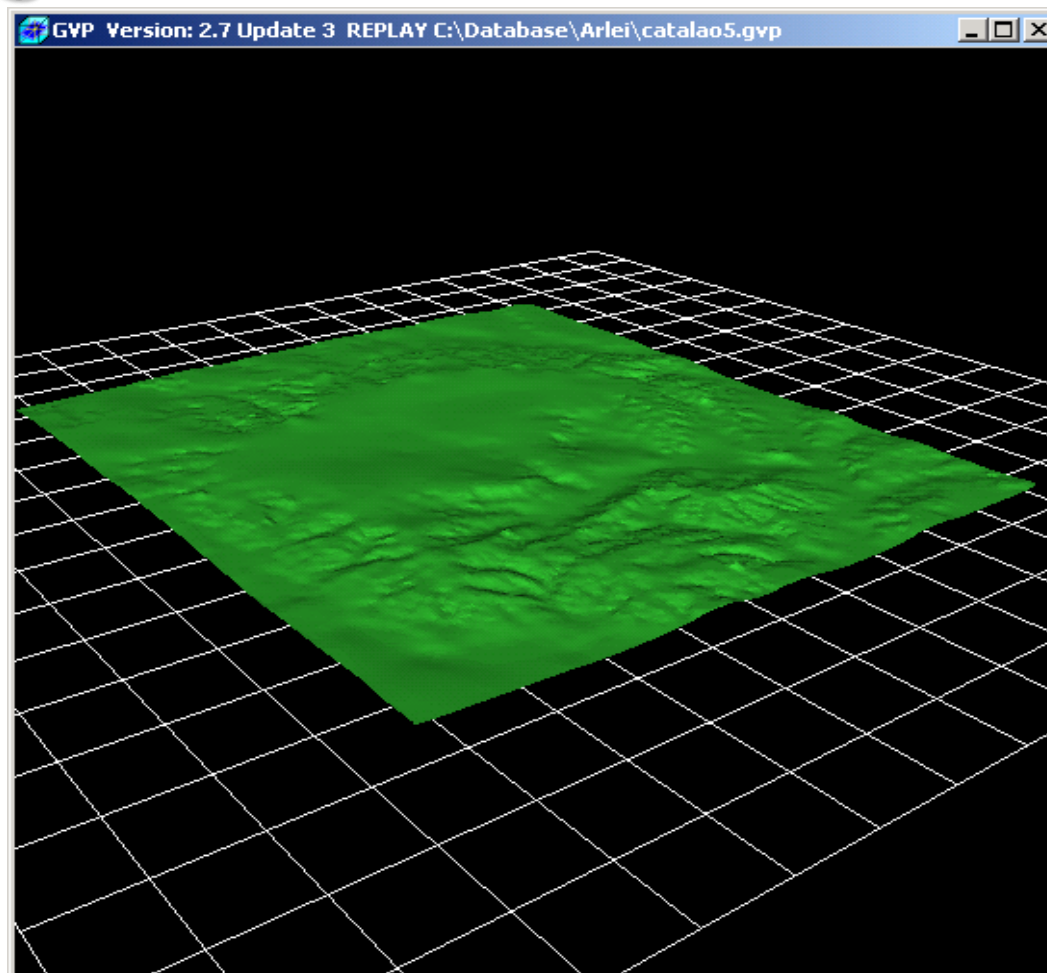
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



INTERPRETAÇÕES A PARTIR DE FOTOS AÉREAS

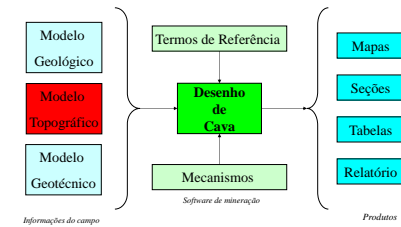




ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

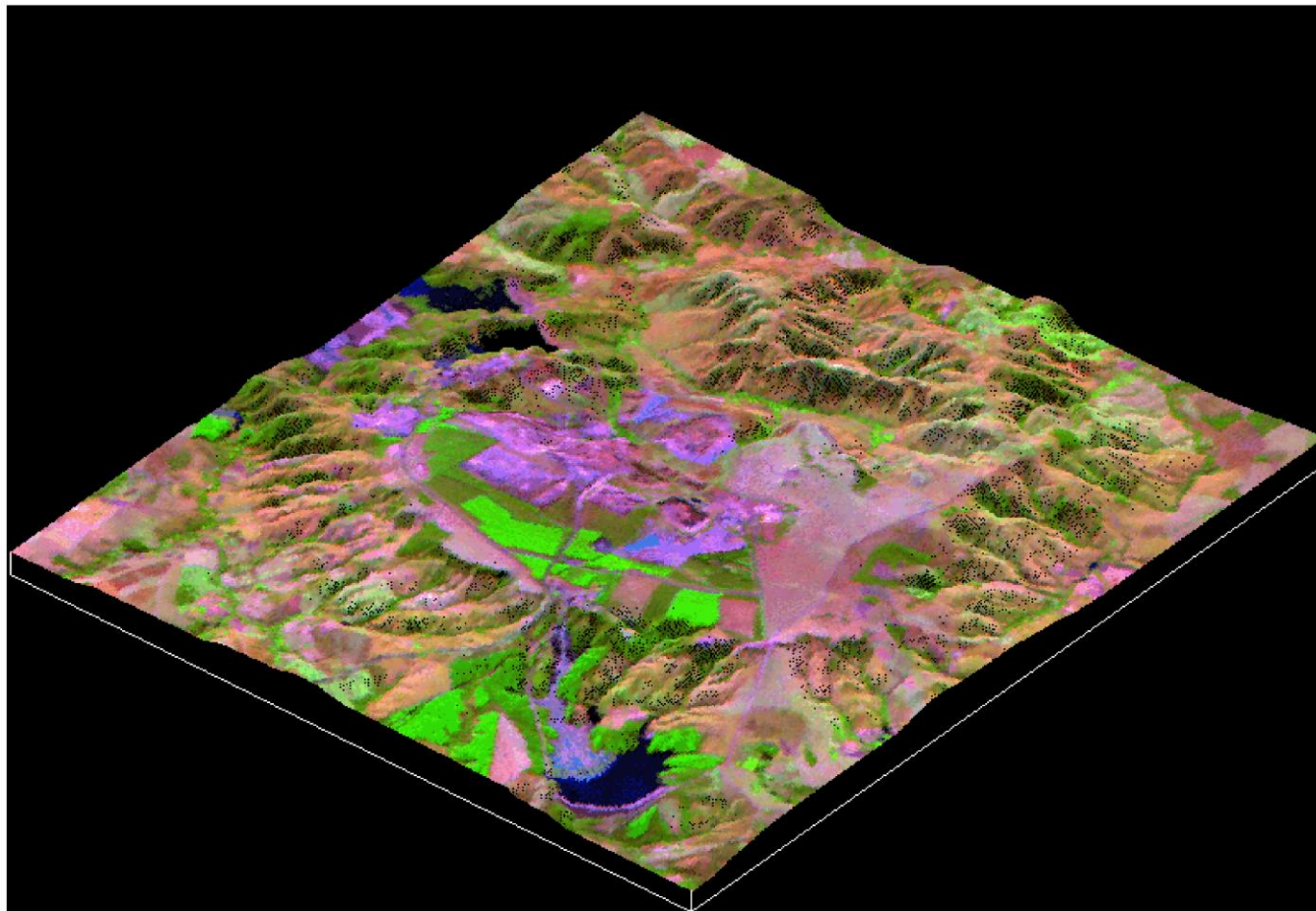
PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



MODELAGEM TOPOGRÁFICA POR IMAGEM LANDSAT

domo_cl_sat resampled

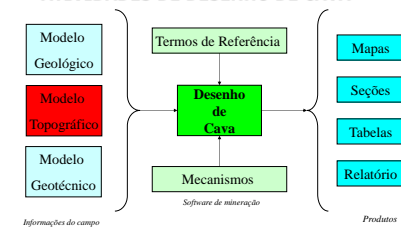




ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

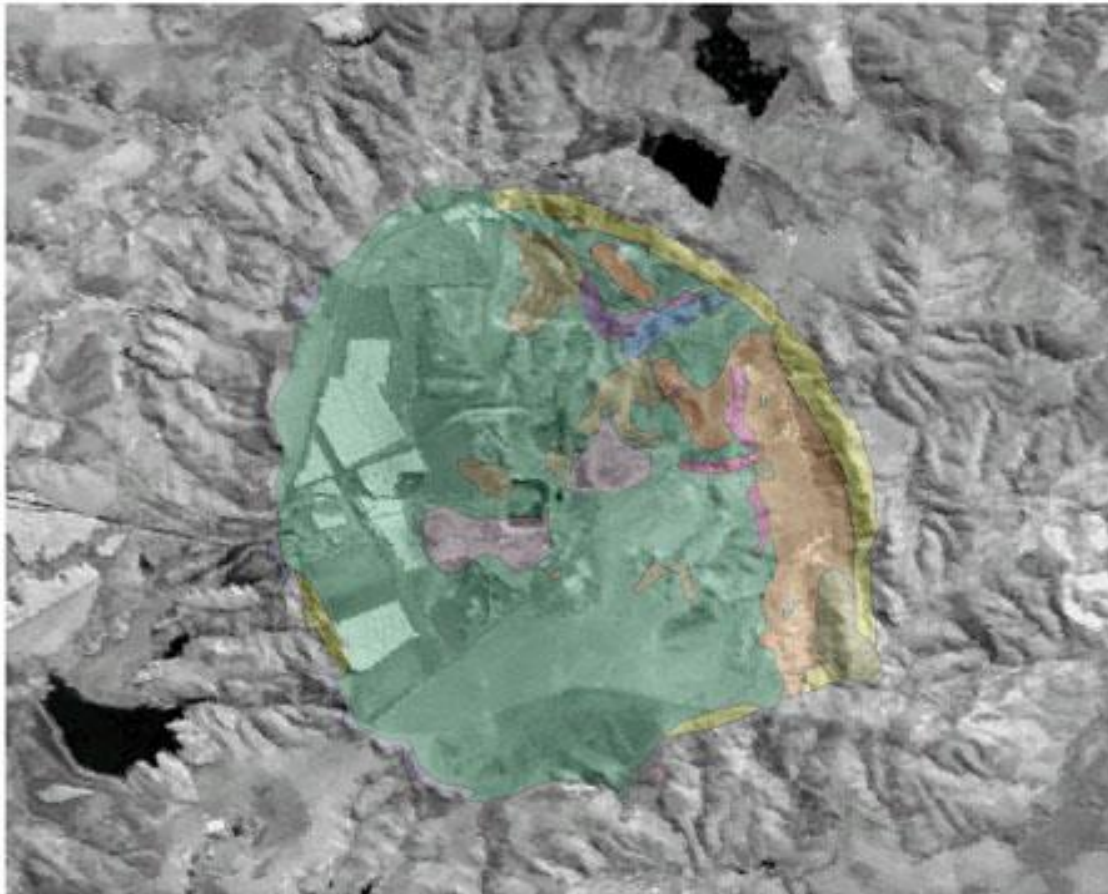
PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



MAPEAMENTO – IMAGEM LANDSAT

domo_bp_sat resampled



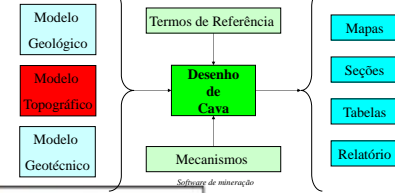
- Sedimentos Recentes
- Solo Laterítico Rico em Magnetita
- Solo Laterítico Rico em Vermiculita
- Laterito Nodular
- Canga Laterítica Rica em Magnetita
- Conglomerado Limonítico
- Sedimentos Argilosos
- Silexito
- Quartzito Fenitizado



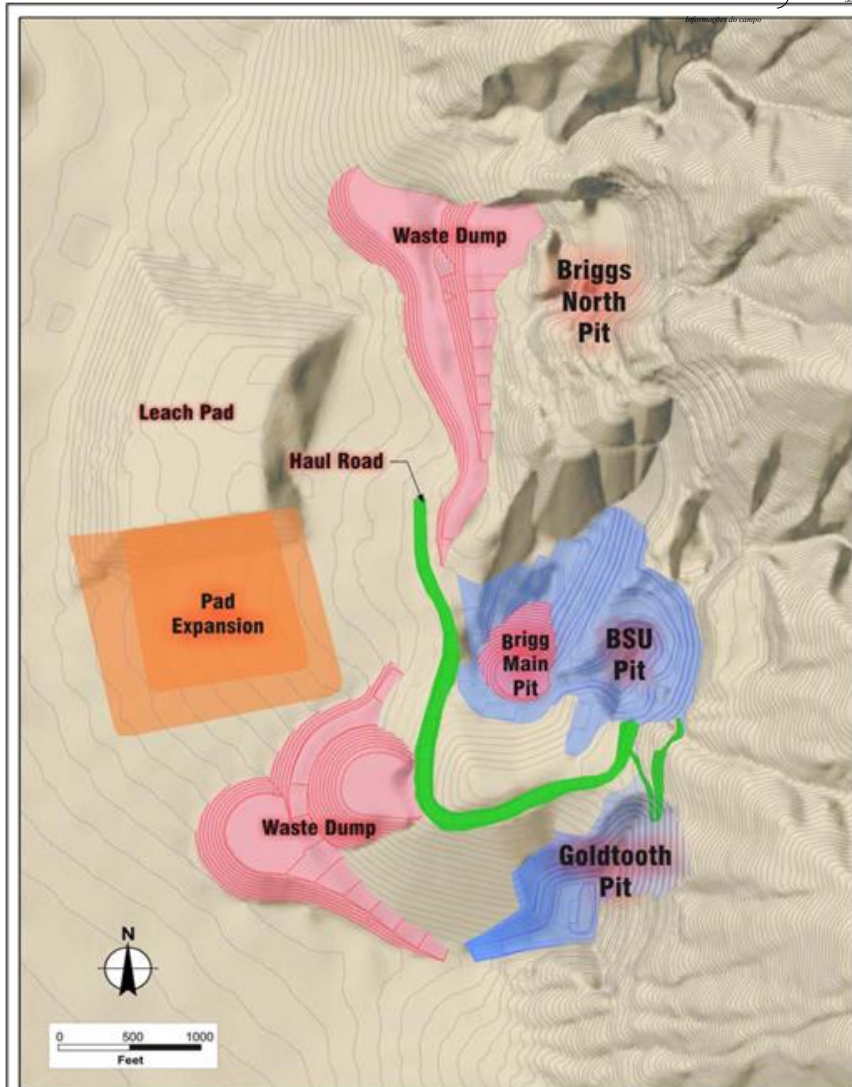
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



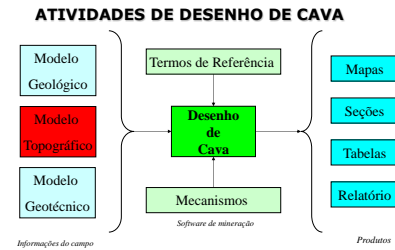
MODELO TOPOGRÁFICO





ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto



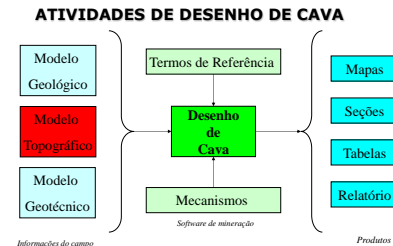
Formatos de Informações Topográficas

- 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

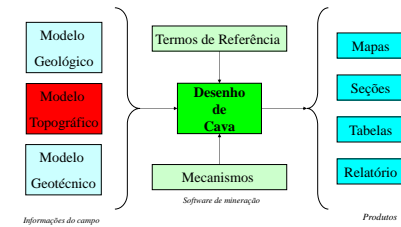
- Mapas (papel & imagens)
 - Curvas-de-nível
 - Pontos e marcos topográficos
 - Poligonais de limites (DNPM, superficiários, zonas de proteção etc.)
- Mapas digitais
 - Poligonais
 - Pontos Topográficos
 - Formatos comuns: CAD (*.dwg), DXF e TXT
- Formato das informações
 - Poligonais: XP, YP, ZP, PTN,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



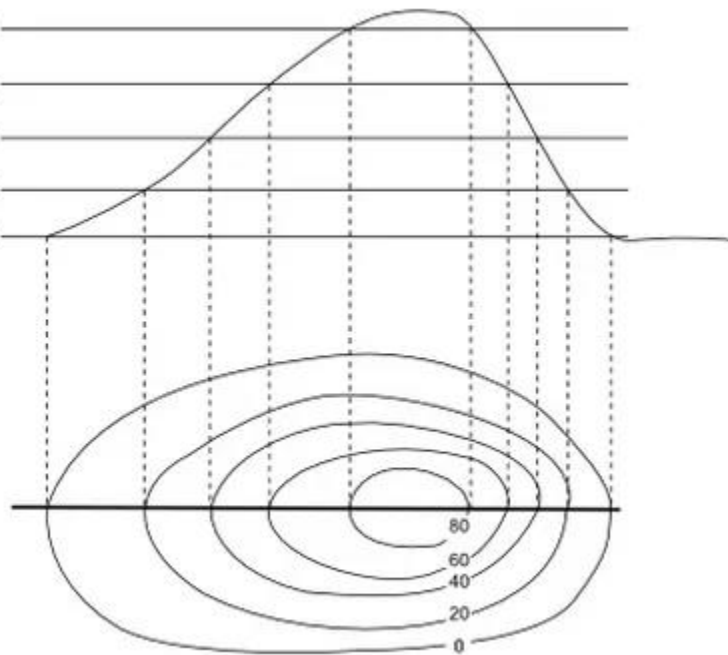
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



Curva de nível

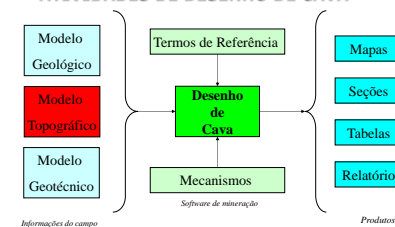




ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



Curva de nível

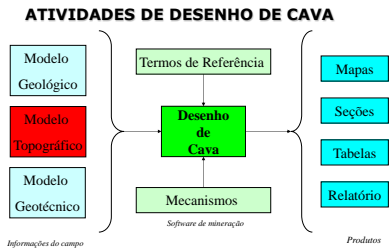


Figura 3. Curvas de nível en un mapa.



