



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI-5014

Projeto de Planejamento e Sequenciamento de Lavra

Aulas 02-03 (2023)

Planejamento Estratégico de Lavra

Prof. Giorgio de Tomi
Eng. Rafael Araos (Pesquisador)



Programação 2023

Programação		Atividades
Terça Feira 03/maio/2022	13:00-14:30	Ciclo de planejamento de lavra, recursos, reservas e fatores modificadores
	14:30-16:00	Sessão prática 1: EDA e Tratamento de dados geológicos
	16:00-19:00	Trabalho em equipe: breakout rooms virtuais
Quarta Feira 04/maio/2022	13:00-14:30	Planejamento estratégico de lavra: conceitos e princípios
	14:30-16:00	Sessão prática 2: Análise de cenários econômicos e operacionais
	16:00-19:00	Trabalho em equipe: breakout rooms virtuais
Quinta Feira 05/maio/2023	13:00-14:30	Conceitos de planejamento de lavra de Longo Prazo
	14:30-16:00	Sessão prática 3: otimização de lavra e operacionalização
	16:00-19:00	Trabalho em equipe: breakout rooms virtuais
Sexta Feira 06/maio/2023	13:00-14:30	Indicadores de planejamento de lavra, ESG e tendências tecnológicas para o setor.
	14:30-16:00	Sessão prática 4: Sequenciamento de lavra: análise de variáveis econômicas e operacionais
	16:00-19:00	Apresentação e discussão dos resultados, revisão do aprendizado e encerramento



Temas das Seções Práticas (2023)

Temas das seções práticas
Sessão prática 1: EDA e tratamento estatístico de dados geológicos para estimativa de modelos de blocos considerando a seleção de equipamentos de lavra
Sessão prática 2: Análise comparativa de diferentes cenários econômicos e operacionais e seus impactos no resultado final de projetos de mineração
Sessão prática 3: Otimização de lavra (métodos manuais e computacionais) e operacionalização.
Sessão prática 4: Sequenciamento de lavra, análise do comportamento de variáveis econômicas (VPL) e operacionais, empilhamento de estéril em cava.

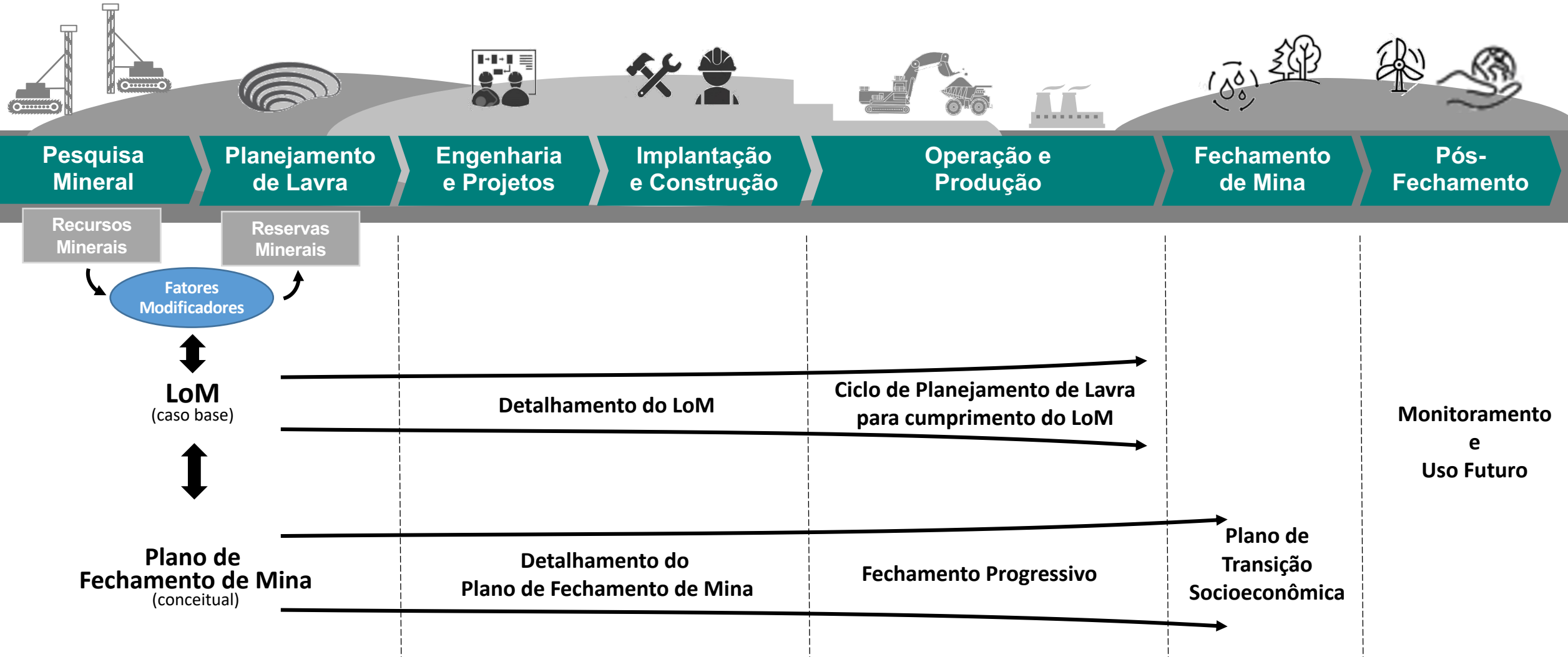


Aulas 02-03: Conteúdo

- **Planejamento Estratégico de Lavra: definições e conceitos**
- **Horizontes de planejamento de lavra**
- **Visão estratégica, tática e operacional do Planejamento de Lavra**
- **Conceituação de planejamento de longo prazo**
- **Premissas típicas de planejamento de longo prazo**
- **Planejamento de longo prazo em mina a céu-aberto**
- **Modelos de entrada: modelo geológico e geotécnico**
- **Função benefício e teor de corte**
- **Sequenciamento de lavra**
- **Análise de sensibilidade e avaliação de riscos**