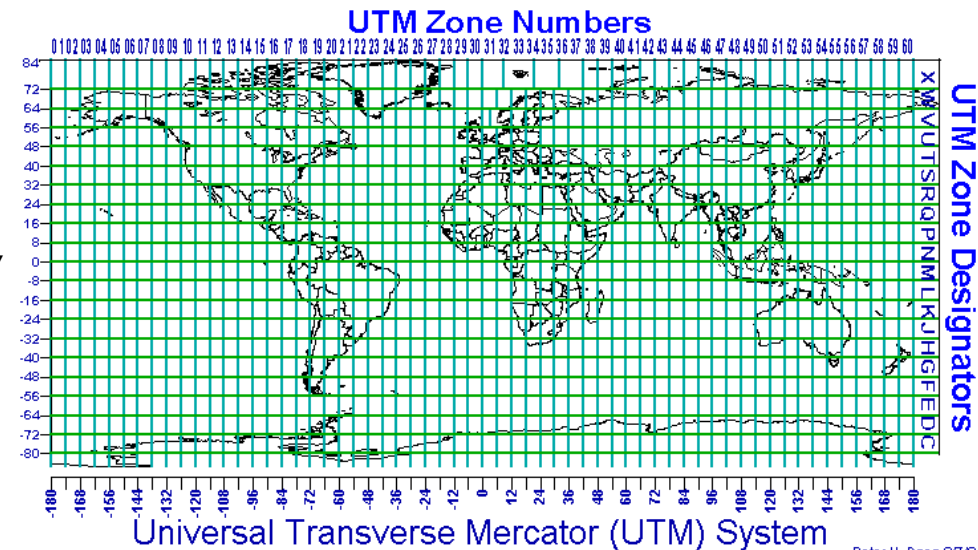
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto



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



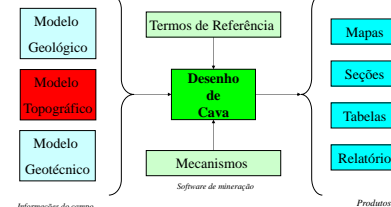
Peter H. Dana 9/7/94



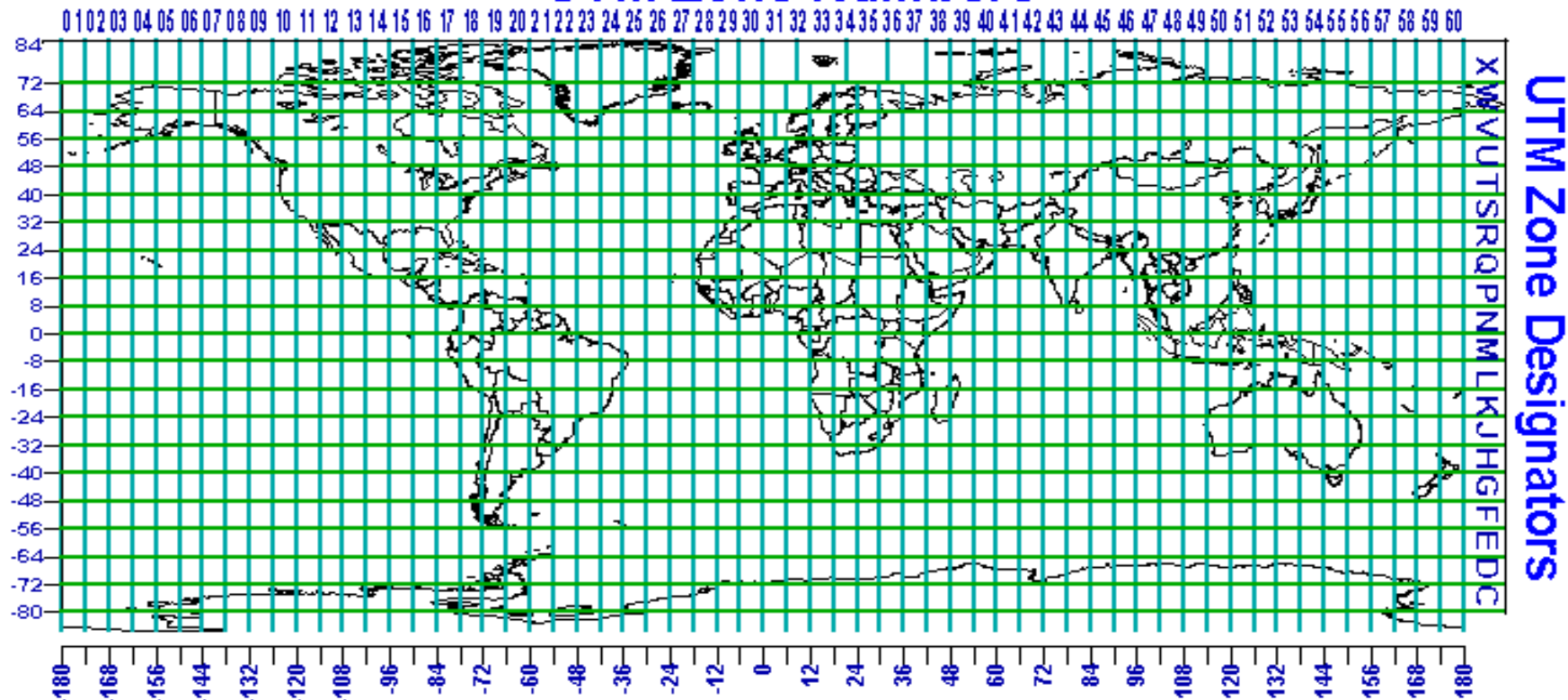
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



UTM Zone Numbers



Universal Transverse Mercator (UTM) System

Peter H. Dana 9/7/94

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

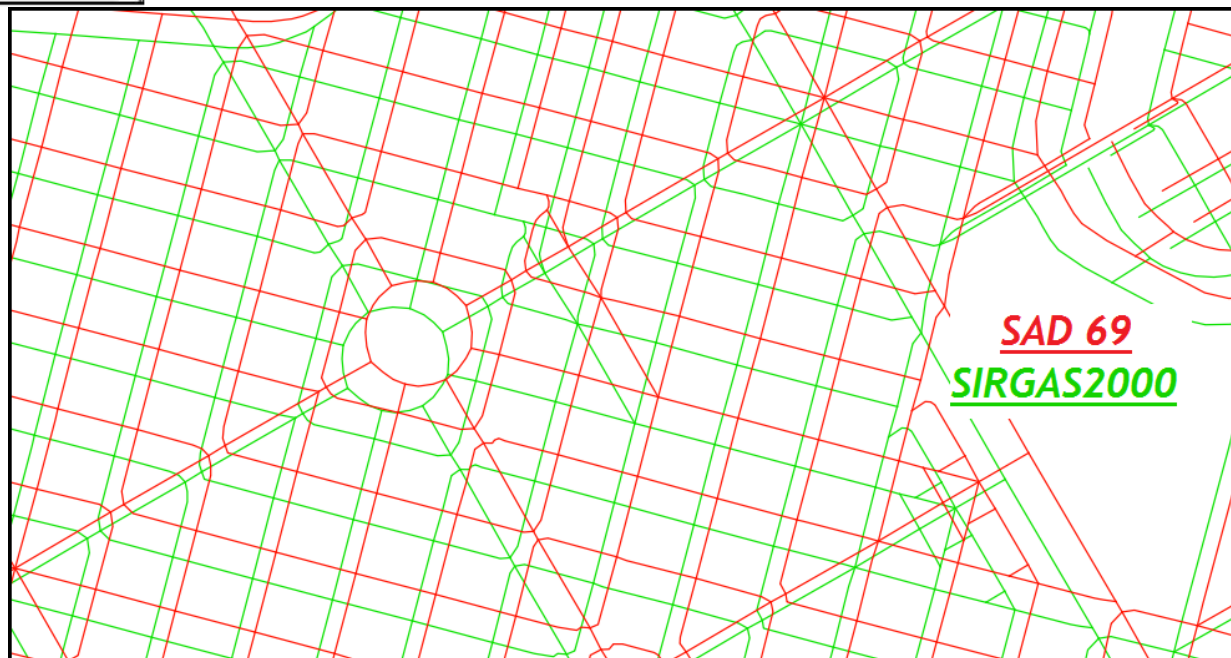
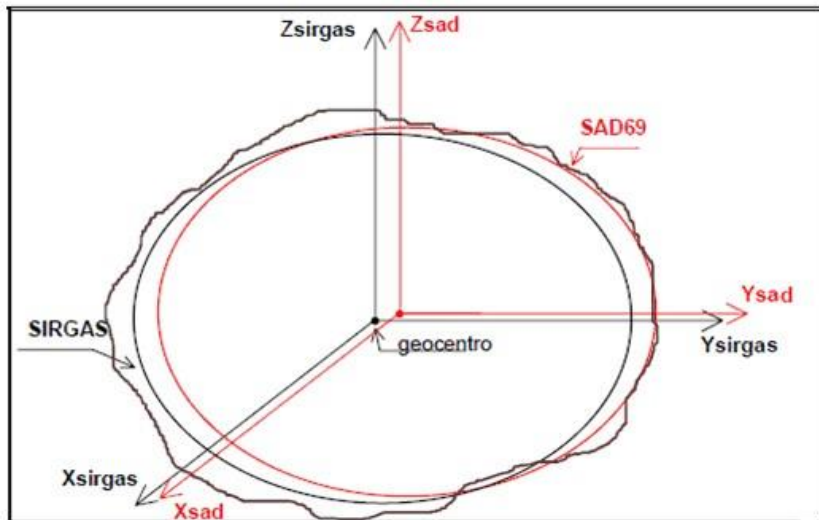
SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000)



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

SAD 69 x SIRGAS 2000

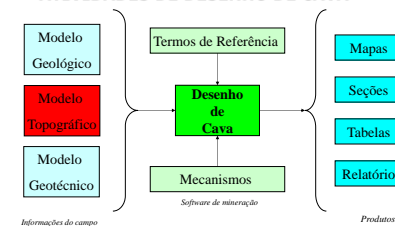




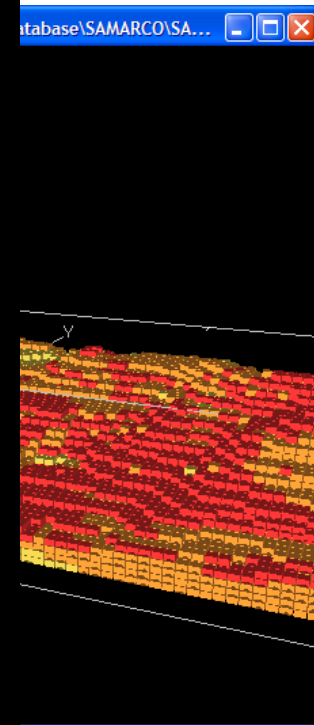
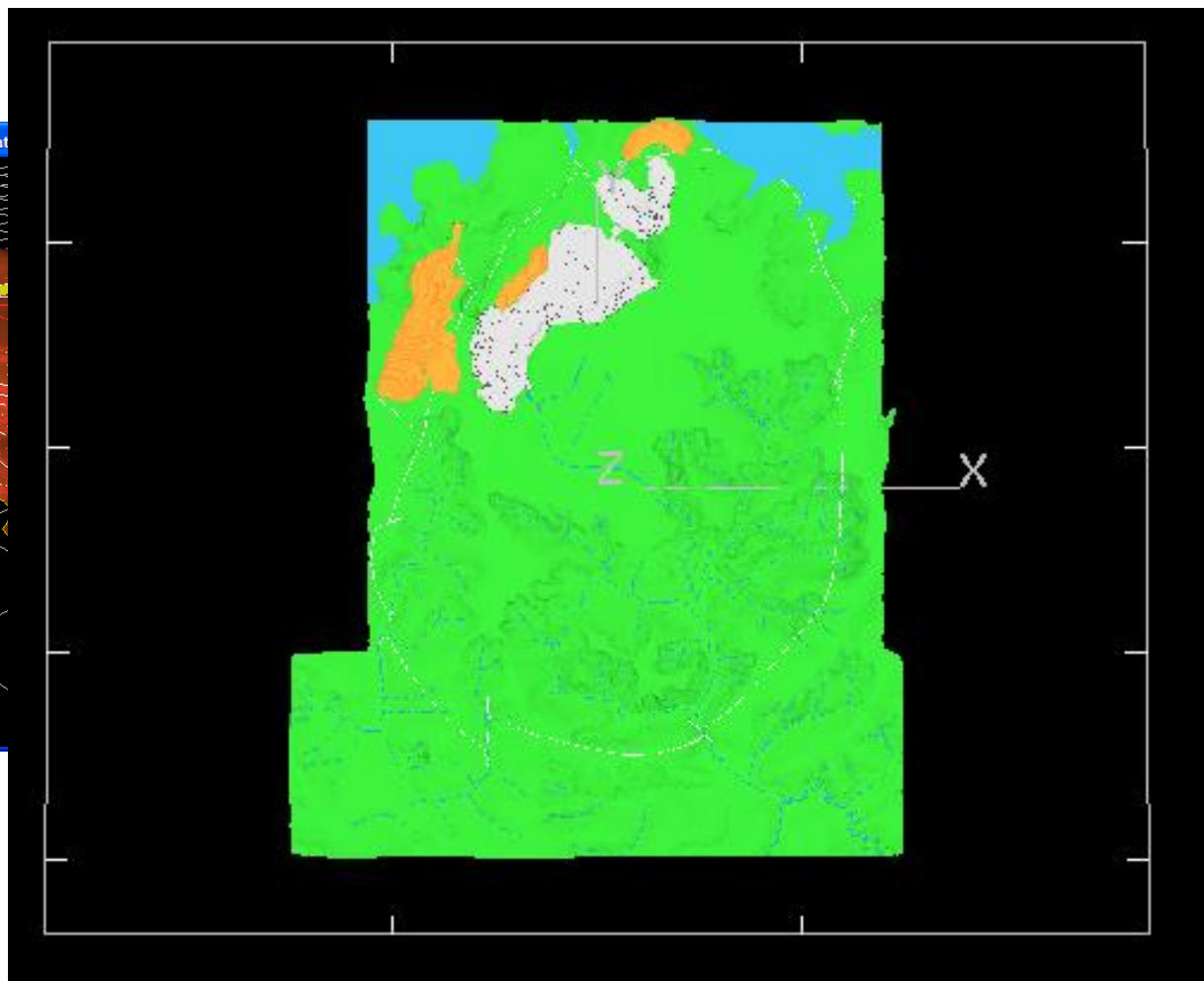
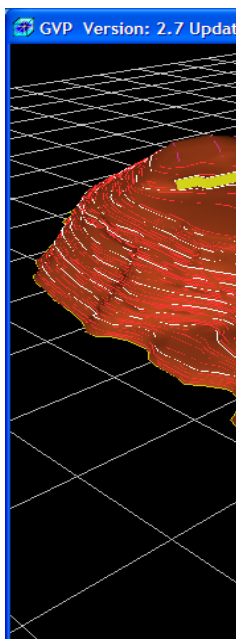
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

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.

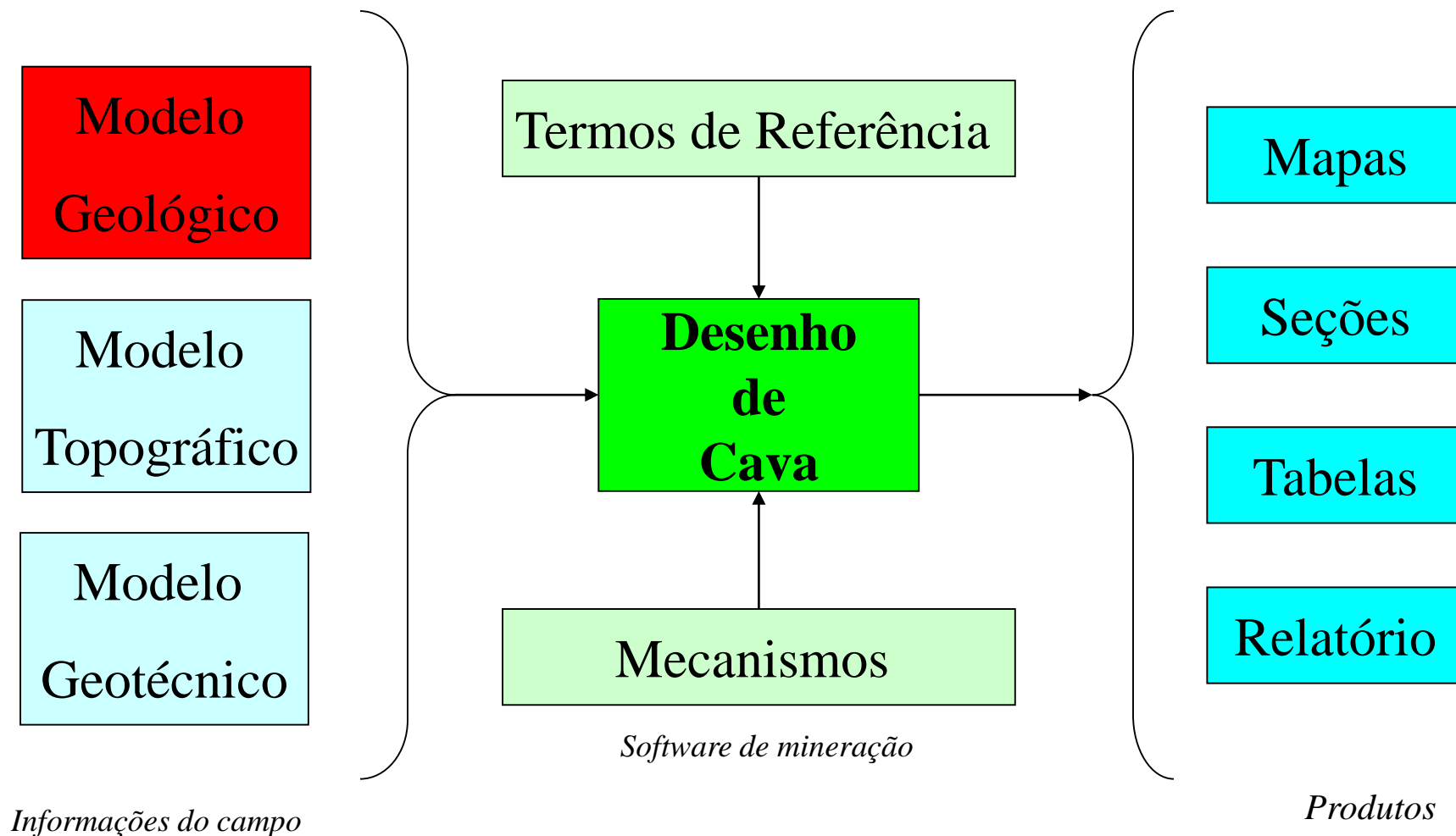




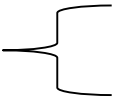
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA

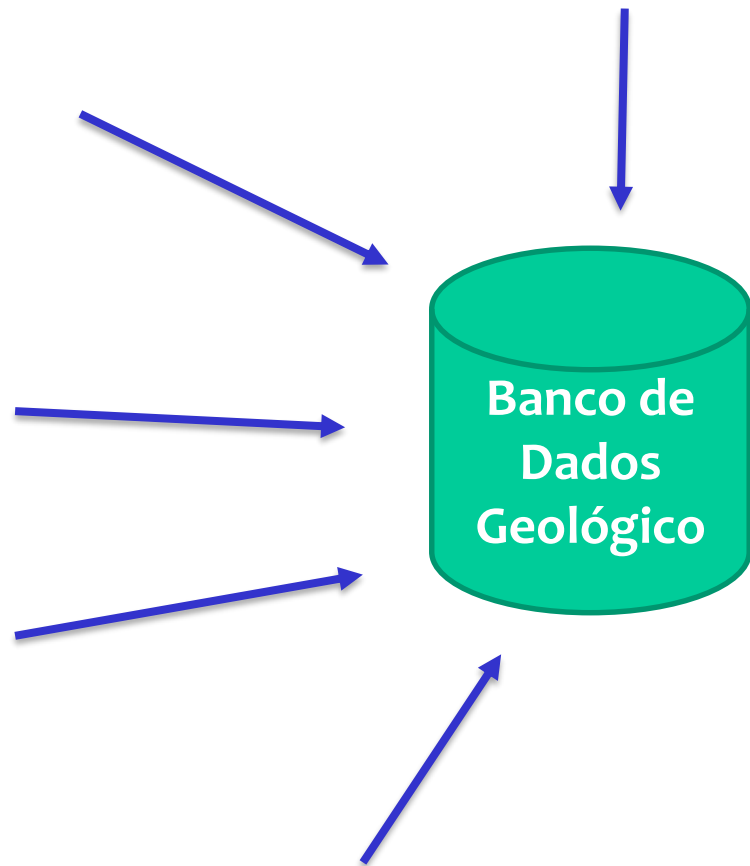


Atividades de Desenho de Cava

- Informações Técnicas (Modelo Geológico)
 - Fundamental para tomada de decisão  Teor
Espessura
 - O sucesso do negócio depende de conhecimento

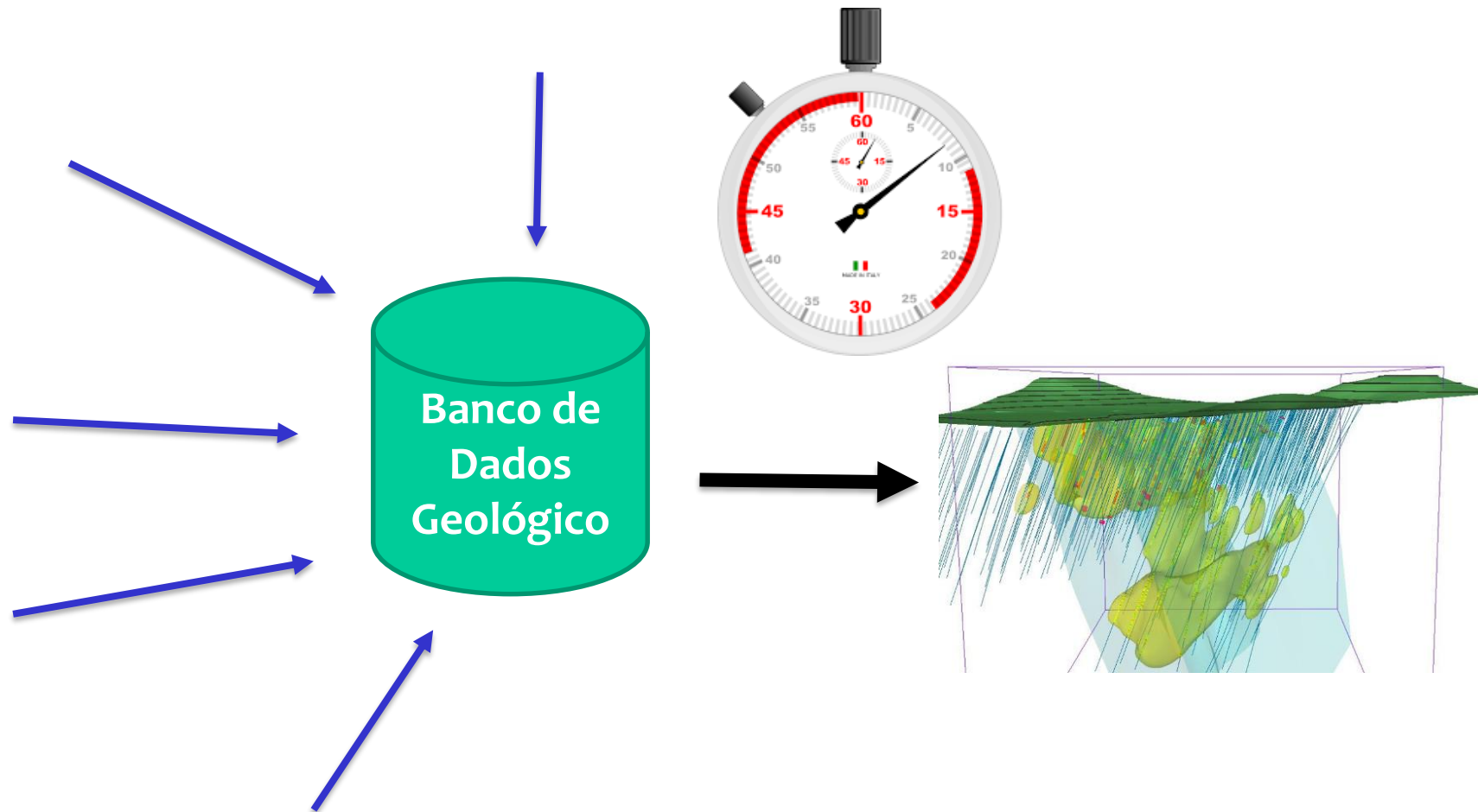
Atividades de Desenho de Cava

- Informações Técnicas (Modelo Geológico)



Atividades de Desenho de Cava

- Informações Técnicas (Modelo Geológico)



Atividades de Desenho de Cava

- Informações Técnicas (Modelo Geológico)
 - A automatização não resolveu este problema?



Atividades de Desenho de Cava

- Informações Técnicas (Modelo Geológico)
 - Sequencia de processos de Sondagem



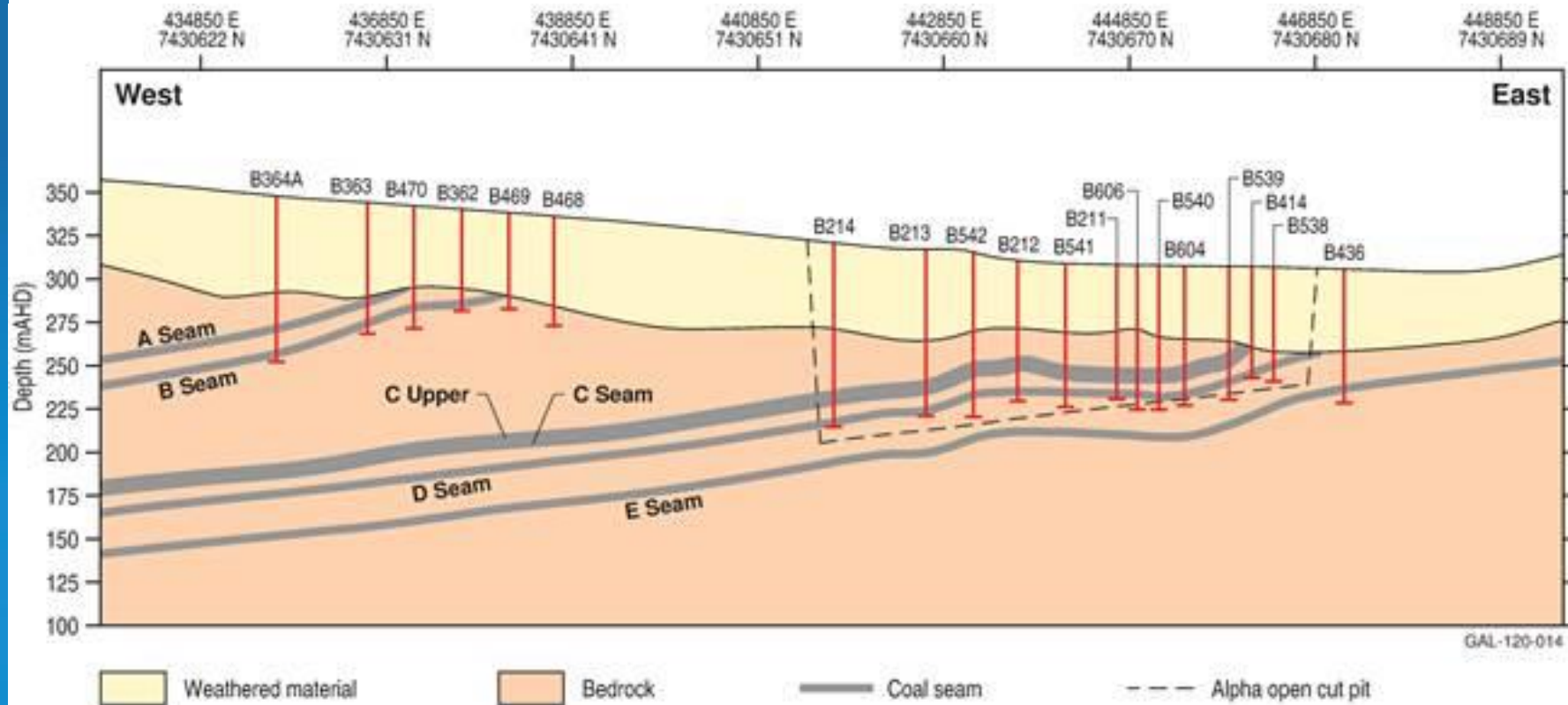
Atividades de Desenho de Cava

- Informações Técnicas (Modelo Geológico)
 - Sequencia de processos de Sondagem



Atividades de Desenho de Cava

- Informações Técnicas (Modelo Geológico)
 - Seções Geológicas

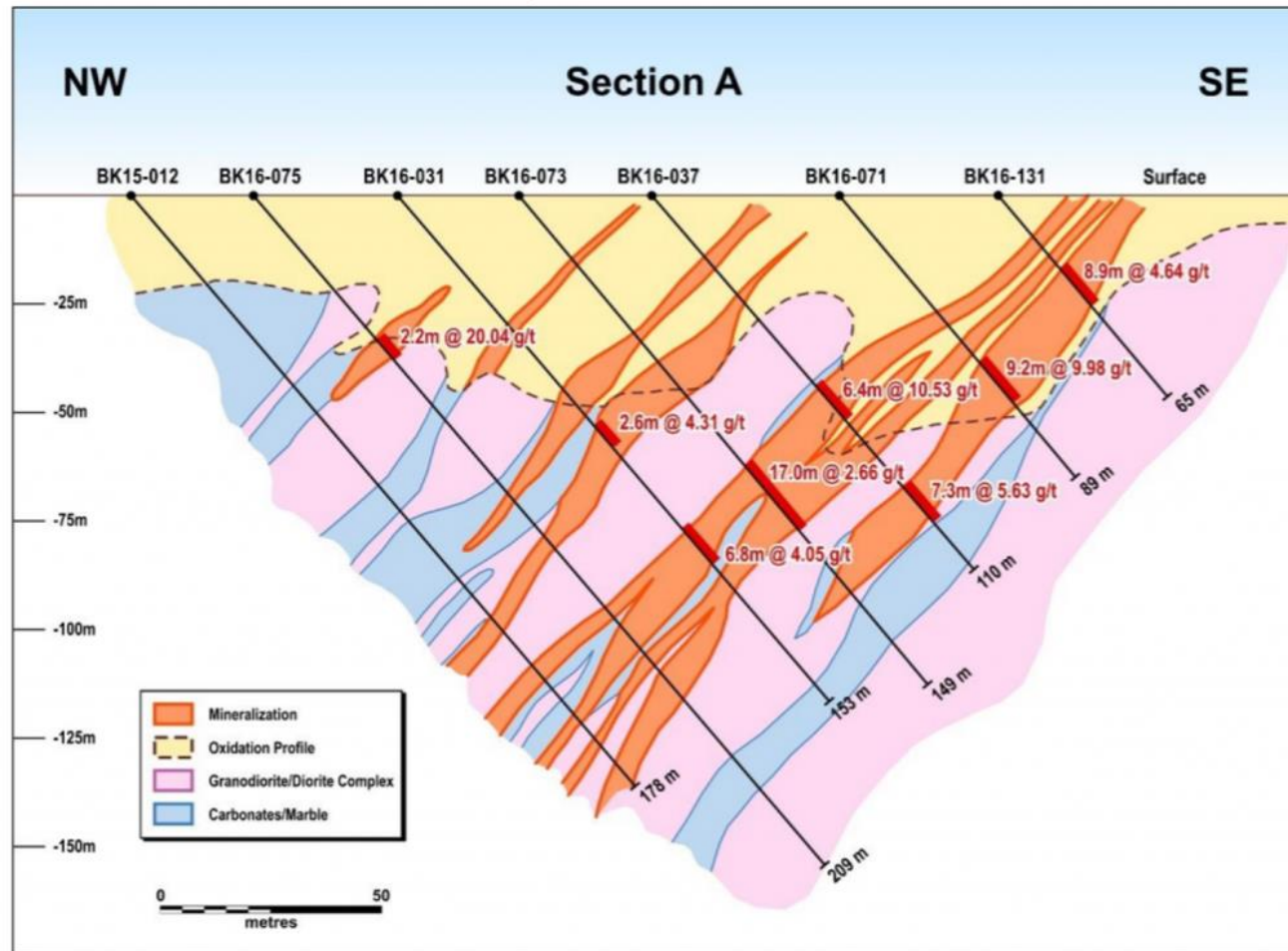


Fonte:

<http://www.bioregionalassessments.gov.au/assessments/12-resource-assessment-galilee-subregion/12311-alpha-coal-project>

Atividades de Desenho de Cava

- Informações Técnicas (Modelo Geológico)
 - Seções Geológicas

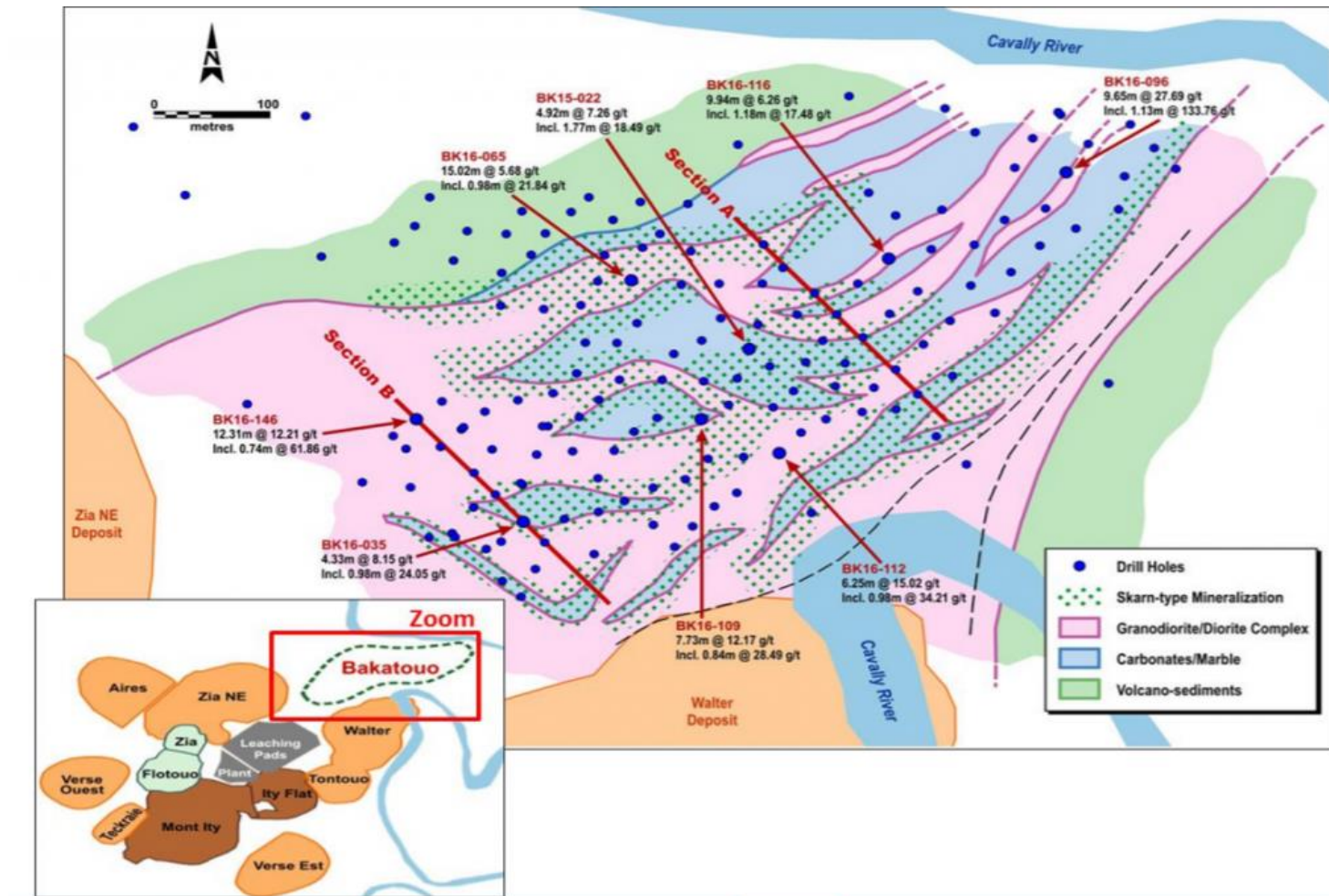


Fonte:

<http://www.northernminer.com/news/endeavour-whirlwind-activity-west-african-mines/1003777853/>

Atividades de Desenho de Cava

- Informações Técnicas (Modelo Geológico)
 - Seções Geológicas

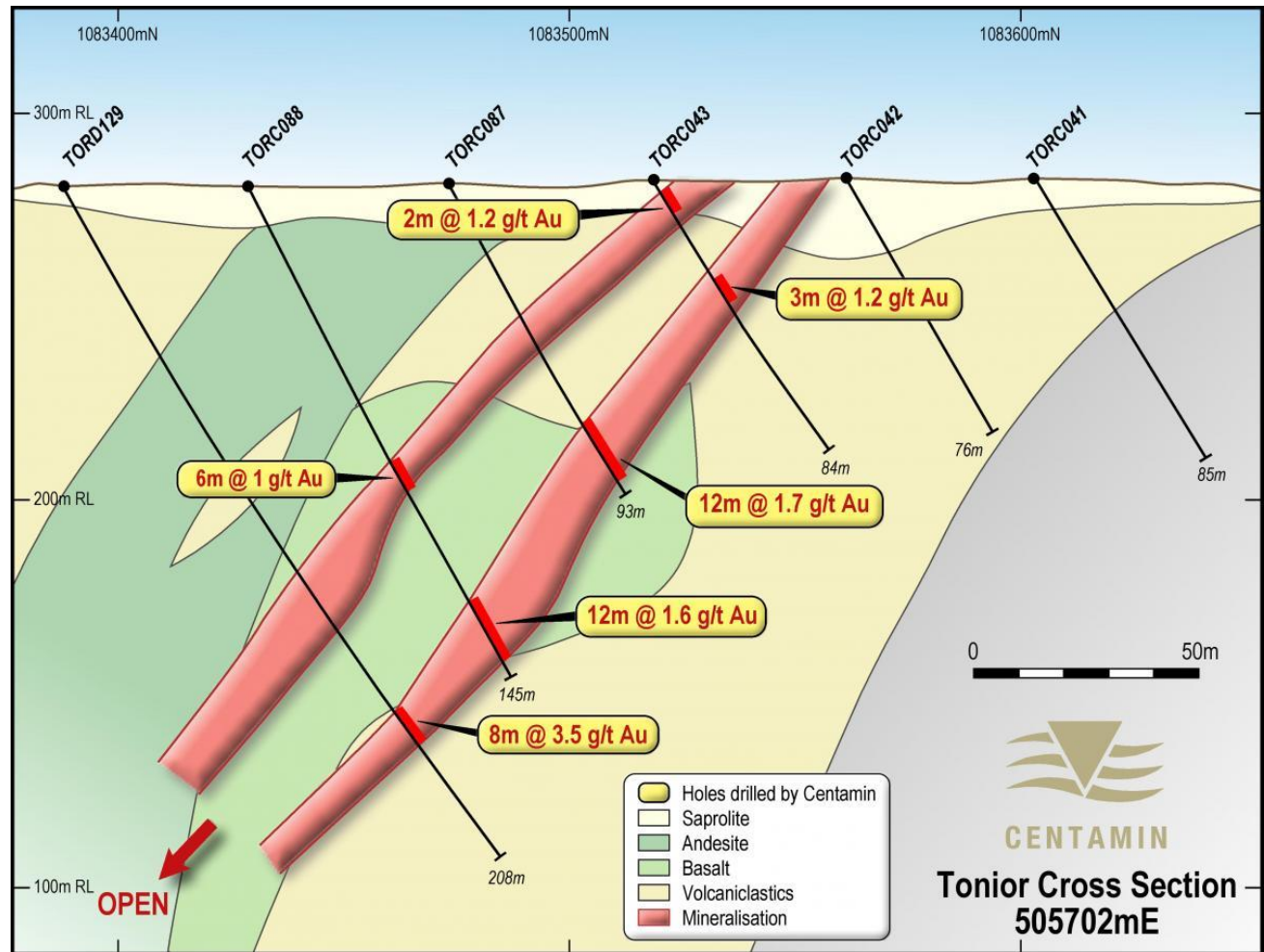


Fonte:

<http://www.northernminer.com/news/endeavour-whirlwind-activity-west-african-mines/1003777853/>

Atividades de Desenho de Cava

- Informações Técnicas (Modelo Geológico)
 - Seções Geológicas

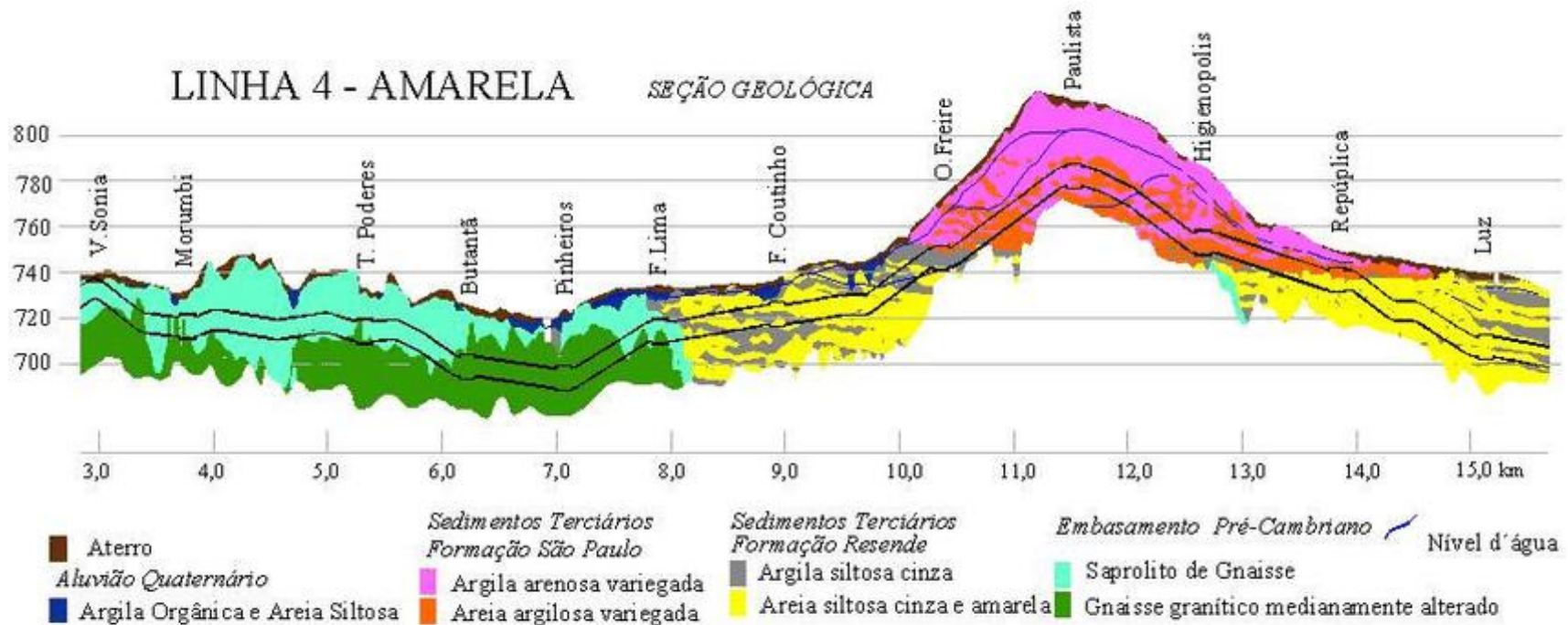


Fonte:

<http://www.centamin.com.au/centamin/operations/west-africa/west-africa-geological-overview>