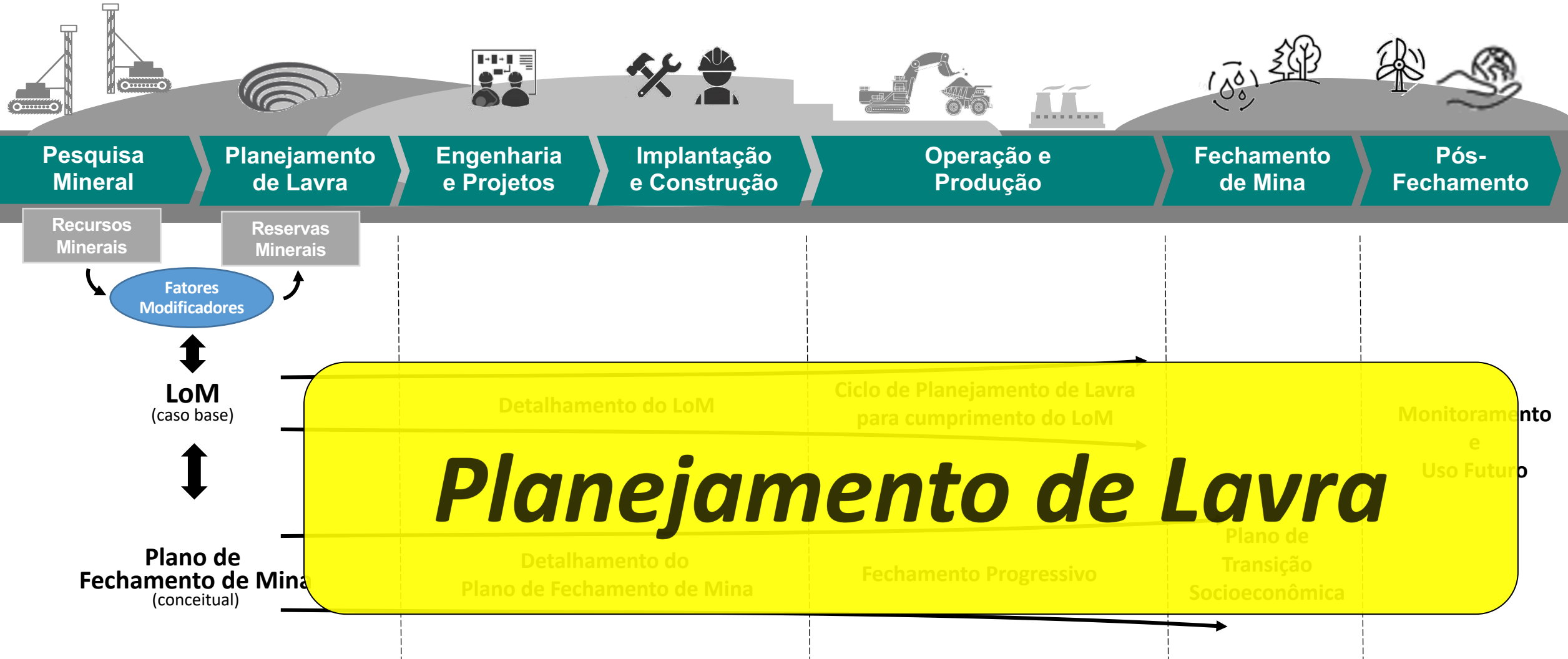


Cadeia de Valor Mineral





Cadeia de Valor Mineral





Planejamento Estratégico de Lavra



- Nesta etapa inicial, são definidos os **FATORES MODIFICADORES**
- Esses fatores determinam “como” será a mina: Estratégia de Lavra; Abrangência do Projeto; Método de Lavra; Produtos e Mercados; Viabilidade Econômica; Compromissos Socioambientais para o Desenvolvimento Sustentável
- Essa etapa é conhecida como **PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DE LAVRA**, que posteriormente se desdobra no **CICLO DE PLANEJAMENTO DE LAVRA** em seus vários níveis e horizontes.



Conceitos de Planejamento Estratégico de Lavra

- O **planejamento estratégico de lavra** corresponde ao processo para se determinar o **"melhor" projeto e sequenciamento da lavra**, segundo uma estratégia de negócio previamente estabelecida.
- É considerado um **elemento chave para o sucesso** de um empreendimento de mineração, uma vez que subsidia o processo decisório sobre a sua condução e desenvolvimento.

*“O planejamento é uma **atividade criativa**, enquanto a otimização é um processo analítico. Não são muitas as otimizações a serem formuladas para uma estratégia; isto é refinar a estratégia escolhida. Planejamento é a atividade primária, a otimização é complementar”*



Conceitos de Planejamento Estratégico de Lavra

- O **planejamento estratégico de lavra** é a arte e a ciência na gestão de negócios de mineração envolvendo o aproveitamento de bens minerais, buscando alcançar os objetivos de uma organização, **de forma eficiente e eficaz, de forma a atender estratégia do negócio alinhado à melhoria contínua da operação.**
- Trata-se de um **conceito interdisciplinar** envolvendo as atividades de **coordenar, planejar, organizar, dirigir, controlar**, mitigando as mudanças **sociais, políticas e culturais** de toda a cadeia produtiva do bem mineral até o fechamento de mina.
- Habilidades interpessoais como **facilidade de trabalhar em equipe, escuta ativa, compromisso, liderança, motivação e flexibilidade** são atributos essenciais de profissionais que trabalham com planejamento de lavra.

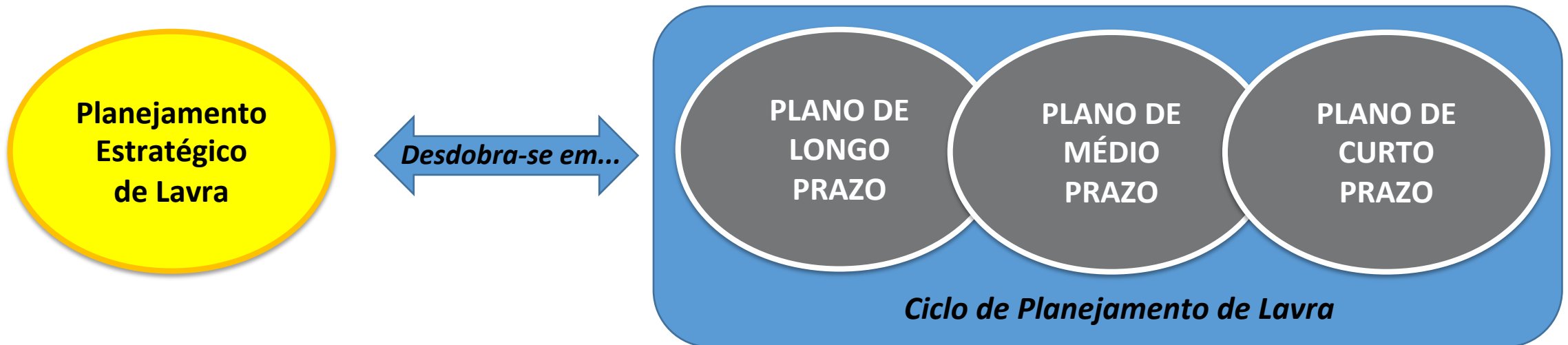


Planejamento de Lavra: Níveis e Horizontes

O planejamento da lavra determina o **roteiro das operações de mineração**

Uma vez estabelecida a estratégia do negócio, o planejamento estratégico de lavra desdobra-se **no Ciclo de Planejamento de Lavra**, que se baseia em planos diferenciados pelas suas finalidades e naturezas.