Atividades de Desenho de Cava

- Informações Técnicas (Modelo Geológico)
 - Seções Geológicas

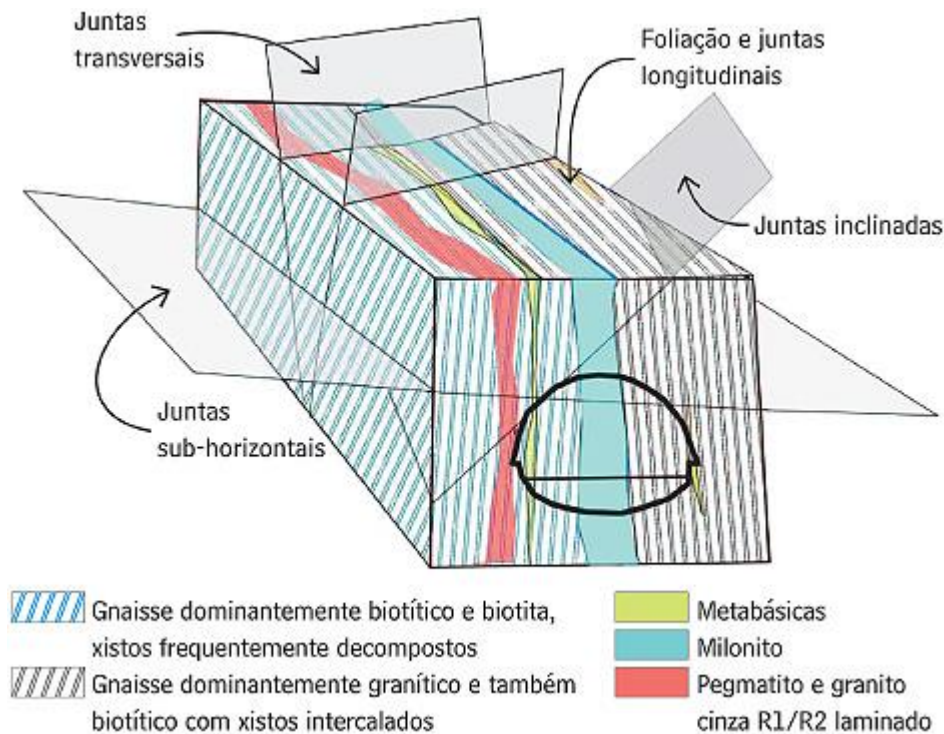


Fonte:

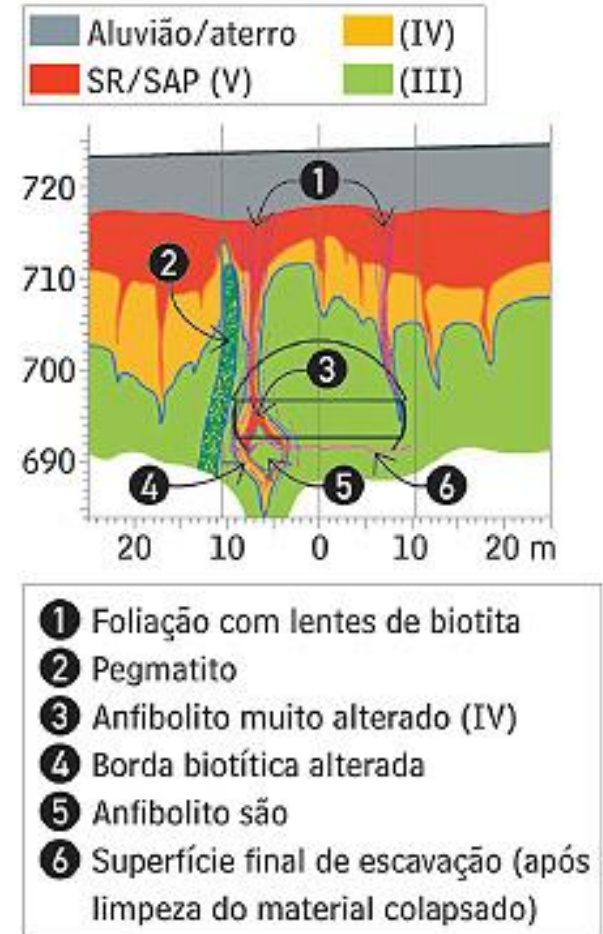
https://www.researchgate.net/publication/242607278_CONCEBENDO_ESTRUTURAS_IMPERMEAVEIS_PARA_O_METRO_DE_SAO_PAULO

Atividades de Desenho de Cava

- Informações Técnicas (Modelo Geológico)
 - Seções Geológicas



Seção transversal km 7 + 105



SEÇÕES GEOLÓGICAS

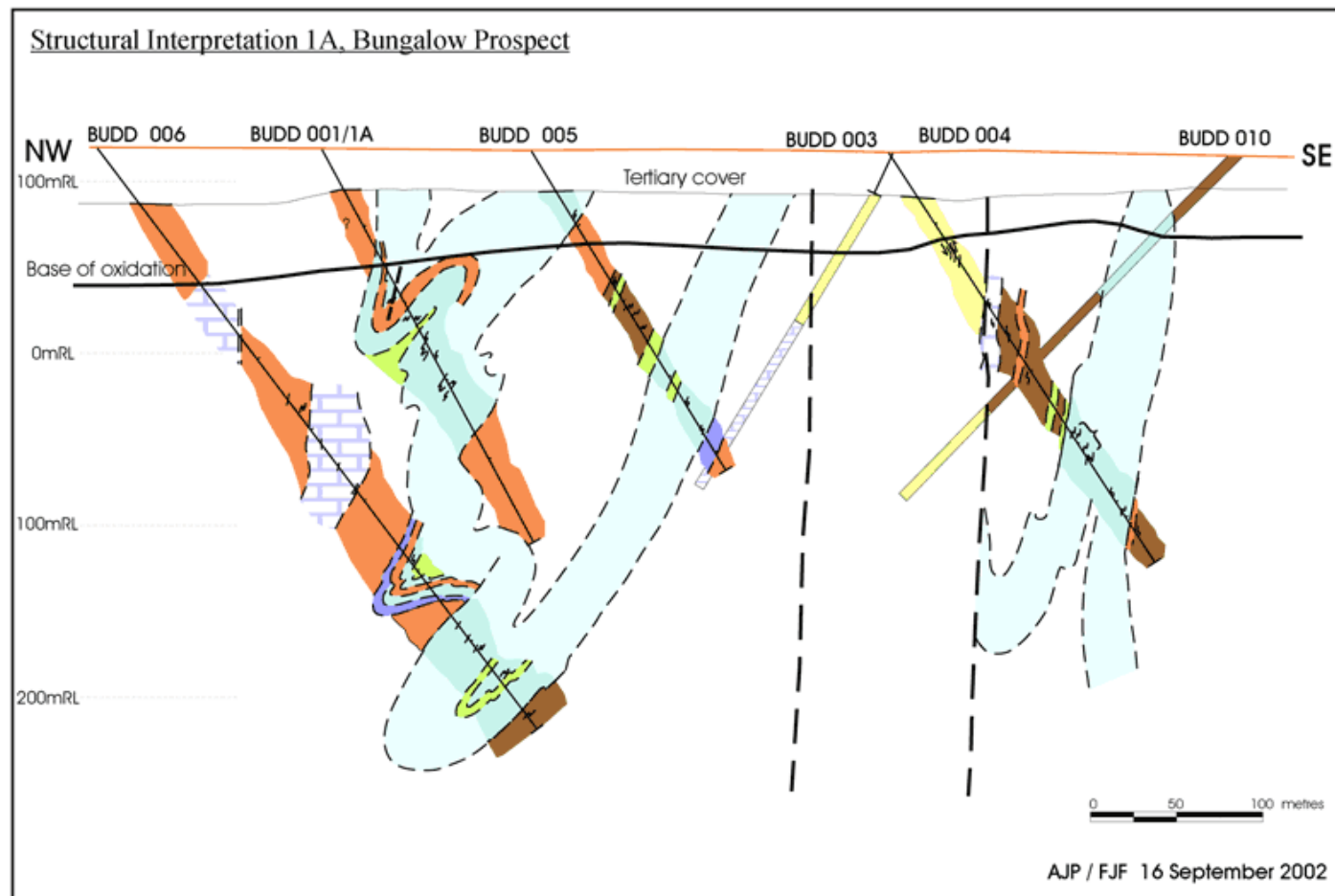
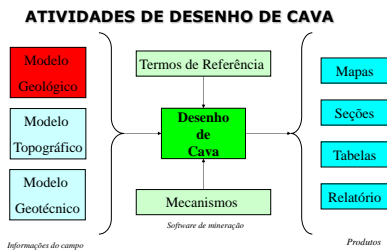
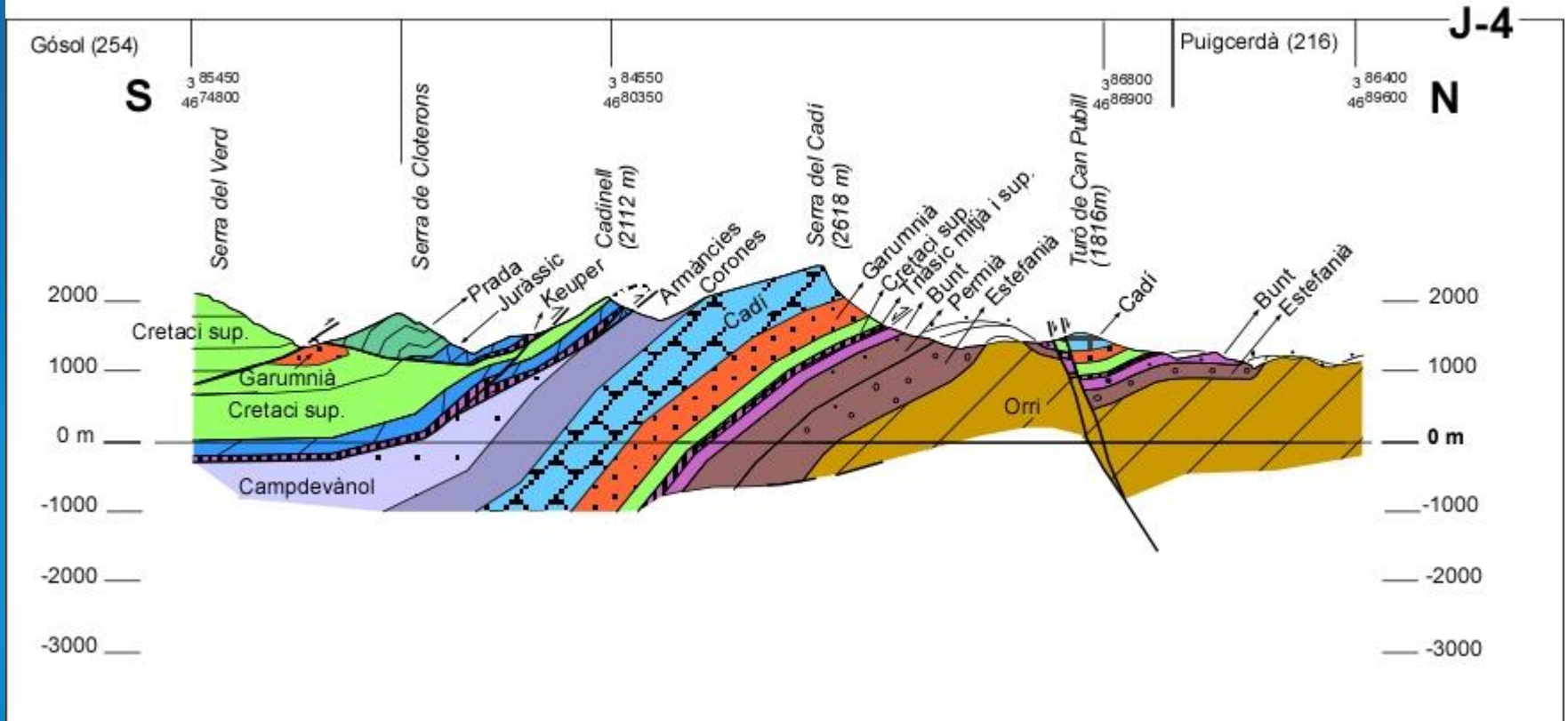
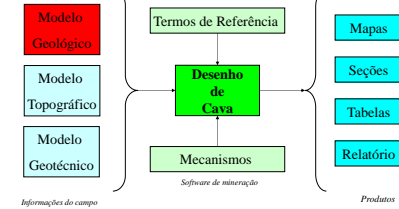


Fig. 13 Bungalow: geological section across the northern deposit, section 2000N

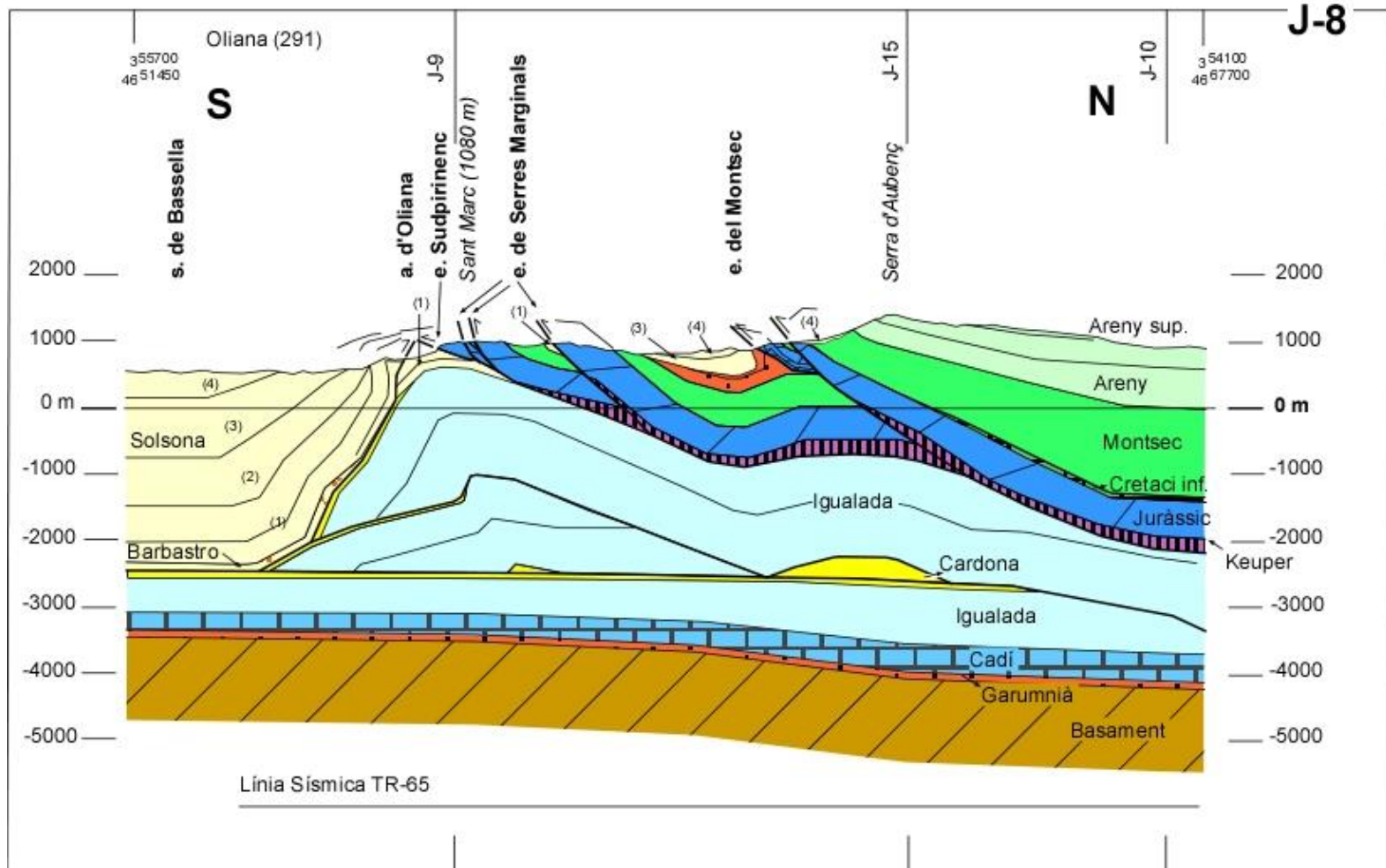
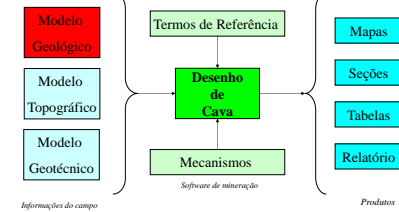
SEÇÕES GEOLÓGICAS

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



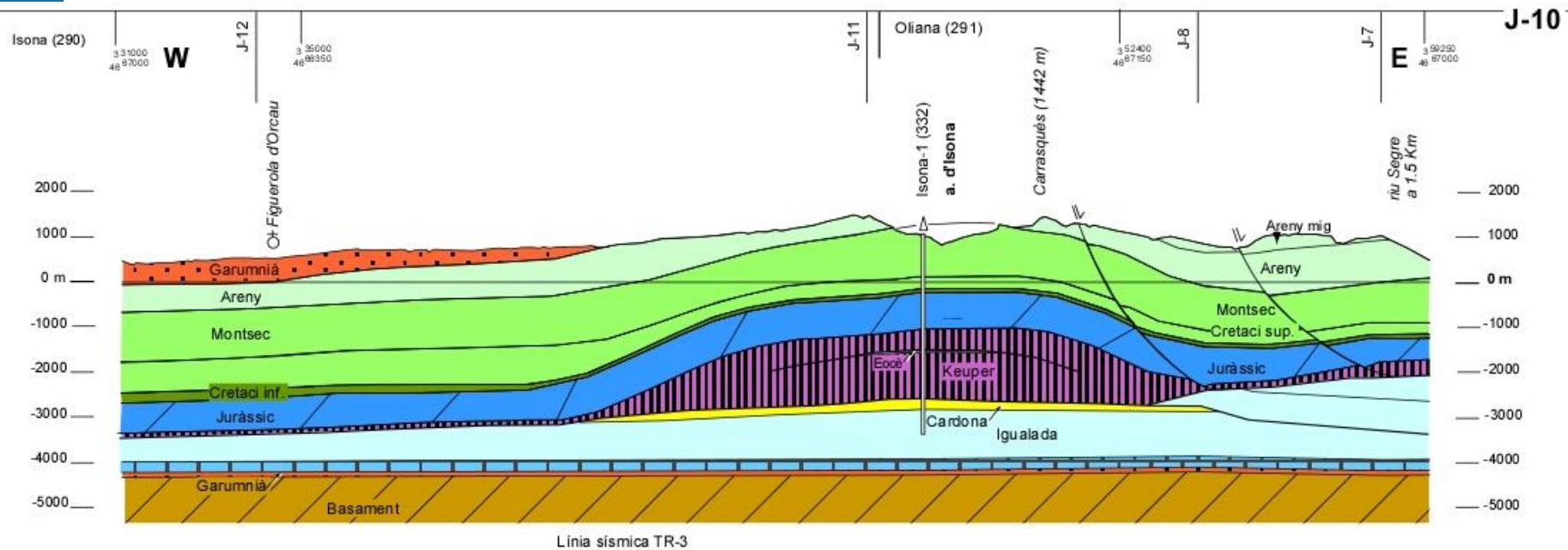
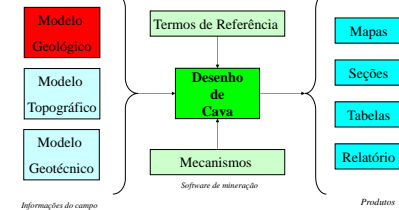
SEÇÕES GEOLÓGICAS

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA

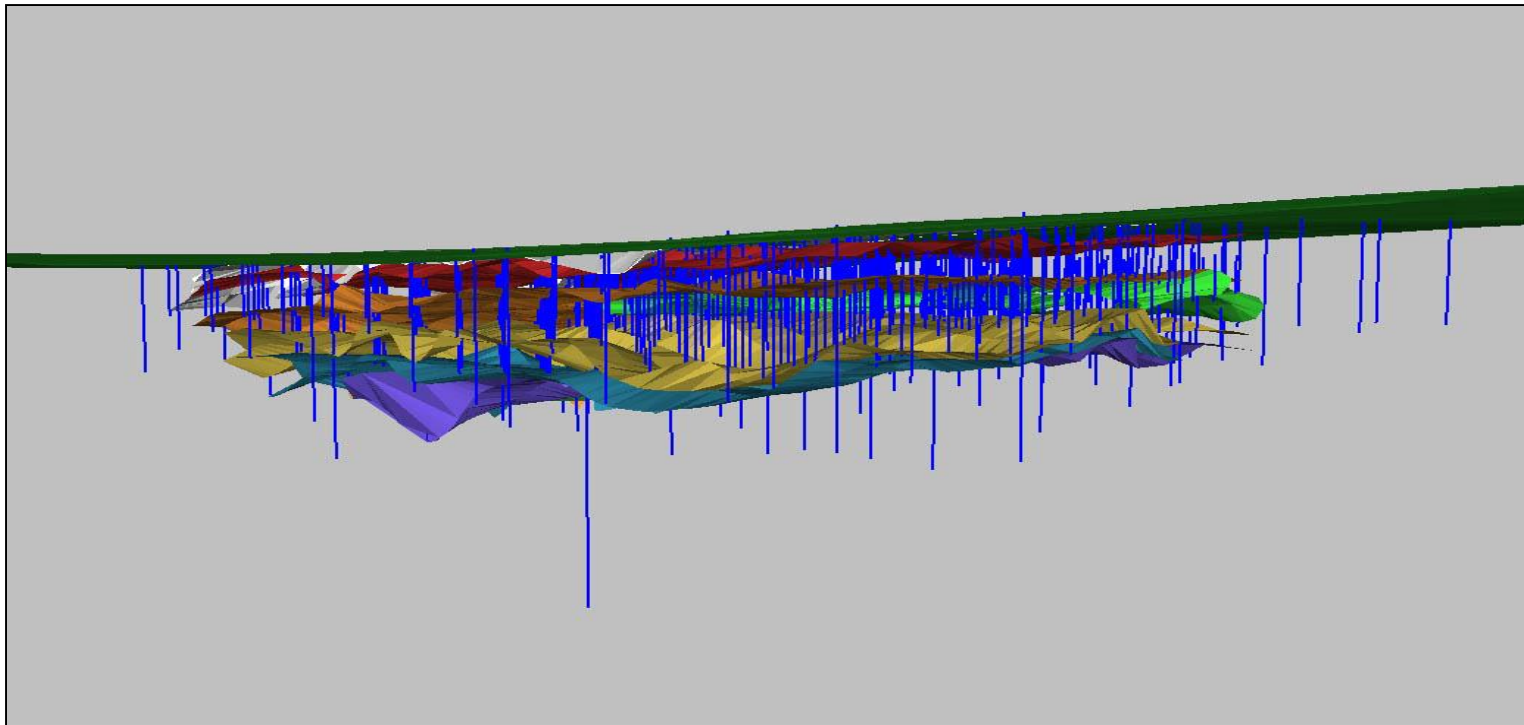
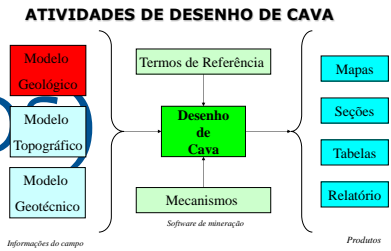