Estes planos classificam-se em **três horizontes**:





Planejamento de Lavra: Níveis e Horizontes

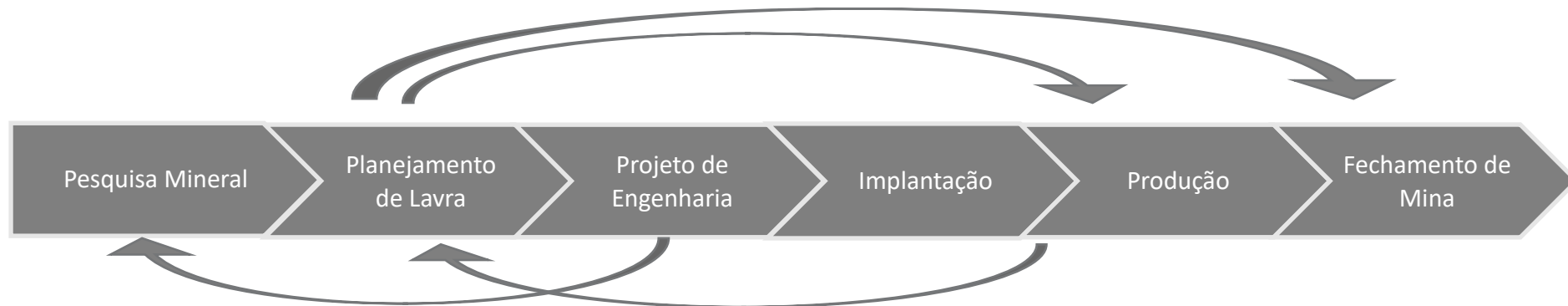




Planejamento de Lavra: Natureza cíclica

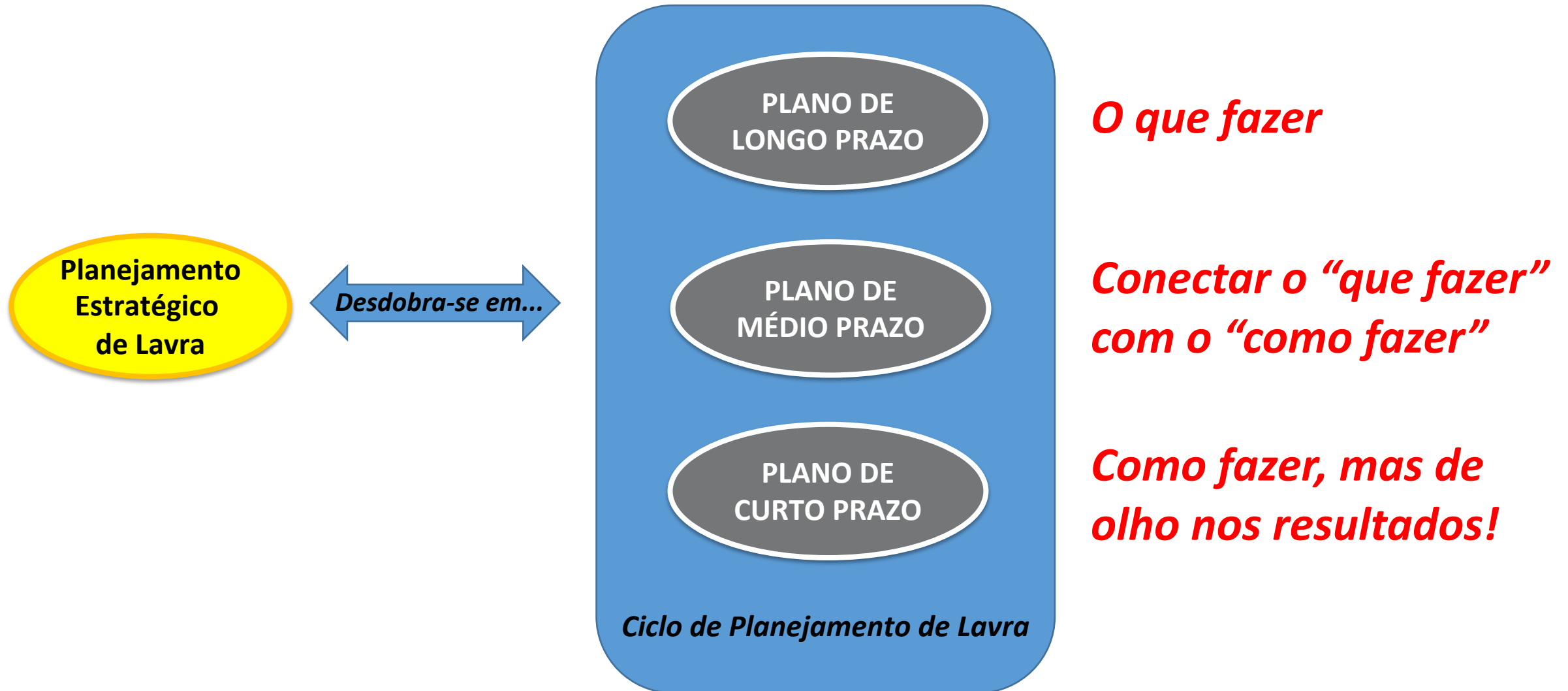
Envolve toda a cadeia produtiva do bem mineral; A **estratégia** é associada a **o que fazer**, **tática e operacional** é associada a **como fazer**.

Definir uma **estratégia** e mantê-la **atualizada** é importante porque ela funcionará como um roteiro, partindo da posição atual e permitindo traçar a melhor trajetória para se chegar aos resultados esperados.





Planejamento de Lavra: Natureza cíclica





Planejamento de Lavra: Plano de Longo Prazo

A metodologia de PLP foi desenvolvida na década de 50. Sofreu influência de metodologias de economias planejadas a longo prazo (dez anos ou mais) tornando-se focada na projeções de lucros (*Bower, 1966*).

A partir dos anos 90 muitas empresas passaram a utilizar o termo “*Planejamento Estratégico*” e “*Plano LOM*”

O planejamento de longo prazo leva em conta os aspectos **estratégicos, técnicos, econômicos, socioambientais, políticos e legais**.

Um bom planejamento de lavra de longo prazo é fundamental para permitir o **aproveitamento dos recursos minerais de forma responsável** com foco no retorno econômico, sustentabilidade e minimização de riscos.



Planejamento de Lavra: Plano de Médio Prazo

O planejamento de médio prazo é responsável por **conectar a estratégia** (o que fazer) **com a execução** (como fazer), analisando as situações de contorno e buscando alternativas para o desenvolvimento da lavra.

O foco está **nos ajustes de capital** (por exemplo, mudança do britador, renovação de frota) e ações de médio prazo, como programas de melhoria contínua.



Planejamento de Lavra: Plano de Curto Prazo

Tem o objetivo de definir como deverá ser implementado o plano estratégico no dia-a-dia da organização. Está localizado no nível operacional, e tem por objetivo obter **regularidade, certeza** e o **máximo de eficiência** nas tarefas diárias.

Preocupa-se basicamente com “**como fazer**” no nível em que as tarefas são executadas. Acontece muito próximo à operação e envolve todas as atividades operacionais de controle e verificação da execução.

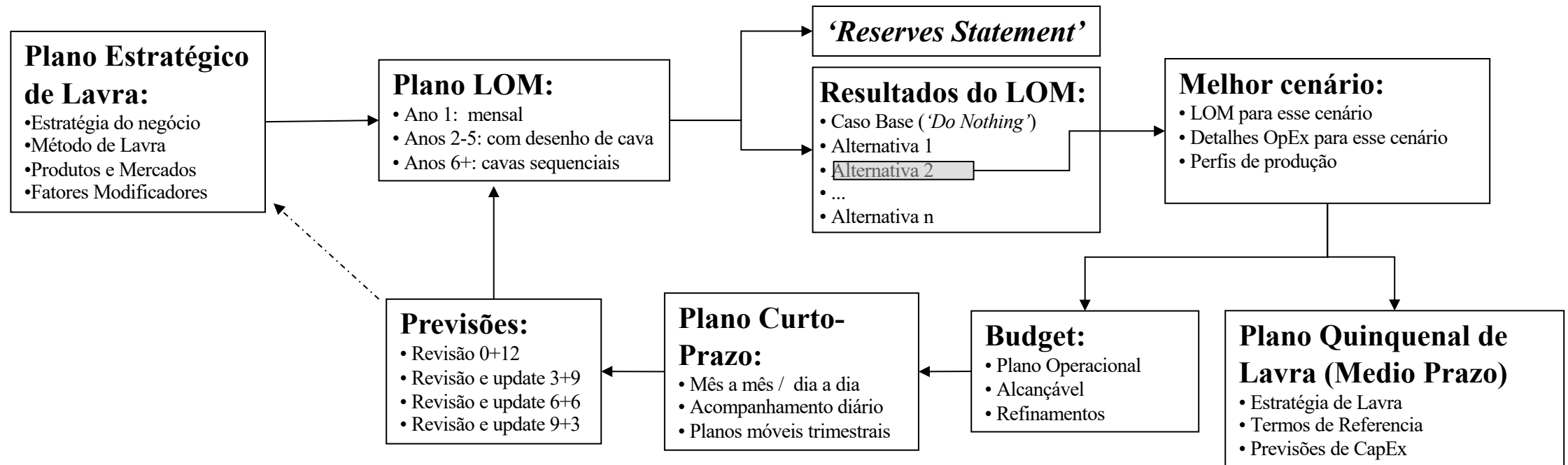


Diretrizes de Planejamento de Lavra: Exemplo

	LONGO PRAZO	PLANO QUINQUENAL	PLANO ANUAL
Foco	Vida útil da mina	Capital	Custo Operacional
Precisão	Classe I (20%)	Classe II (10-15%)	Classe III (5%)
Escopo	Incluir/Eliminar/Adiar Cenários	Ajustar fases de operação e reposição frotas	Gerenciar Índices Operacionais
Receitas	Preços de Projeções de Longo Prazo	Previsões Quinquenais e Contratos	Expectativas anuais e Políticas de Hedging
Frequência	Abril/Maio	Junho/Julho	Agosto/Setembro
Suporte Gerencial	Cenários fornecidos pelo Planejamento Estratégico	Planos de Produtividade Melhoras de Processo	Desempenho x Metas (Compromisso Absoluto)

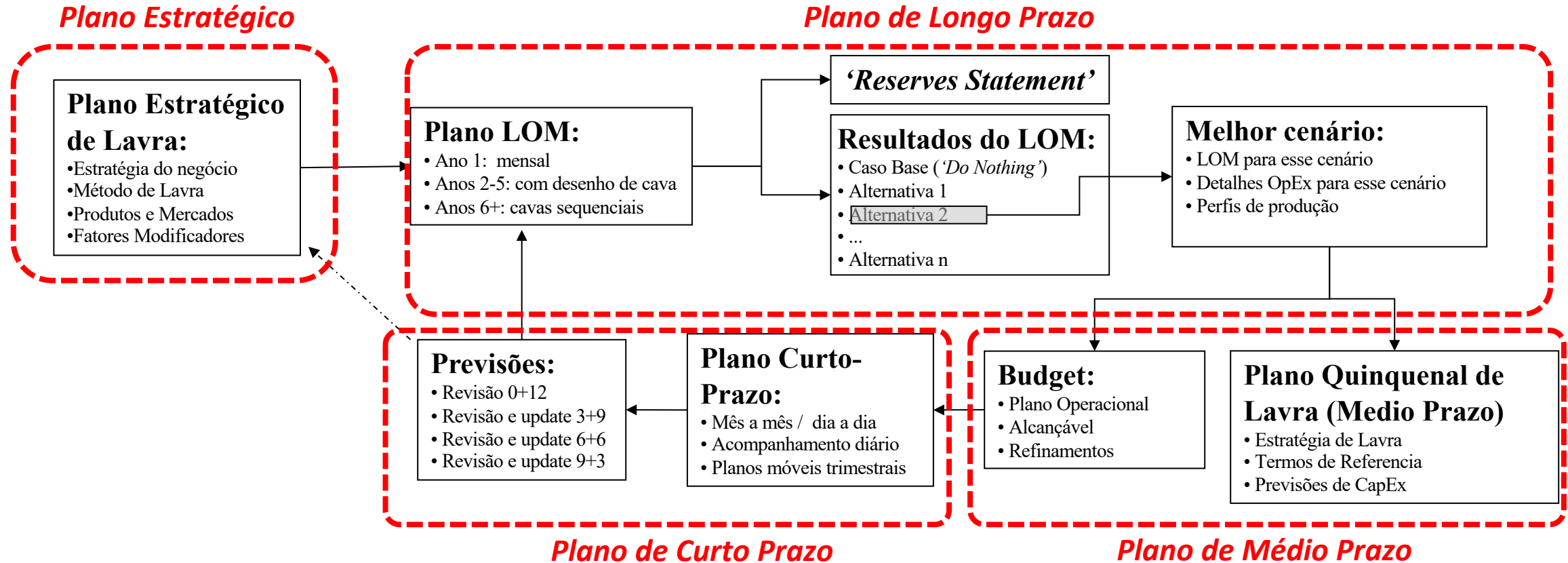


Ciclo de Planejamento de Lavra: Exemplo





Ciclo de Planejamento de Lavra: Exemplo





Diretrizes de Planejamento de Lavra: Exemplo

		Objetivo	Frequência	Período	
↑ Direcionado pelo mercado	LOM	Definir o contexto estratégico.	Anual	Ano	Acuracidade
	5 ANOS	Definição do contexto operacional alinhado com a estratégia e prioridades dos projetos de desenvolvimento	Anual	Ano	
	2 ANOS	Alinhamento do planejamento com as necessidades do COI, sendo base para o ciclo estratégico e orçamentário.	Trimestral	6M - Mês 18M - Trimestre	
↓ Transição	3 MESES	Sequenciar os 3 meses dentro dos marcos trimestrais dando previsibilidade de massa e qualidade ao COI	Mensal	Semana	
↑ Execução do Planejamento	30 DIAS	Apontar as atividades macros semanais e operacionalizar o sequenciamento do M+1 e gerar sólidos semanais	Mensal	Dia	
	2 SEMANAS	Programar as atividades da próxima semana e sinalizar eventos ao corredor	Semanal	Dia	
	DIÁRIO	Executar a programação de atividades garantindo a qualidade	Diário	Turno	