SEÇÕES GEOLÓGICAS

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA

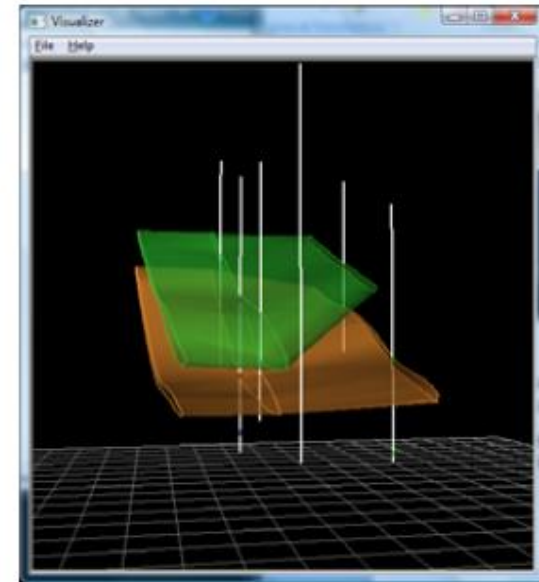
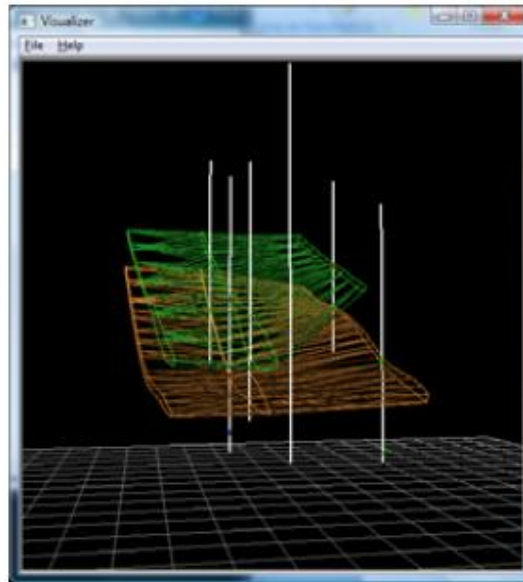
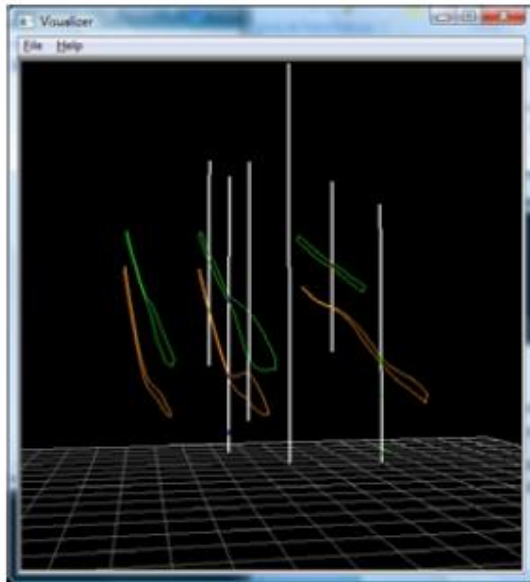


MODELAGEM GEOLÓGICA (SOLIDO)



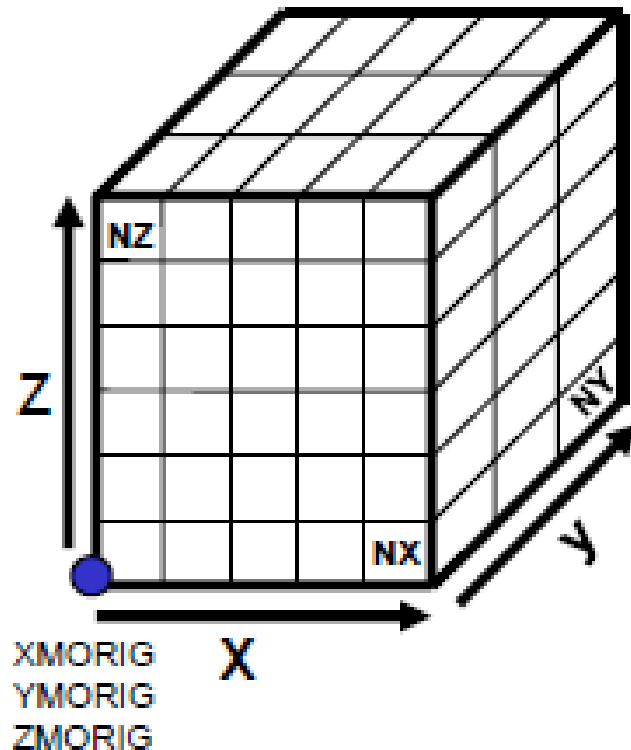
Atividades de Desenho de Cava

- Informações Técnicas (Modelo Geológico)
 - Modelagem Geológica (Sólidos)



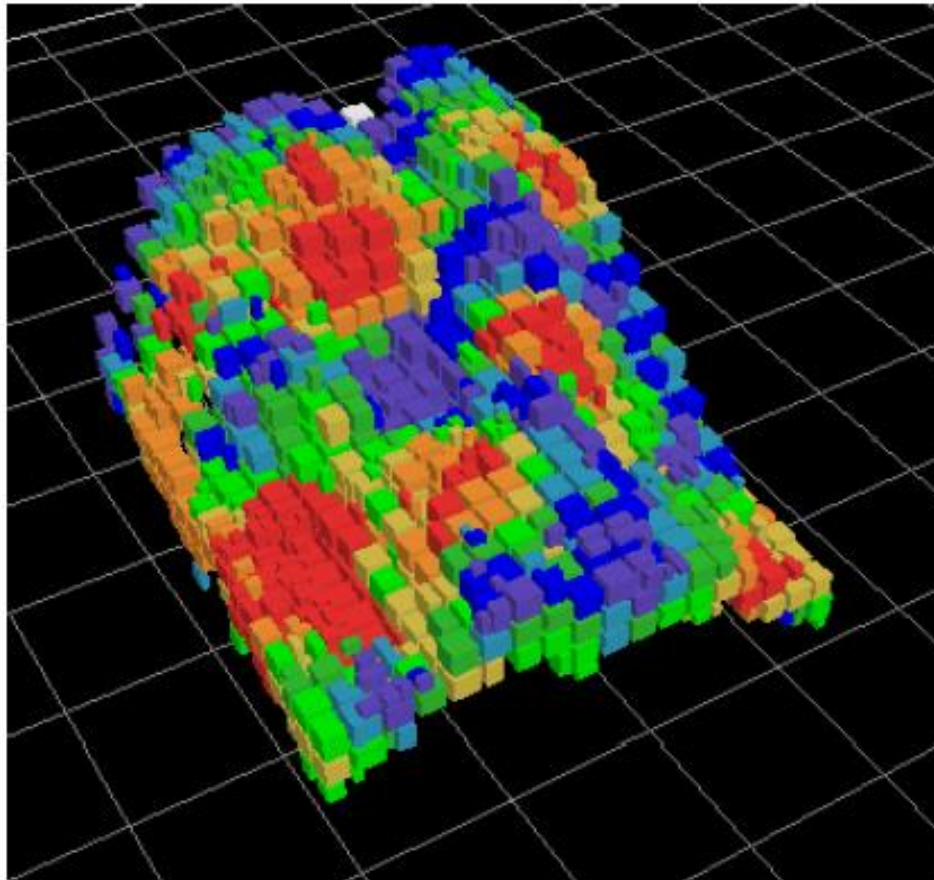
Atividades de Desenho de Cava

- Informações Técnicas (Modelo Geológico)
 - Modelagem Geológica (Blocos)



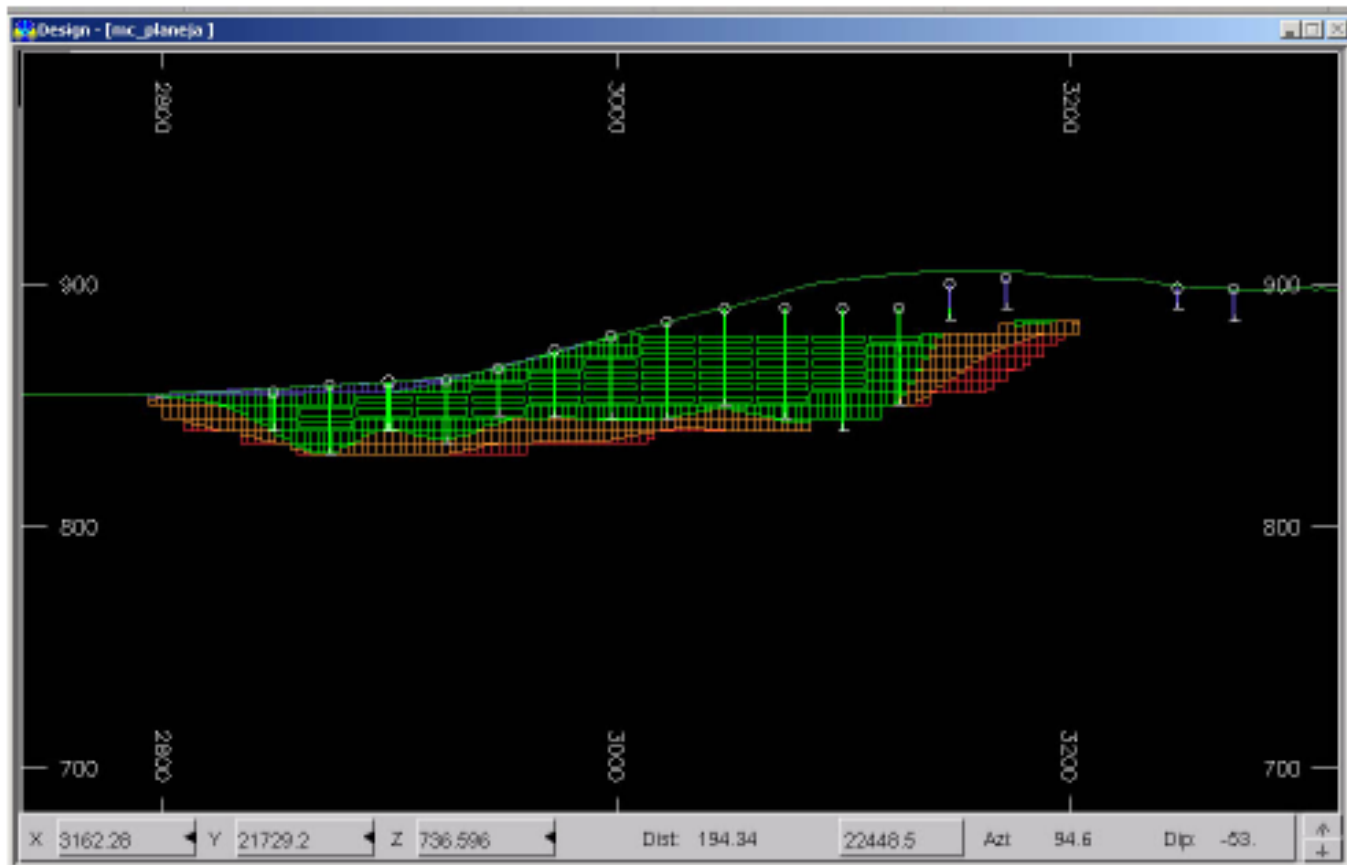
Atividades de Desenho de Cava

- Informações Técnicas (Modelo Geológico)
 - Modelagem Geológica (Blocos)



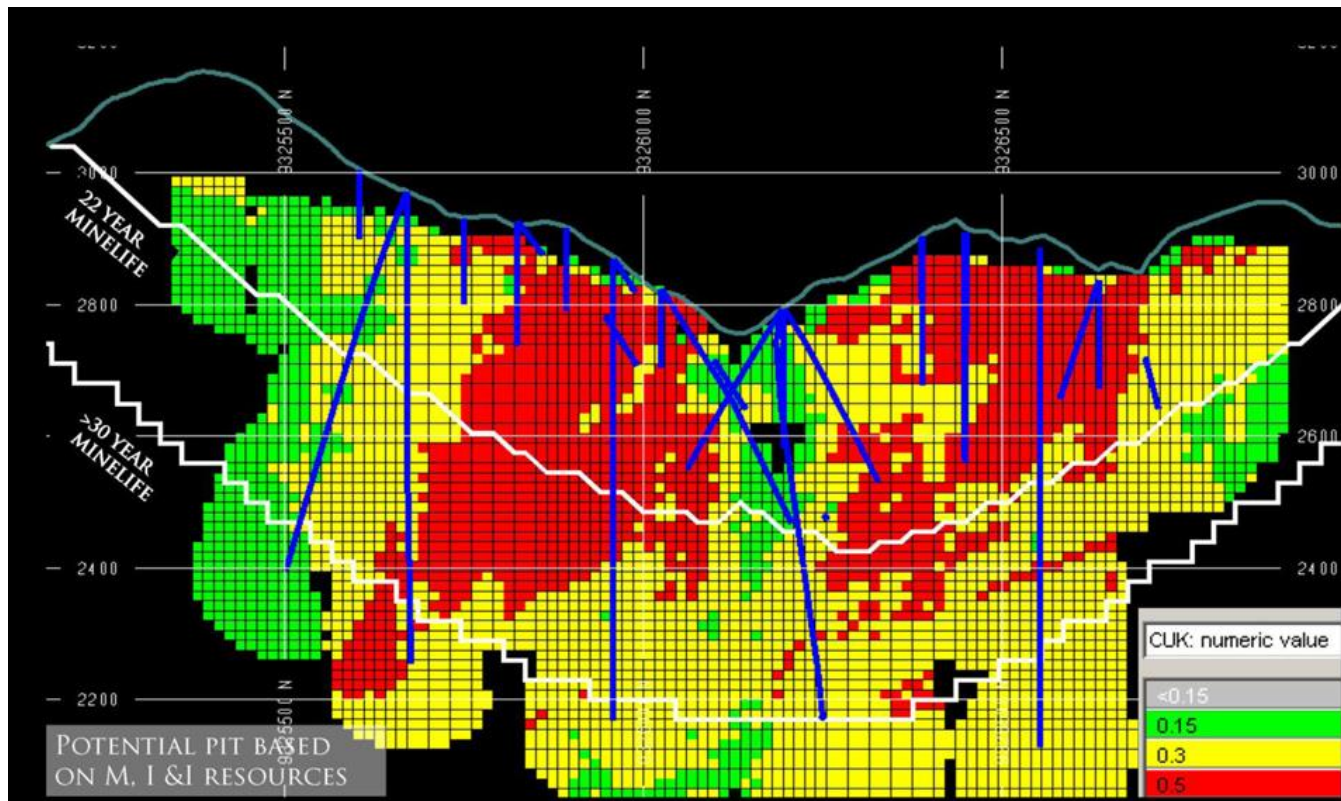
Atividades de Desenho de Cava

- Informações Técnicas (Modelo Geológico)
 - Modelagem Geológica (Blocos)



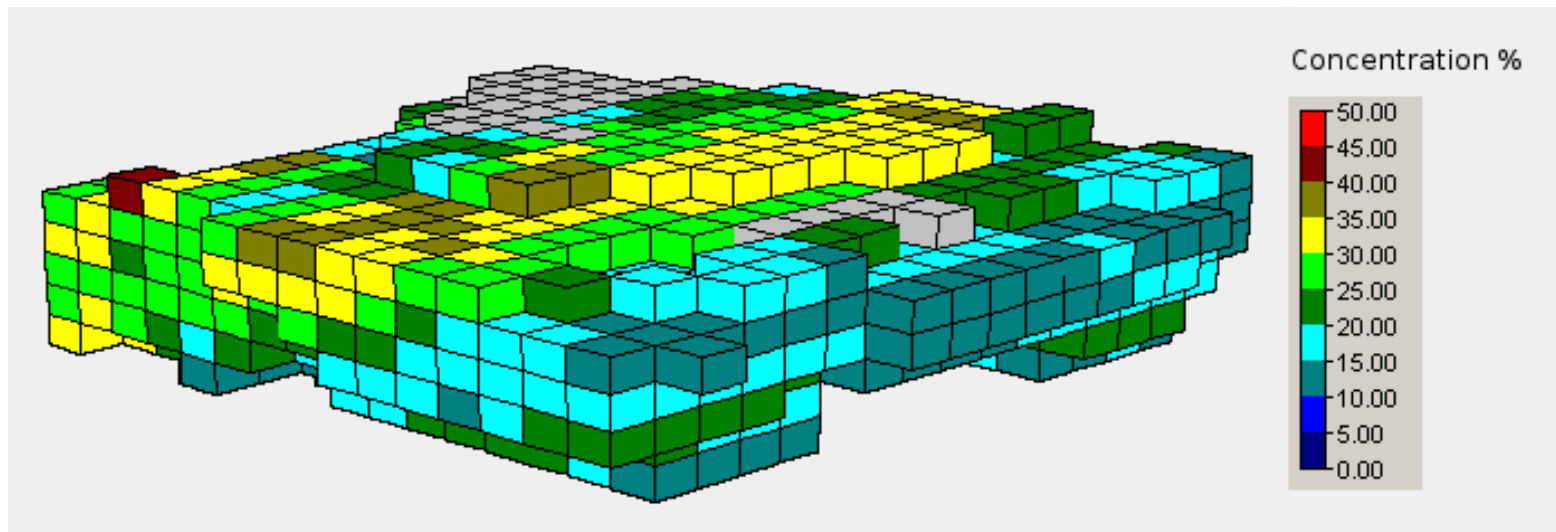
Atividades de Desenho de Cava

- Informações Técnicas (Modelo Geológico)
 - Modelagem Geológica (Blocos)



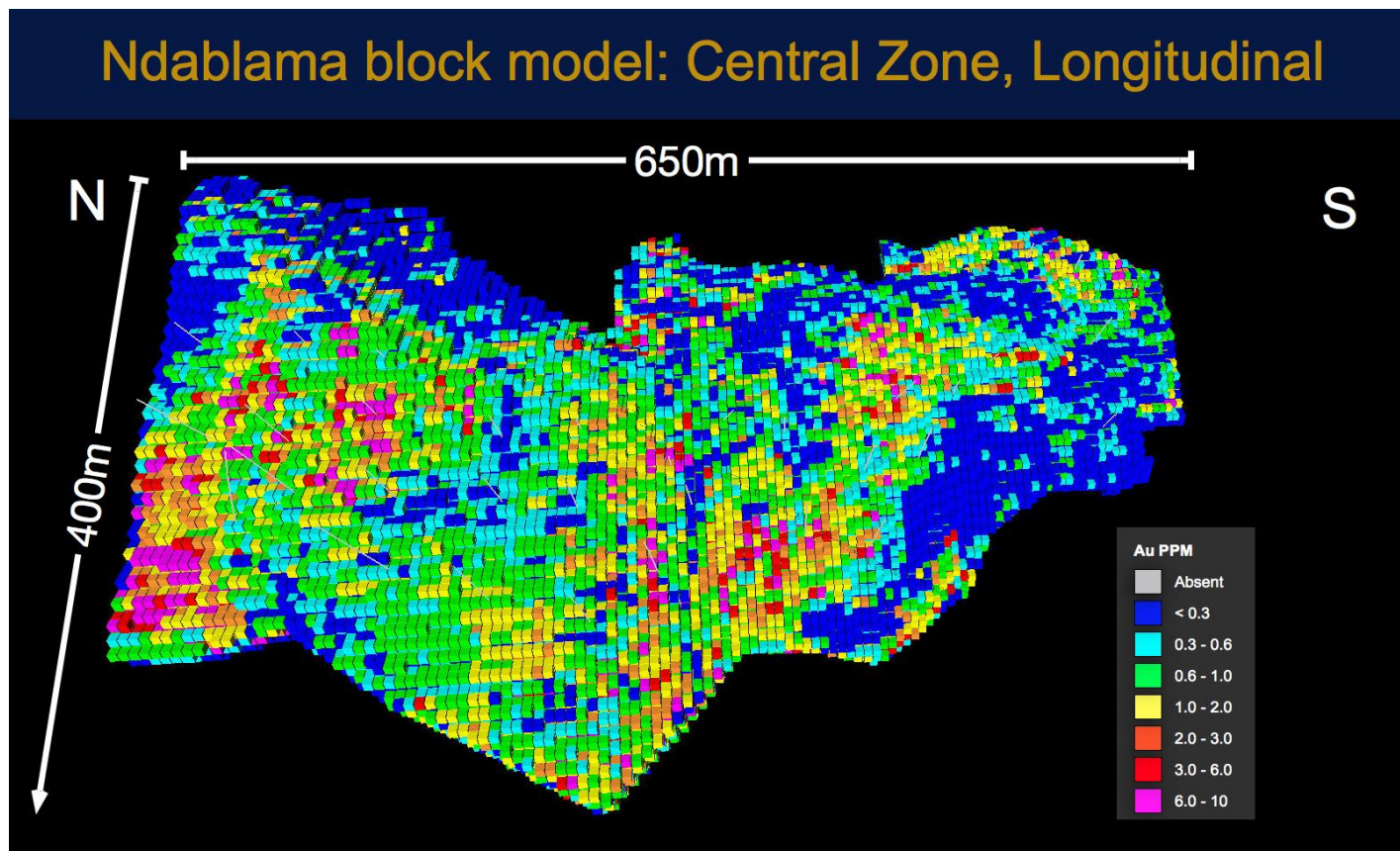
Atividades de Desenho de Cava

- Informações Técnicas (Modelo Geológico)
 - Modelagem Geológica (Blocos)