Planejamento de Lavra: Eficácia e Eficiência



Planejamento Estratégico de Lavra

PLANO DE LONGO PRAZO

Visão Estratégica:

- Conhecimento conceitual e estratégico
- Impacto na organização como um todo
- Planejamento de longo prazo
- **Foco na eficácia**

Visão Tática e Operacional:

- Conhecimento tático e técnico
- Impacto em áreas funcionais específicas e operacionais da organização
- Planejamento de médio e curto prazos
- **Foco na eficiência**

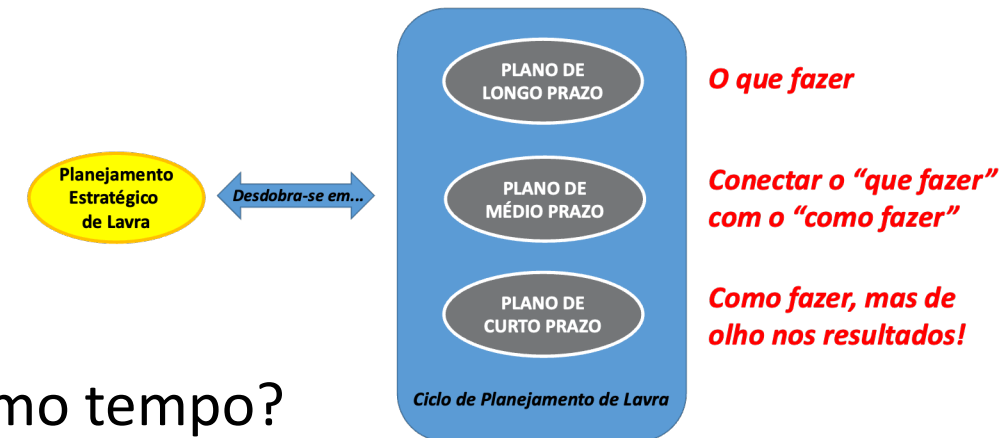
PLANO DE CURTO PRAZO

PLANO DE MÉDIO PRAZO



Aula 02: Aprendizado

- Quais os horizontes de planejamento?
- Qual a diferença entre planejamento estratégico de lavra e planejamento de lavra de longo prazo?
- Qual o foco dos horizontes de planejamento?
- Eficácia e Eficiência são sinônimos?
- Eficácia e Eficiência podem ser alcançadas ao mesmo tempo?





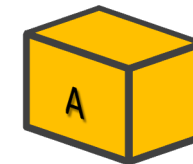
Atividade Aulas 02-03: Modelo Econômico

Atividade em grupo:

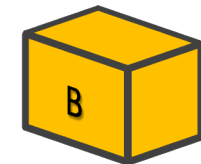
Ao construir um modelo econômico de uma jazida de ouro, o planejamento de lavra busca maximizar a produção econômica de metal. Foi definido um **teor de corte de 6 g/t** de minério para o aproveitamento econômico dessa jazida.

Suponhamos que há dois blocos de 100 t cada para serem lavrados, **Bloco A** de 8 g/t e **Bloco B** de 5 g/t. Cada bloco consome o equivalente a **600 g de ouro** para pagar os custos de lavra e processamento.

Já que o objetivo é maximizar a quantidade de produção de metal, vale a pena descartar o bloco de 5 g/t (abaixo do teor de corte) ou é melhor blendar os dois blocos? Porque?



Bloco A (100 t)
Teor = 8 g/t



Bloco B (100 t)
Teor = 5 g/t

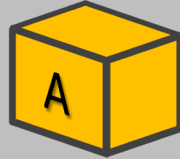
Tempo: até 20 minutos

Resultado: discuta com seu grupo, e ao terminar o seu levantamento, elabore um slide com as informações de seu grupo e submeta na **Atividade Aula 03** do e-disciplinas (uma submissão por grupo). Ao terminar, compartilhe seus resultados no CHAT da aula para discussão com os demais alunos.



Desafio: Maximizar a produção econômica de metal

Restrição: Teor de corte econômico: $6.0 \text{ g}_{\text{OURO}}/\text{t}_{\text{MINÉRIO}}$



Bloco A (100 t)
Teor = 8 g/t

Bloco de minério @ 8g/t = 800 g de Ouro

Custo de lavra e processamento = 600 g de Ouro

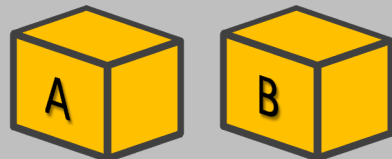
Margem = 200 g de Ouro



Bloco B (100 t)
Teor = 5 g/t

Bloco de estéril @ 5g/t = 500 g de Ouro

(não paga lavra & processamento)



Blocos A + B (200 t)
Teor = 6.5 g/t

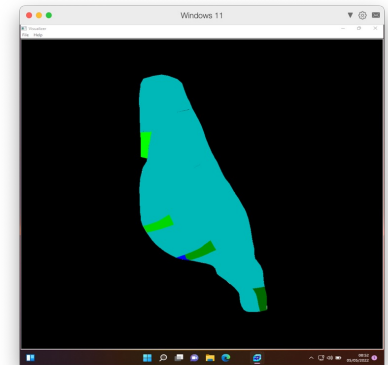
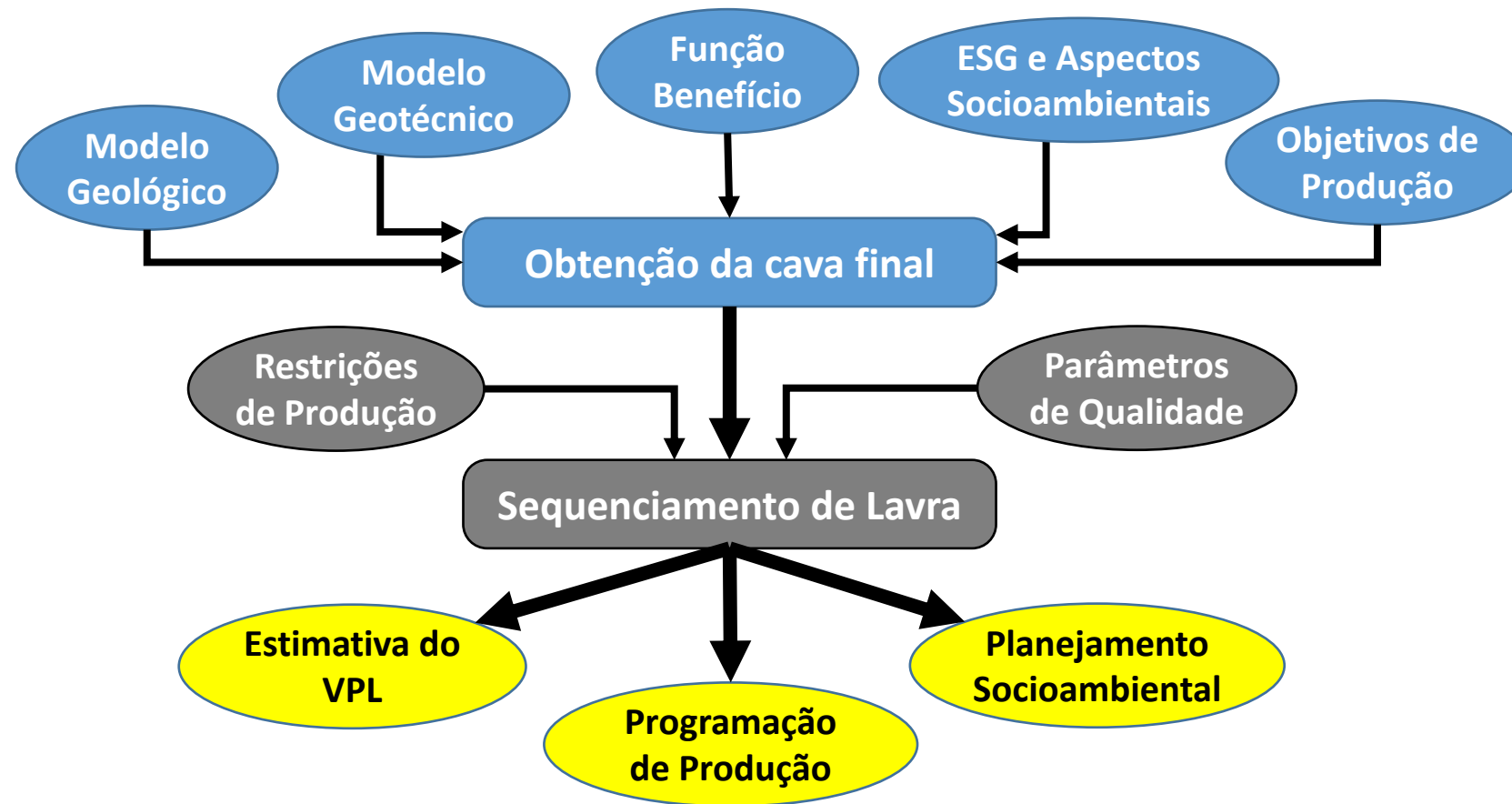
Bloco de "minério" (200 t) @ 6.5 g/t = 1.300 g de Ouro

Custo de lavra e processamento = 1.200 g de Ouro

Margem = 100 g de Ouro (margem menor!!)