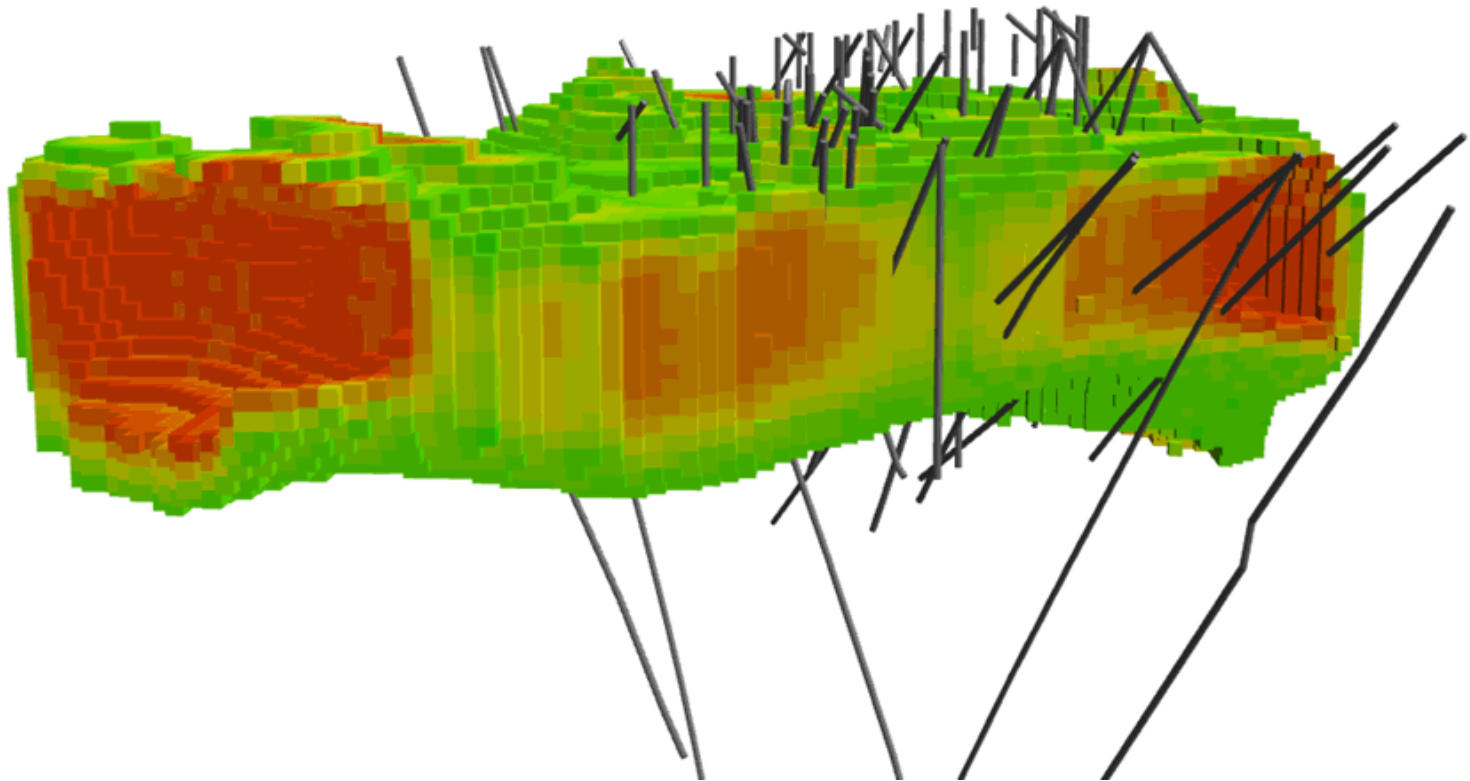
Atividades de Desenho de Cava

- Informações Técnicas (Modelo Geológico)
 - Modelagem Geológica (Blocos)



Atividades de Desenho de Cava

- Informações Técnicas (Modelo Geológico)

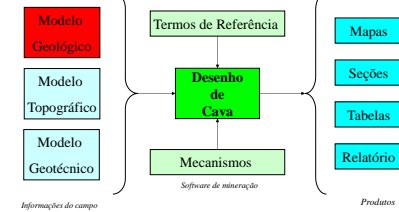




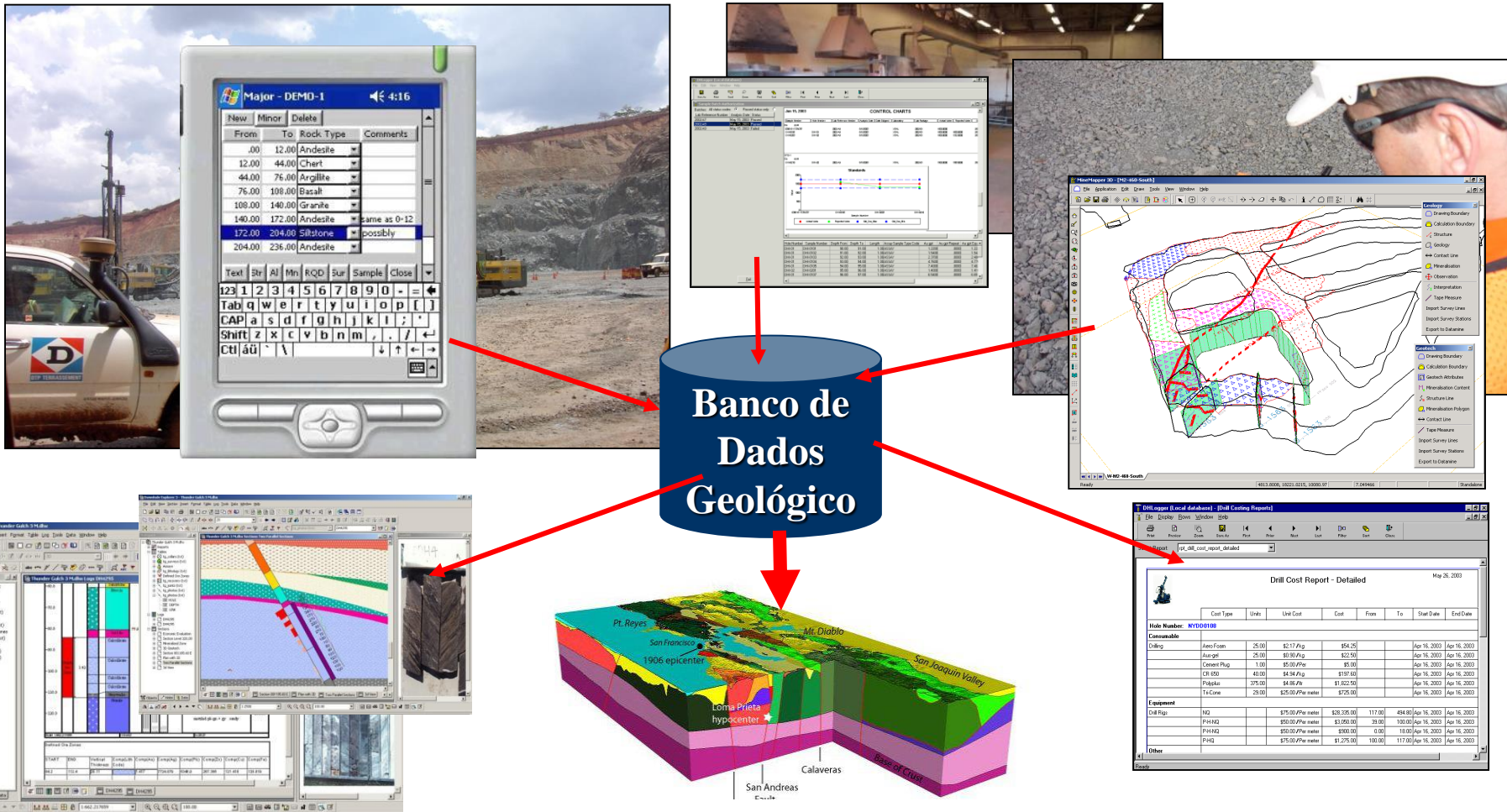
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



FLUXO DE DADOS GEOLÓGICOS



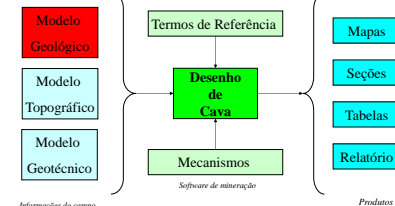
Modelo Geológico



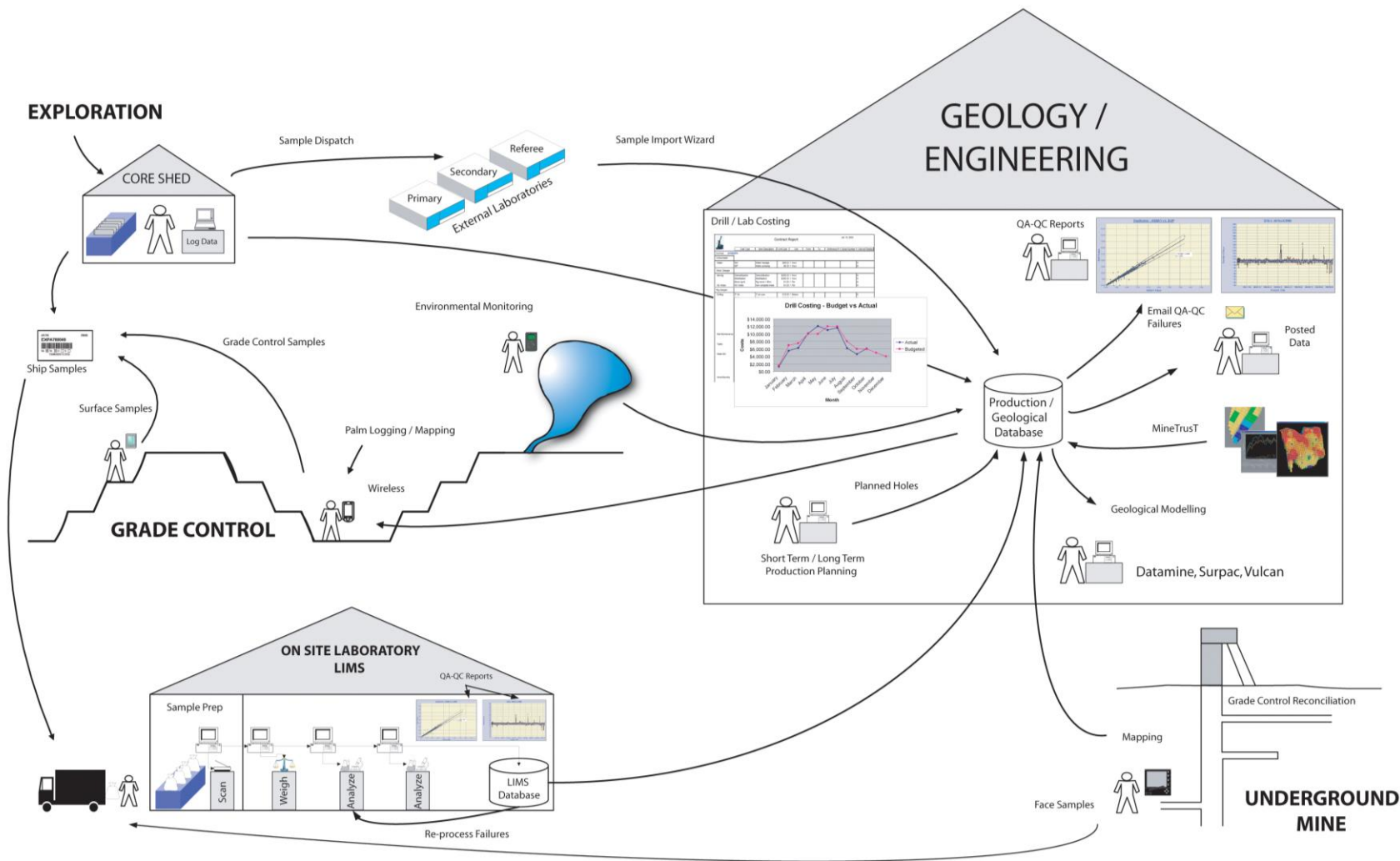
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



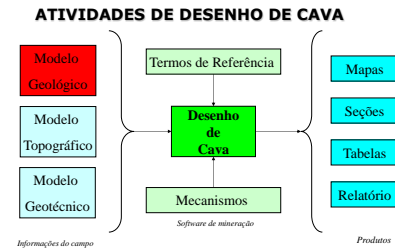
FLUXO DE DADOS GEOLÓGICOS





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:

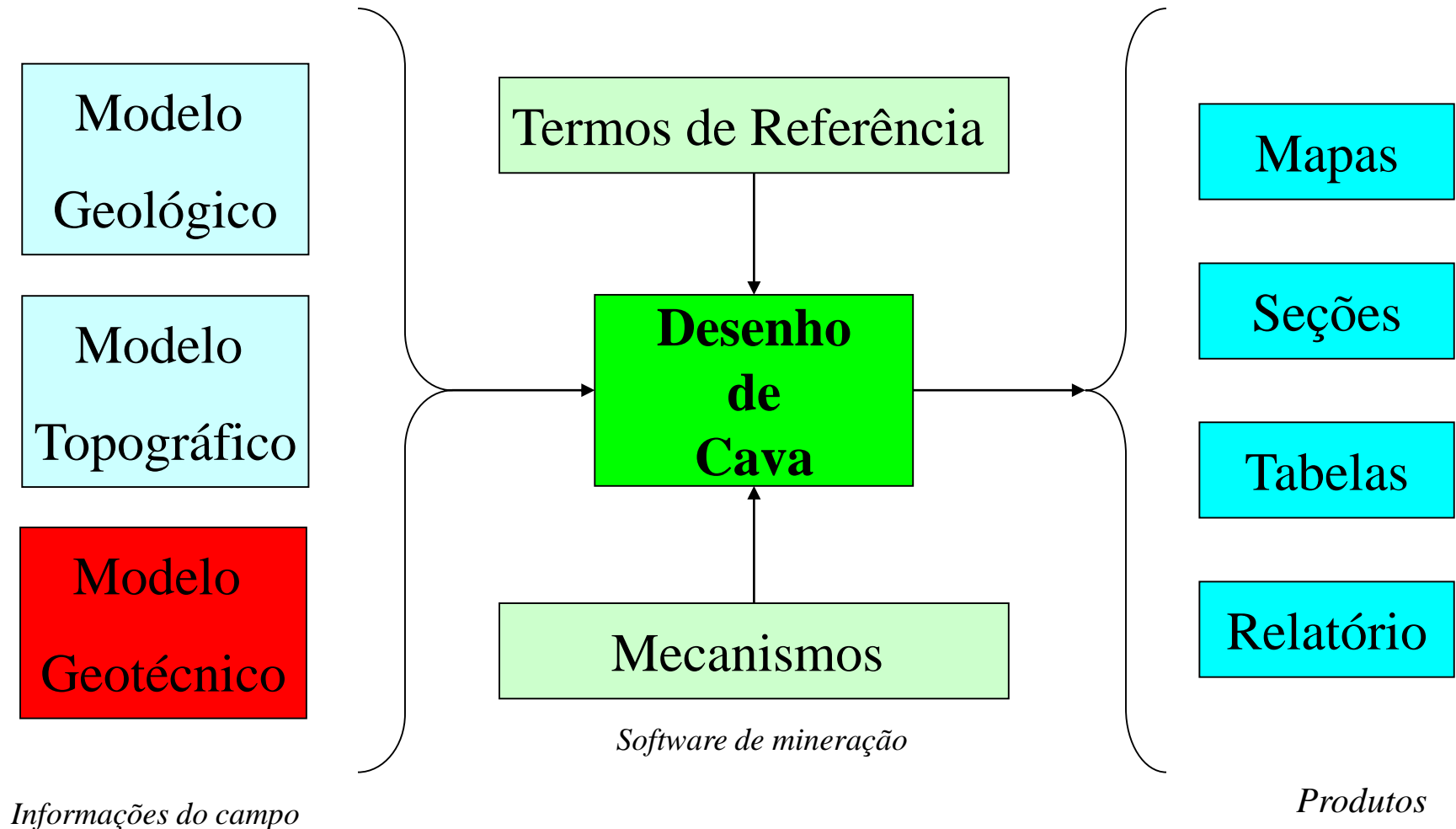
<http://www.ctech.com/index.php?page=geology>



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA

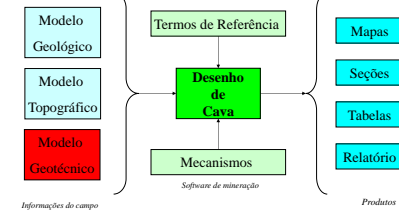




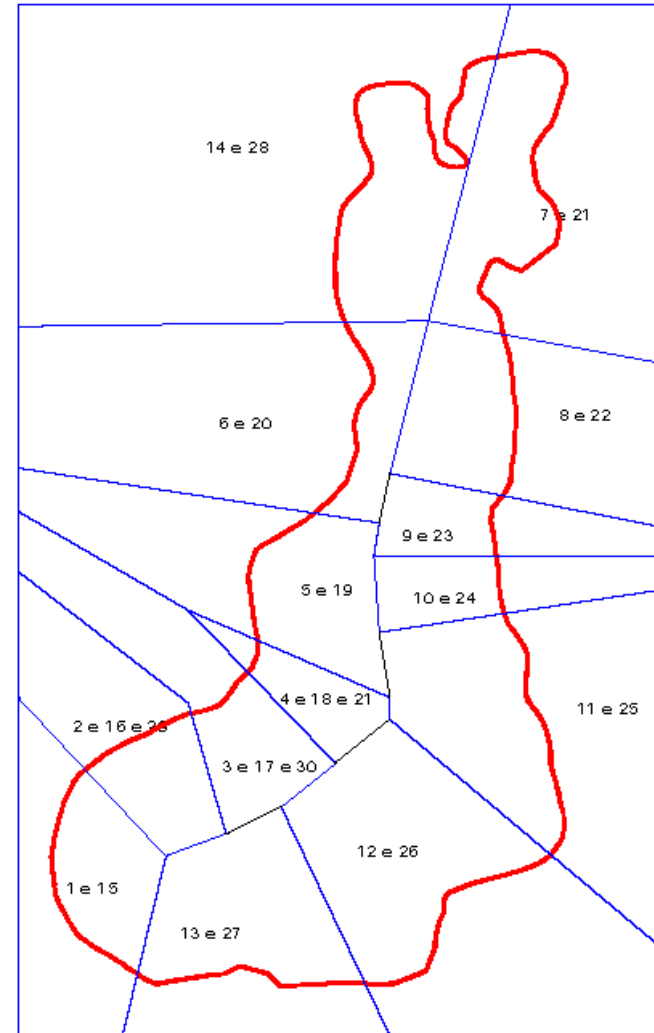
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