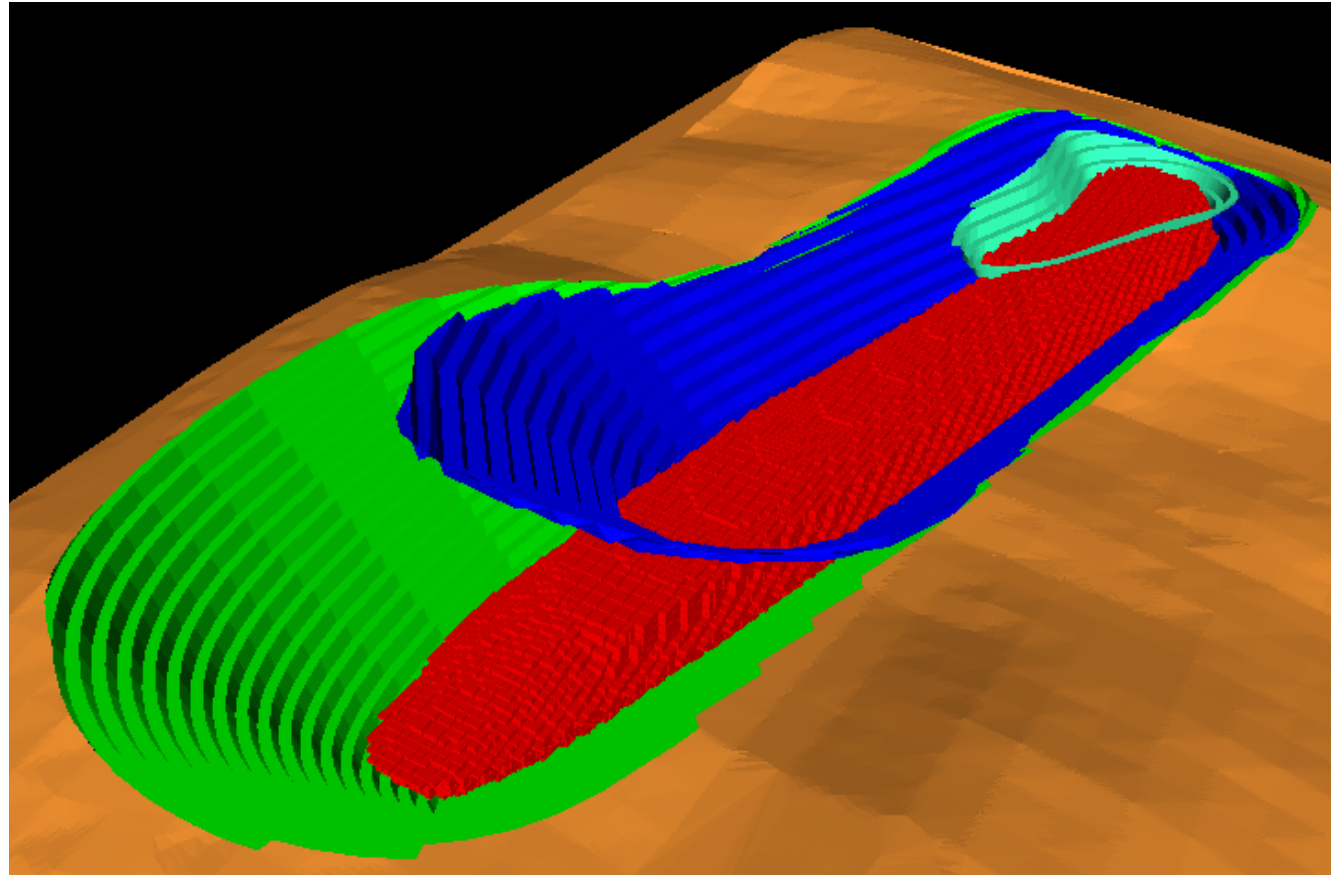


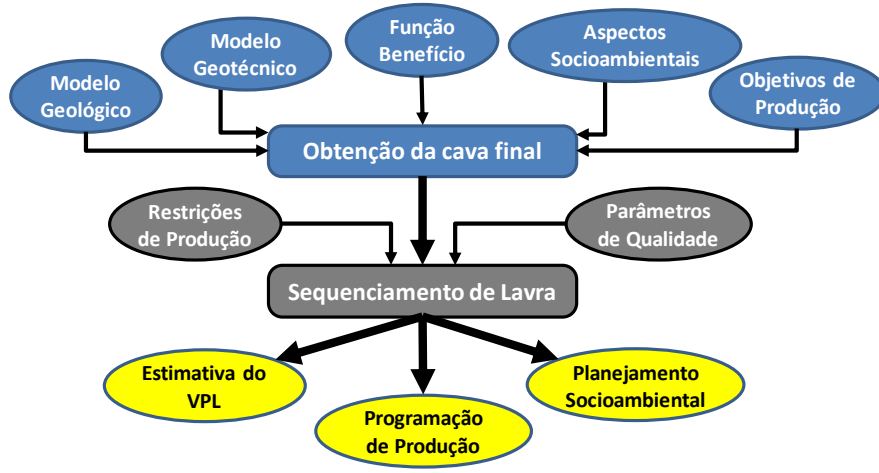
Planejamento de Longo Prazo: Céu Aberto





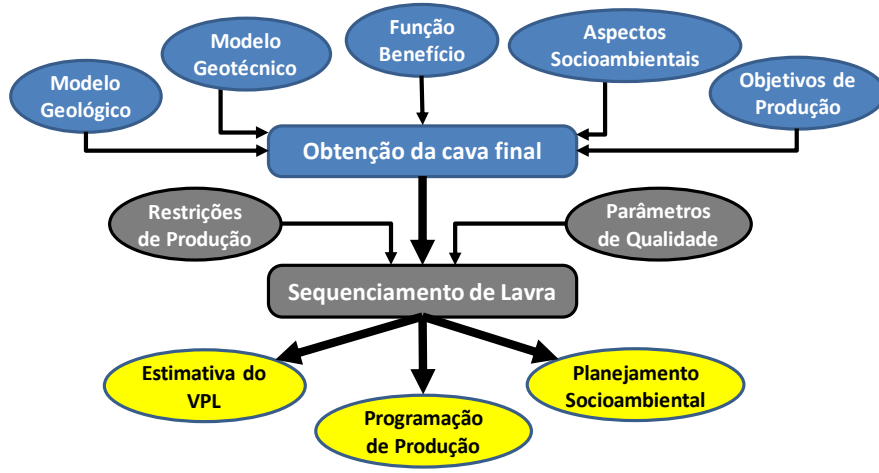
Planejamento de Longo Prazo: Exemplo





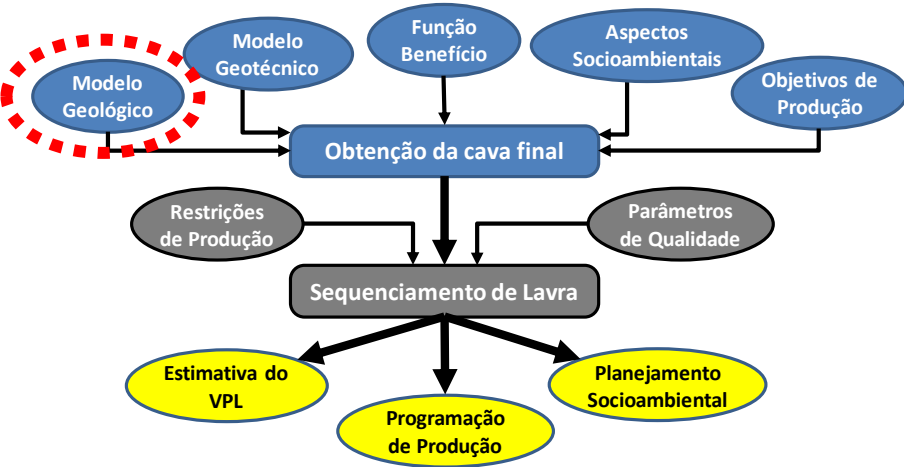
Planejamento de Longo Prazo: Premissas Típicas

- ✓ Área de terceiros;
- ✓ Aumento ou restrição de capacidade produtiva;
- ✓ Barragens;
- ✓ Capacidade operacional da mina;
- ✓ Geotecnia, hidrogeologia;
- ✓ Investimentos Capex e Opex;
- ✓ Avanço do plano de fechamento de mina (fechamento progressivo)
- ✓ Posta-em-marcha e ramp up...
- ✓ Licenciamentos;
- ✓ Parâmetros geometalúrgicos;
- ✓ Parâmetros hidrogeológicos;
- ✓ Parâmetros econômicos (custos, preços, taxas, etc.);
- ✓ Produtividade de equipamentos;
- ✓ Incertezas ambientais (assumir relevância de cavidades);