SETORIZAÇÃO GEOTÉCNICA

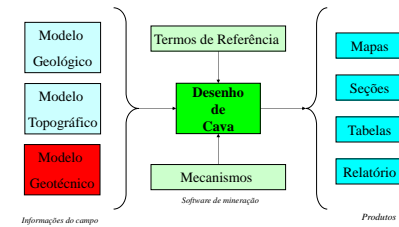




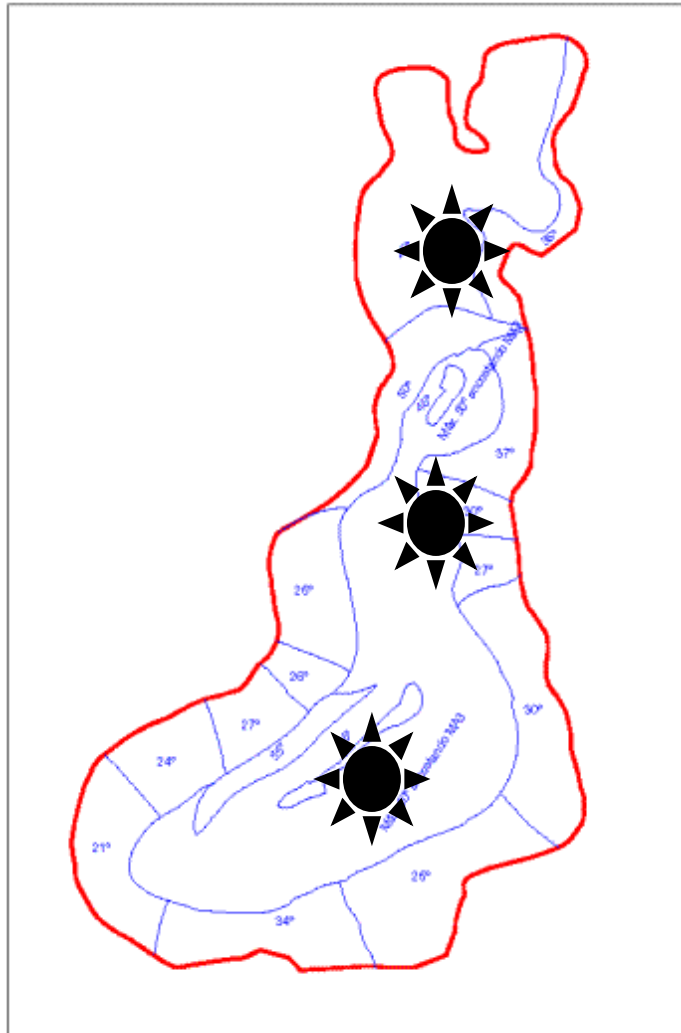
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

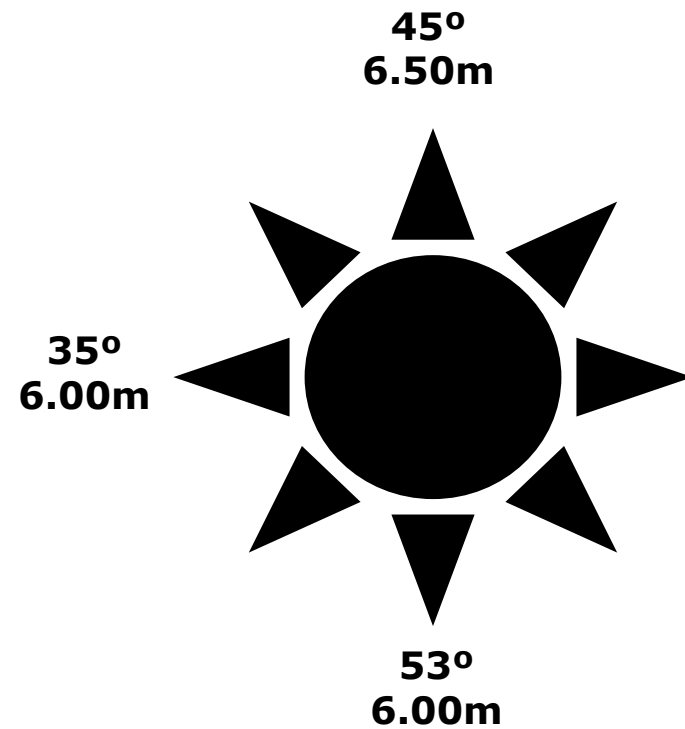
ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



USO DE "rosettes"



Exemplo:

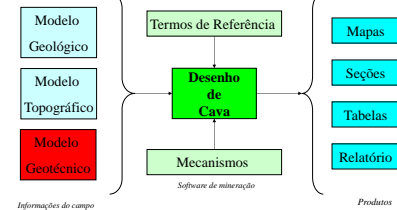




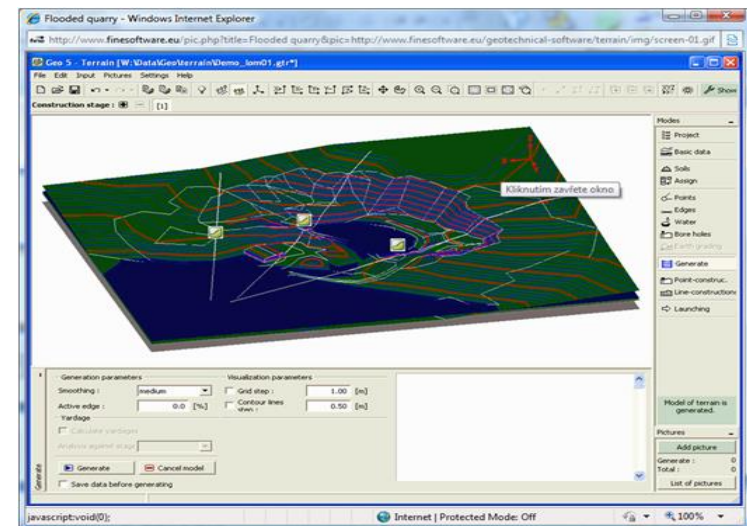
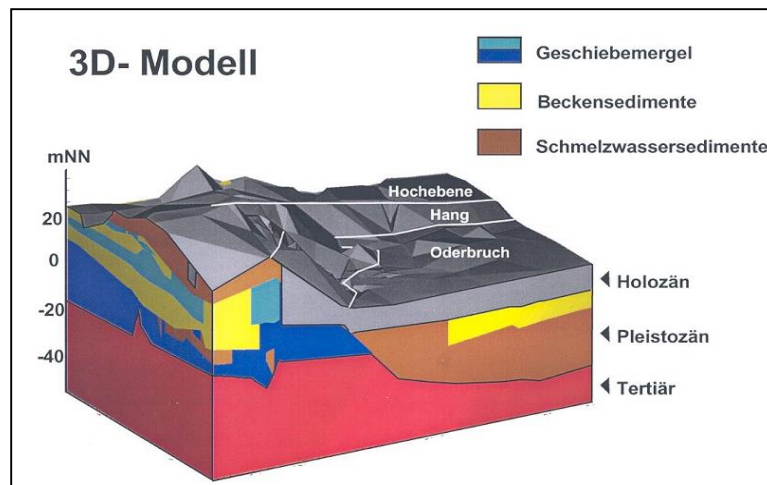
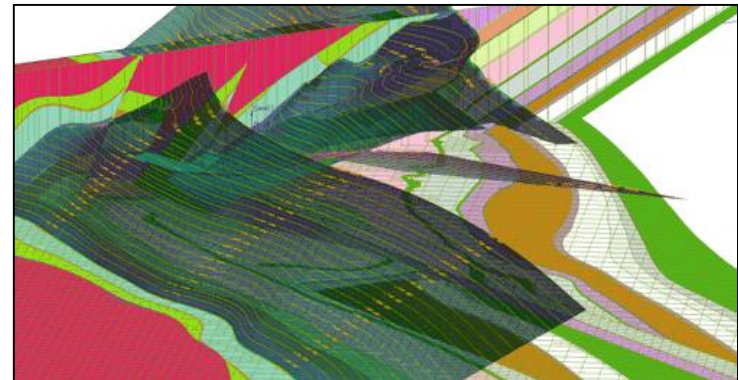
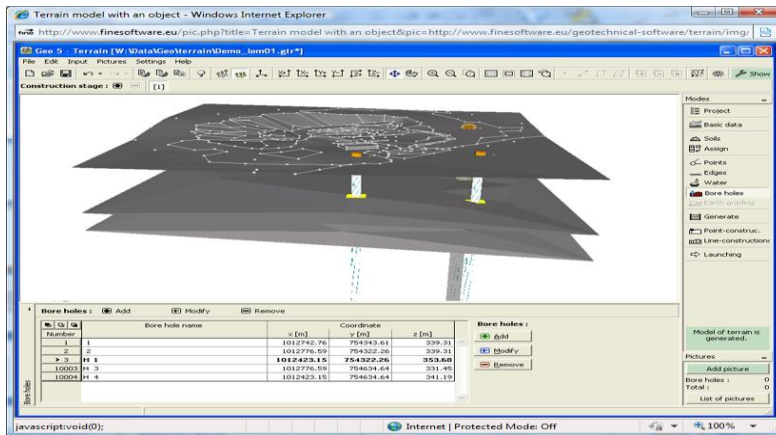
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



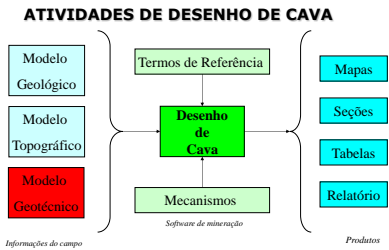
Manuseio do Modelo Geotécnico





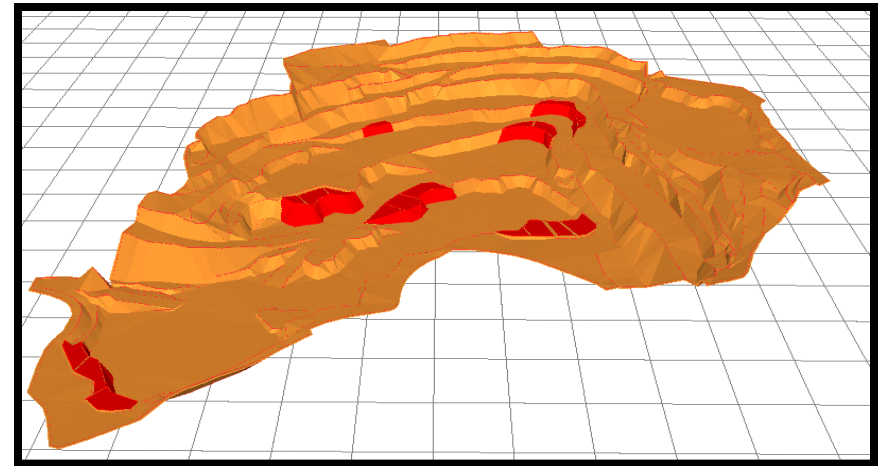
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto



DRENAGEM

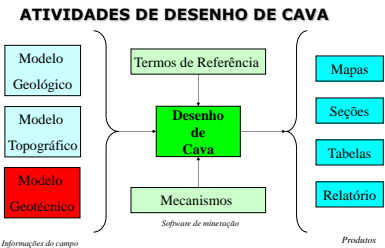
- Nos bancos
- Na cava
- Estação Chuvosa
- Exemplos (deslizamento, drenagem KJS)
- Outros fatores



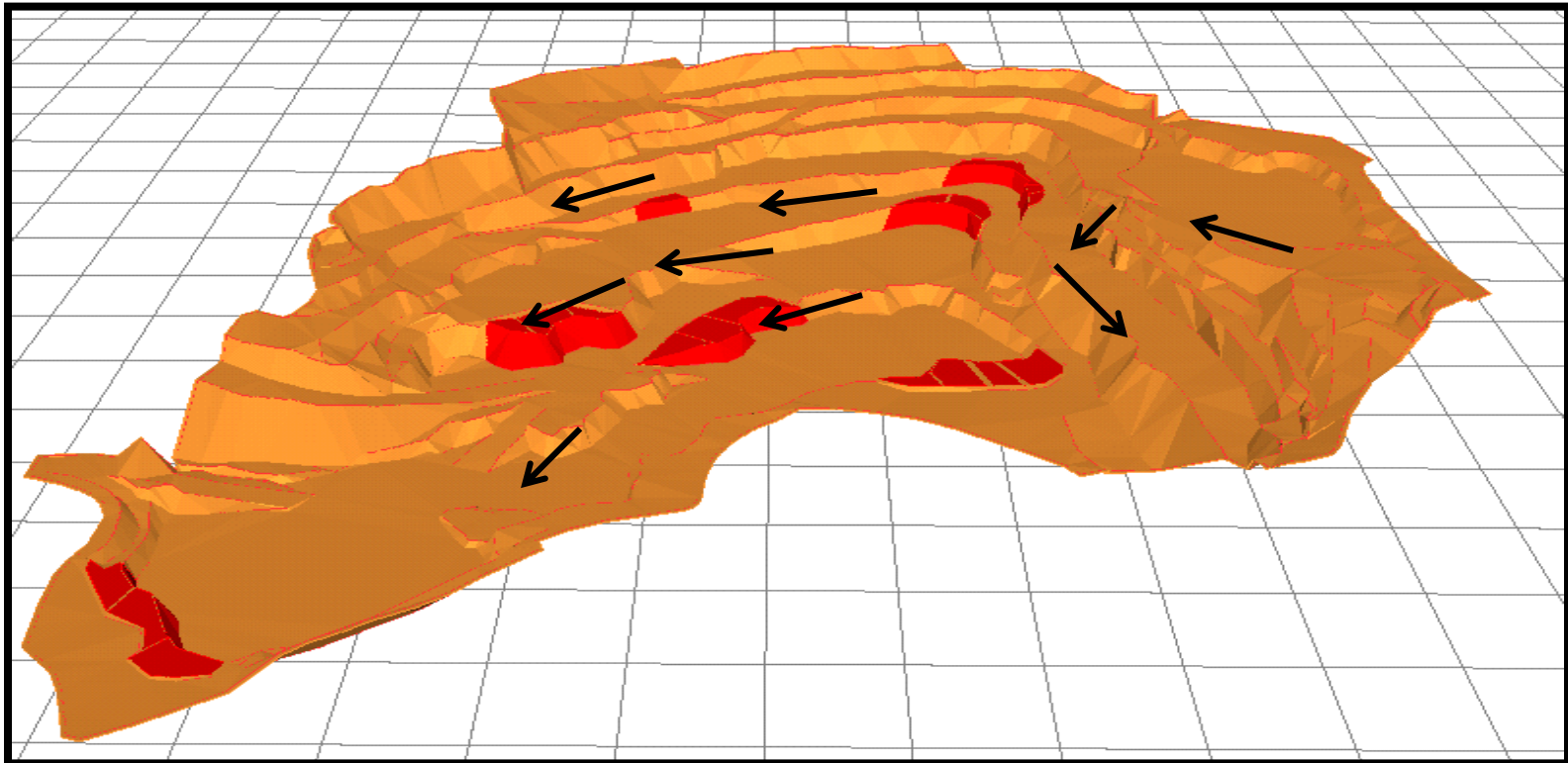


ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto



DRENAGEM NOS BANCOS



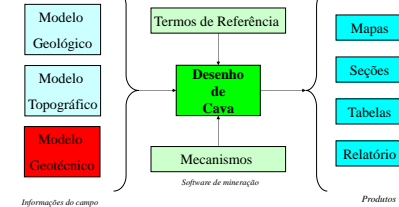
- Valores típicos: inclinação de 0.5% a 1% nos bancos



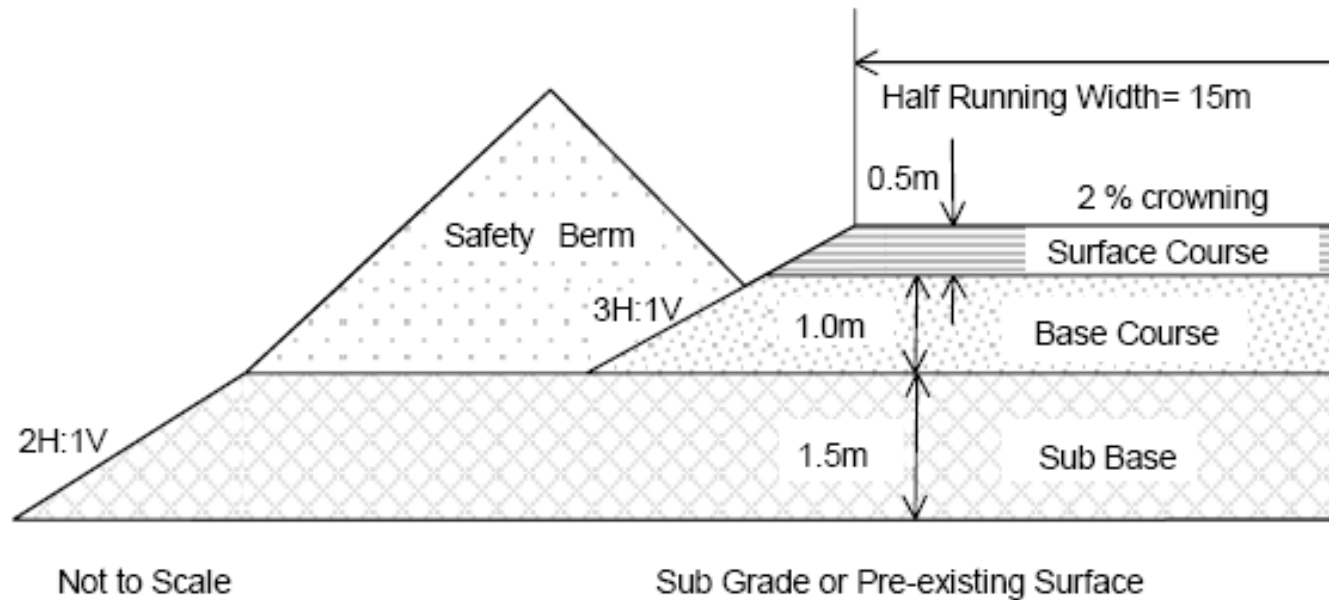
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



DRENAGEM EM RAMPAS E ACESSOS

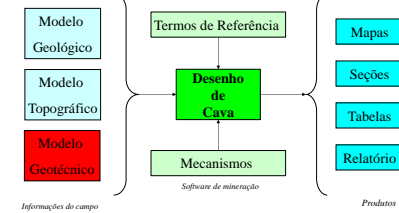




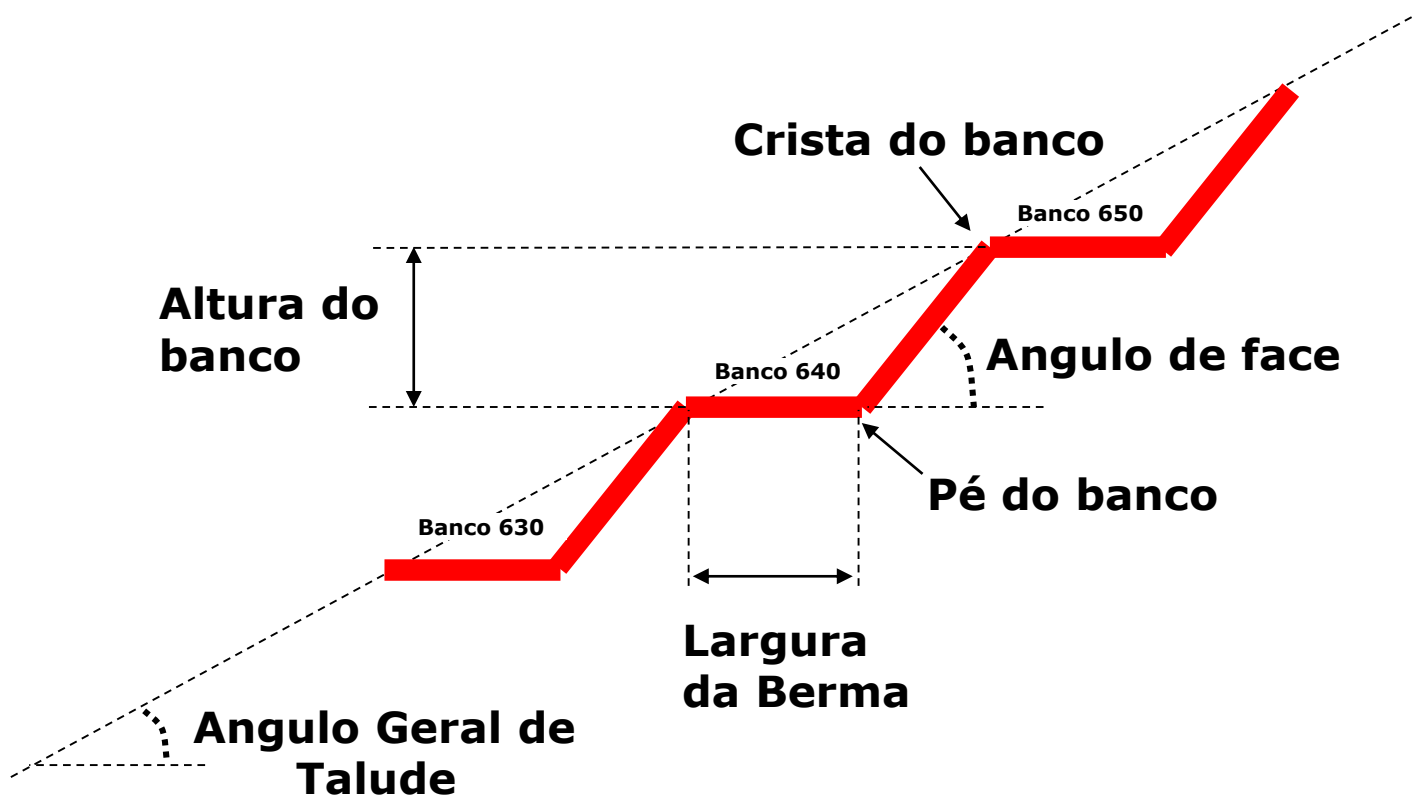
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



NOMENCLATURA USUAL



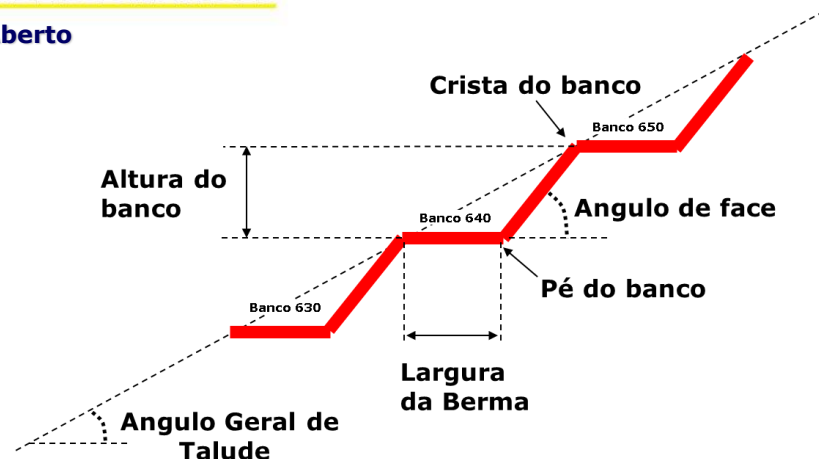


ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

Atividade

Converta os ângulos gerais de talude na tabela a seguir para ângulos de face, considerando altura do banco de 15 m e a largura de berma de 8 m:



Litologia	Altura Banco (m)	Largura Berma (m)	Ângulo Geral de Talude (°)	Ângulo de Face (°)
Rocha compacta	15 m	8 m	41 °	?
Formação Quartzito	15 m	8 m	51 °	?
Rocha Alterada	15 m	8 m	33 °	?

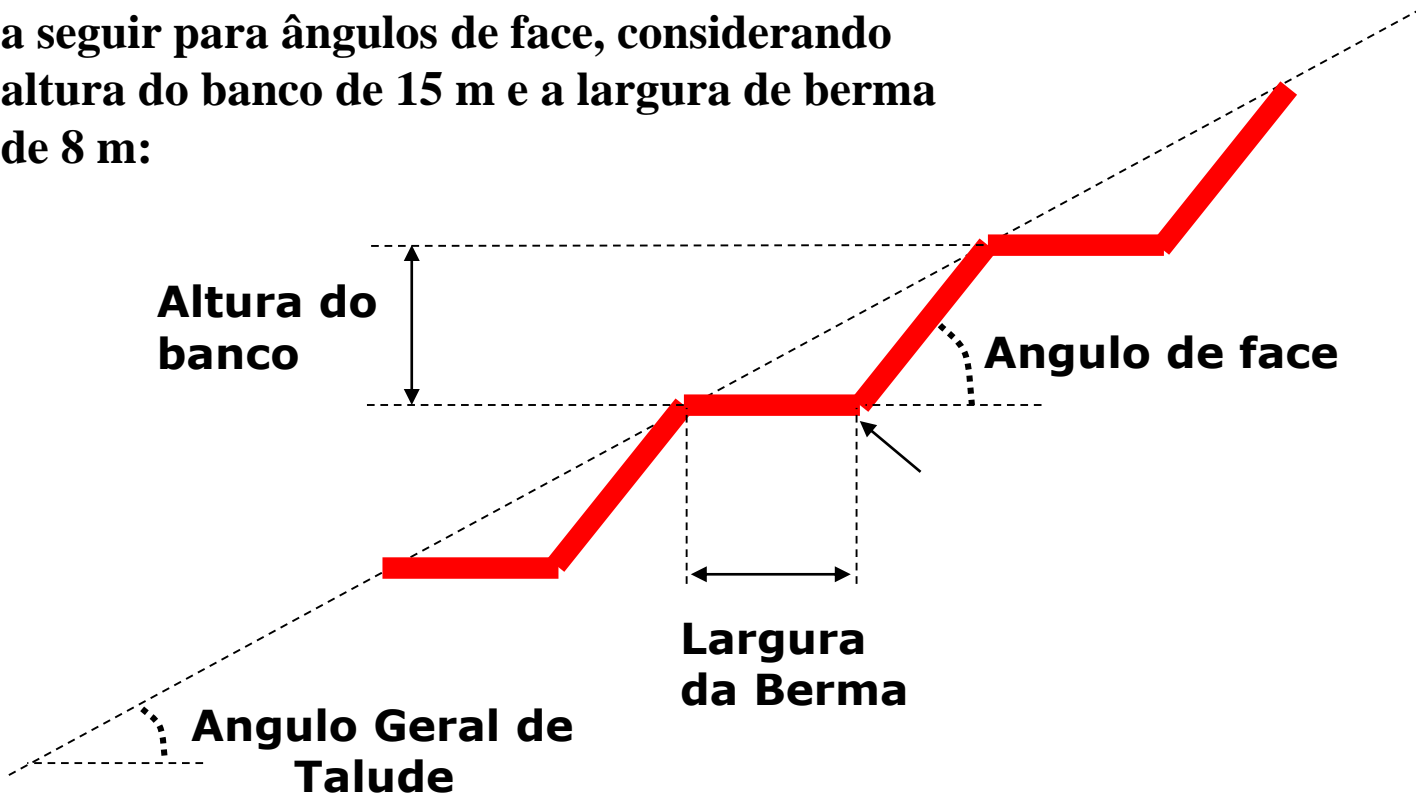


ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

Atividade

Converta os ângulos gerais de talude na tabela a seguir para ângulos de face, considerando altura do banco de 15 m e a largura de berma de 8 m:



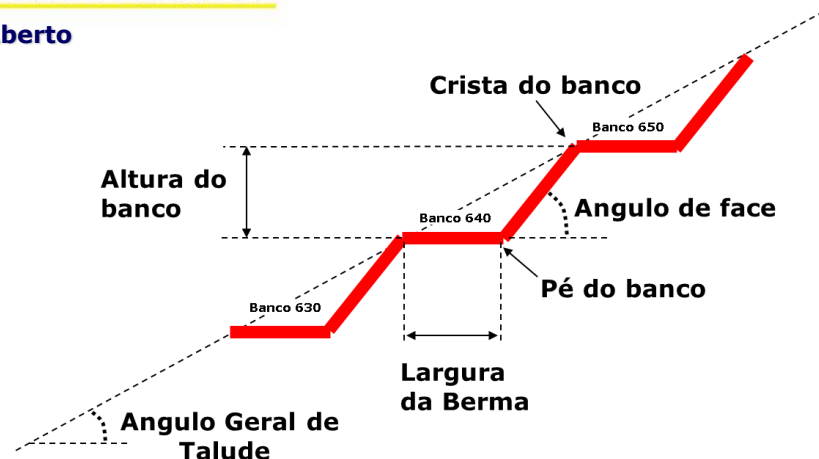


ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

Atividade

Converta os ângulos gerais de talude na tabela a seguir para ângulos de face, considerando altura do banco de 15 m e a largura de berma de 8 m:



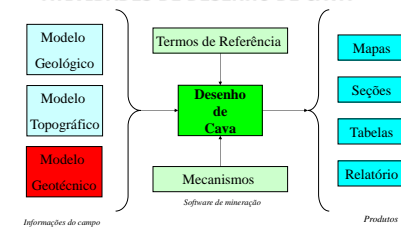
Litologia	Altura Banco (m)	Largura Berma (m)	Ângulo Geral de Talude (°)	Ângulo de Face (°)
Rocha compacta	15 m	8 m	41°	58°
Formação Quartzito	15 m	8 m	51°	75°
Rocha Alterada	15 m	8 m	33°	45°



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



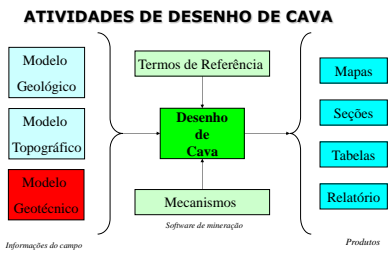
EXEMPLOS





ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto



EXEMPLOS

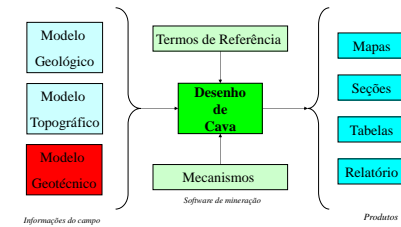




ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



EXEMPLOS



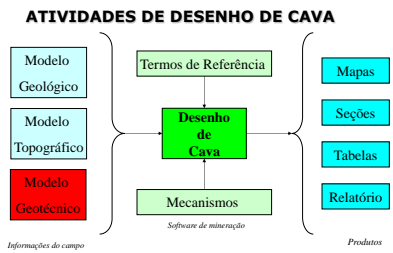




ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

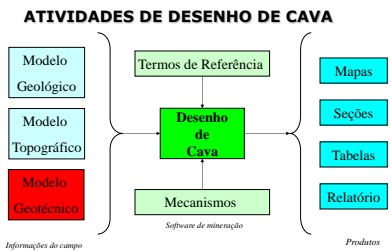
EXEMPLOS





ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto



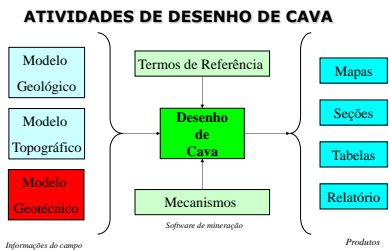
EXEMPLOS





ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto



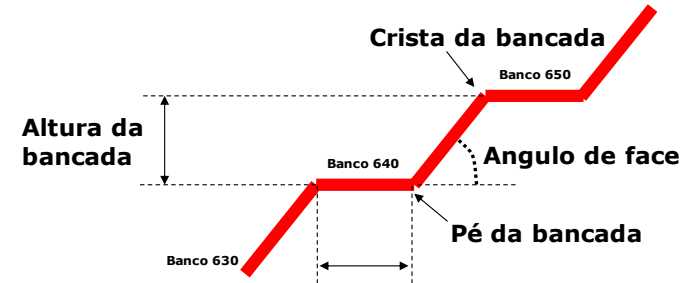
EXERCÍCIO

Drenagem na rampa

Q1: É necessária?

Q2: Porque?

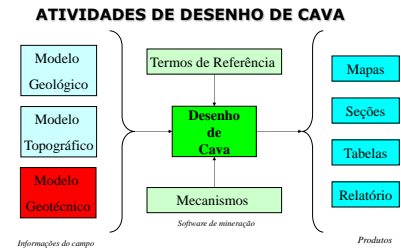
Q3: Como fazer?





ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto



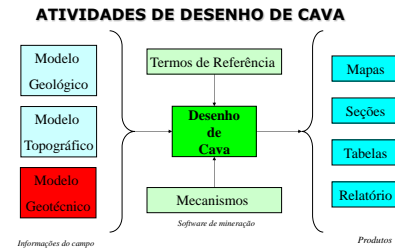
EXEMPLO

- 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



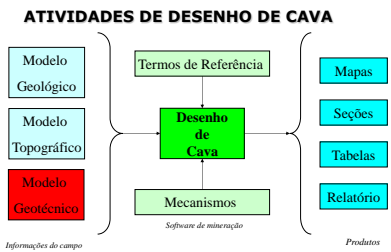
Exemplo: Ruptura do Morro do Patrimônio

- 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

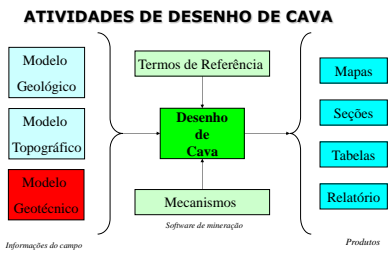


Nota: observar a complexidade do talude e da configuração da cava



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto



Vista após a ruptura

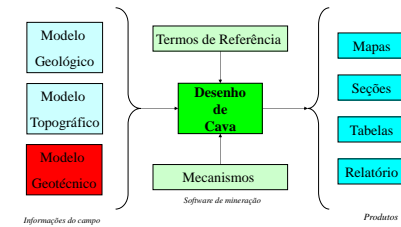




ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



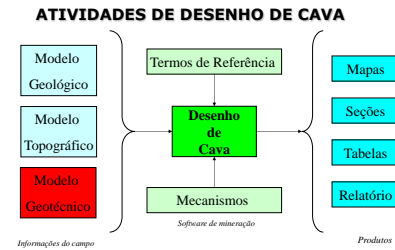
Detalhe da base da ruptura





ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto



Causas Prováveis

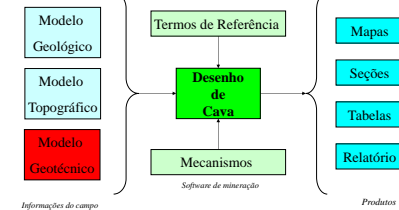
- Desde o aparecimento dos primeiros sinais de instabilidade até a ruptura total foram decorridos 21 dias, sendo que a ruptura ocorreu de forma brusca, na madrugada do último dia.
- A geologia no local é composta de camadas de hematita e filito de consistência friável, em contatos ondulados e concordantes 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



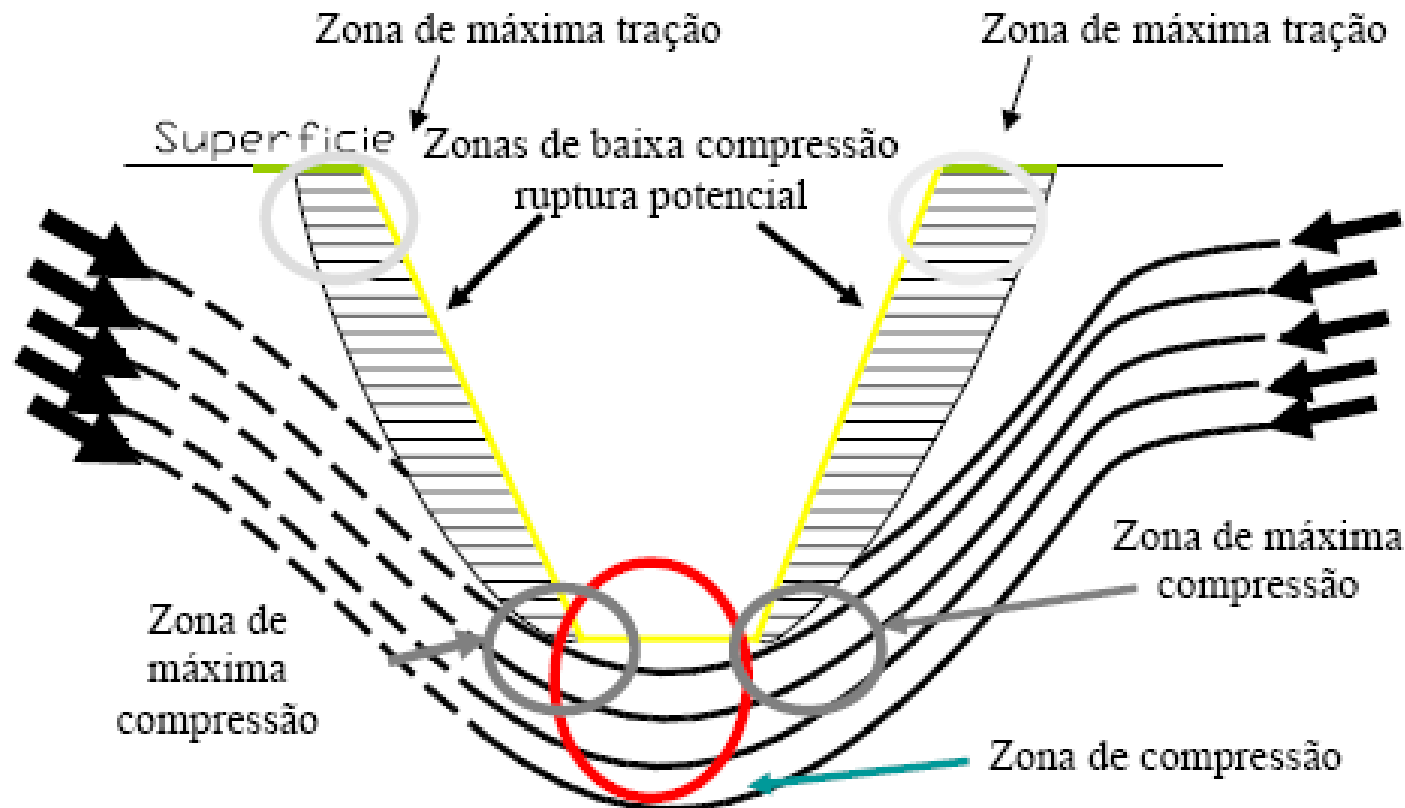
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



Campo de tensões em taludes de cava

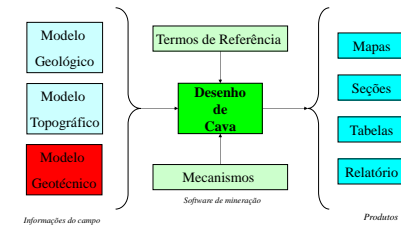




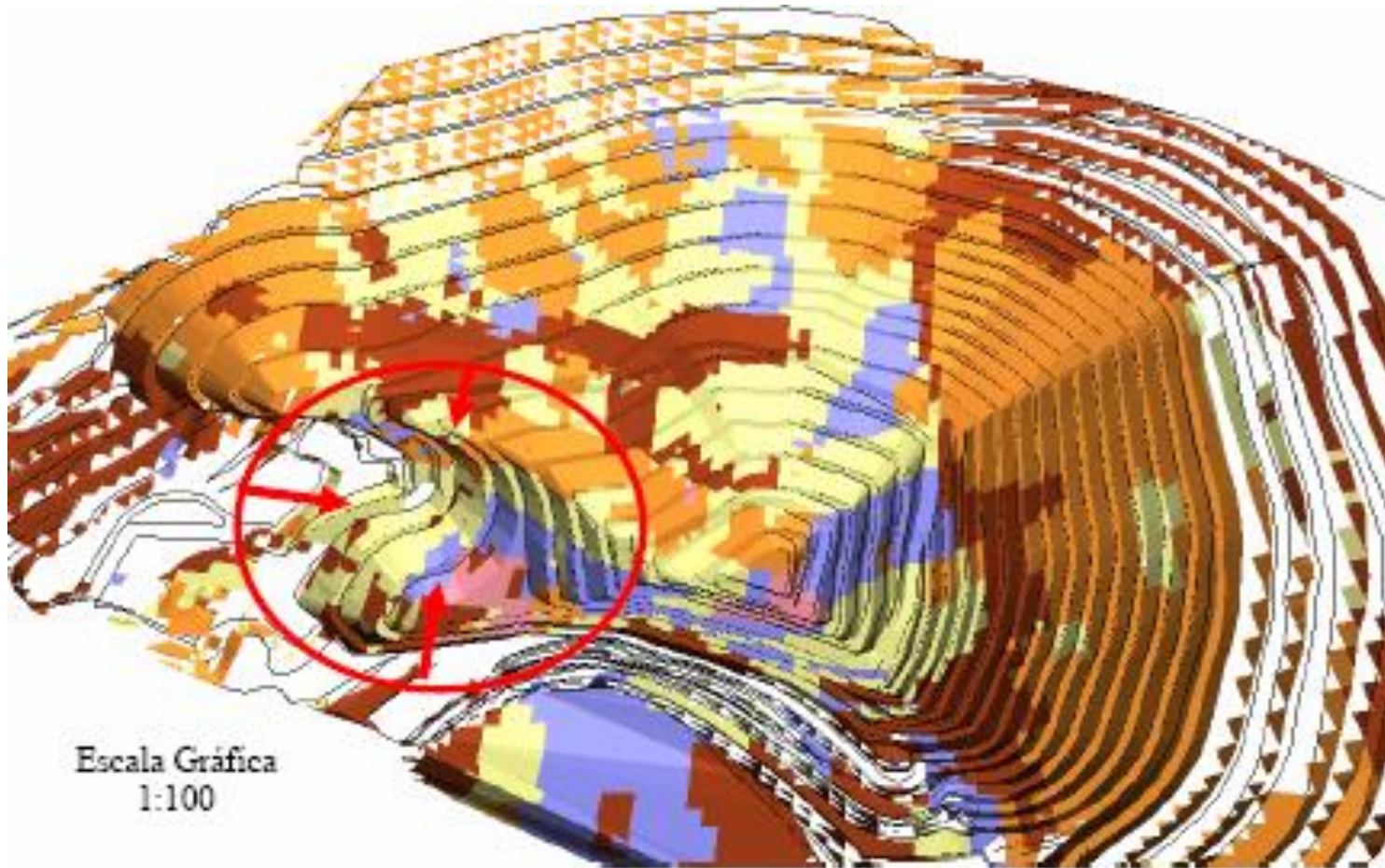
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



Influência da configuração da cava

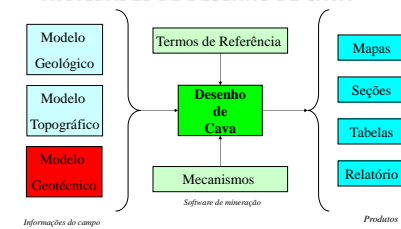




ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI 3325 – Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



Ruptura do Morro do Patrimônio (1992)

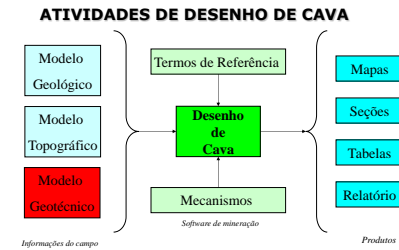


Incluir: imagens da RECUPERAÇÃO DO TALUDE pós-ruptura



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**?