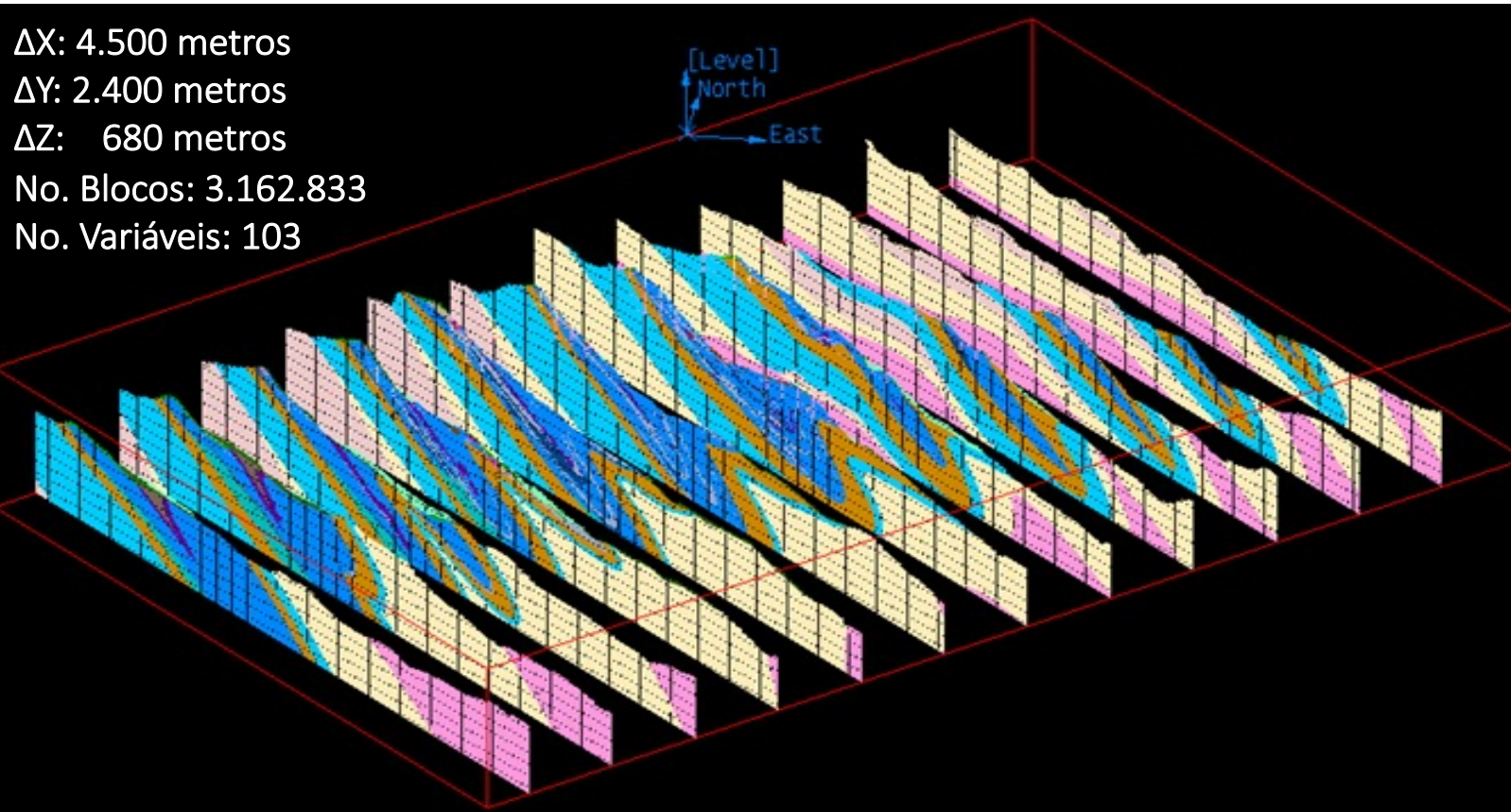


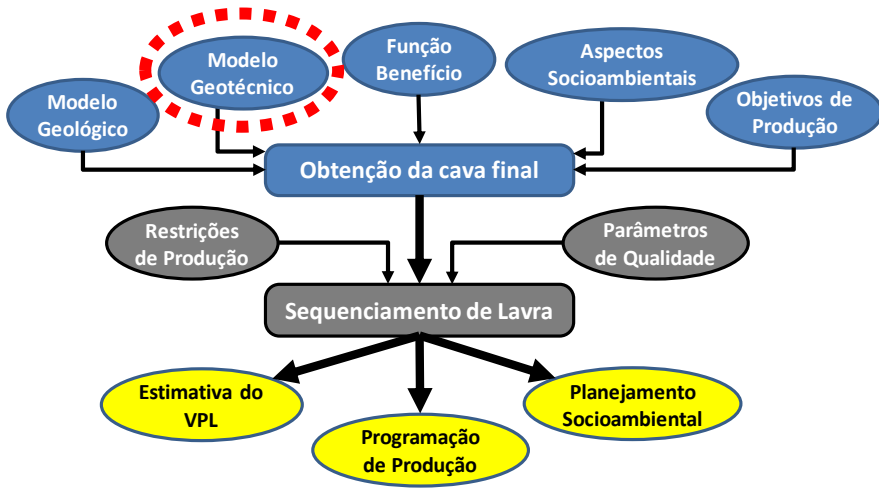
Planejamento de Longo Prazo: Premissas Típicas

- Disposição de pilhas de estéril
- Umidade no produto
- Metas de venda/entrega de produto
- Restrições logísticas;
- Retomada de barragens;
- Retomada de pilhas;
- Sustentabilidade econômica da unidade produtiva (mina, usina);
- Variabilidade do produto;
- Aspectos de ESG e socioambientais (relacionamento com as comunidades)

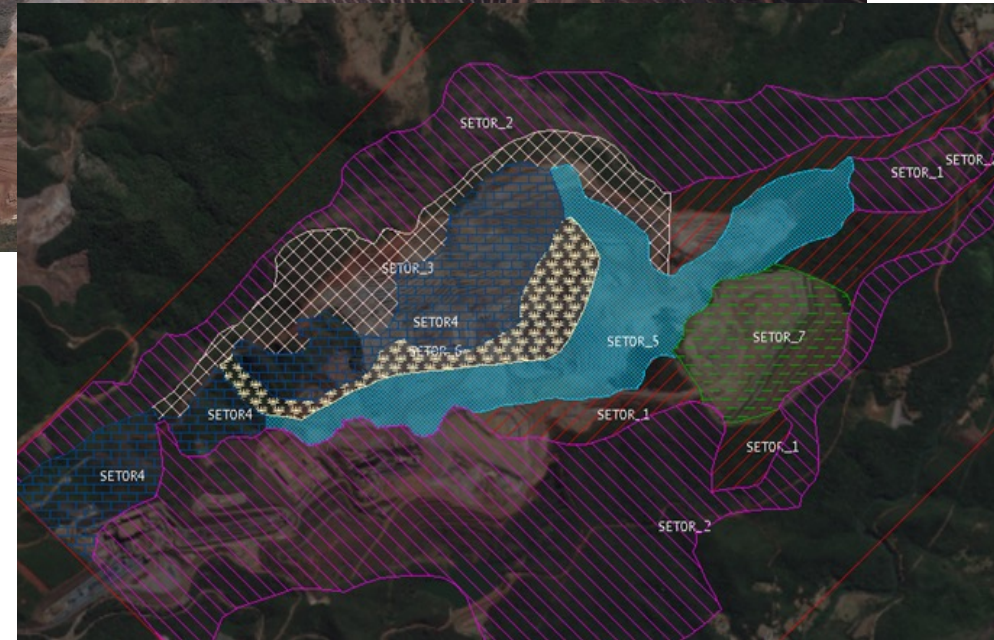
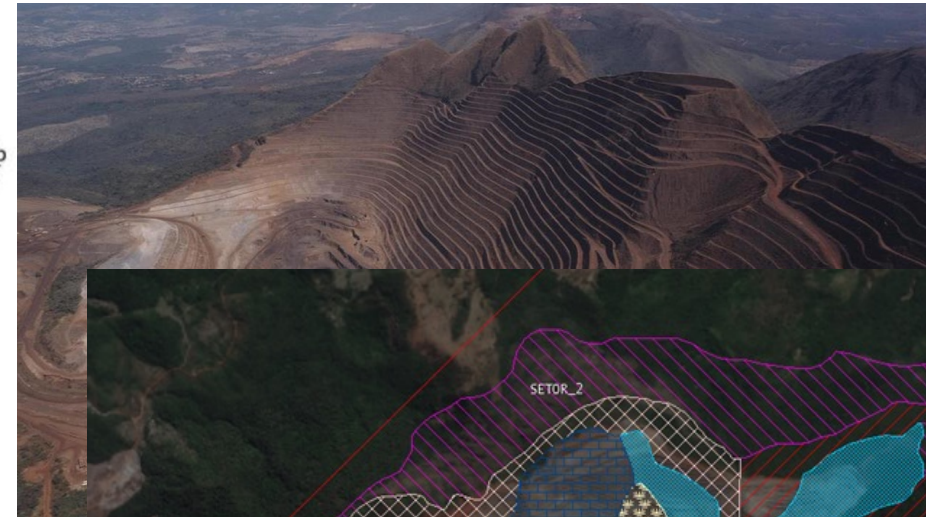
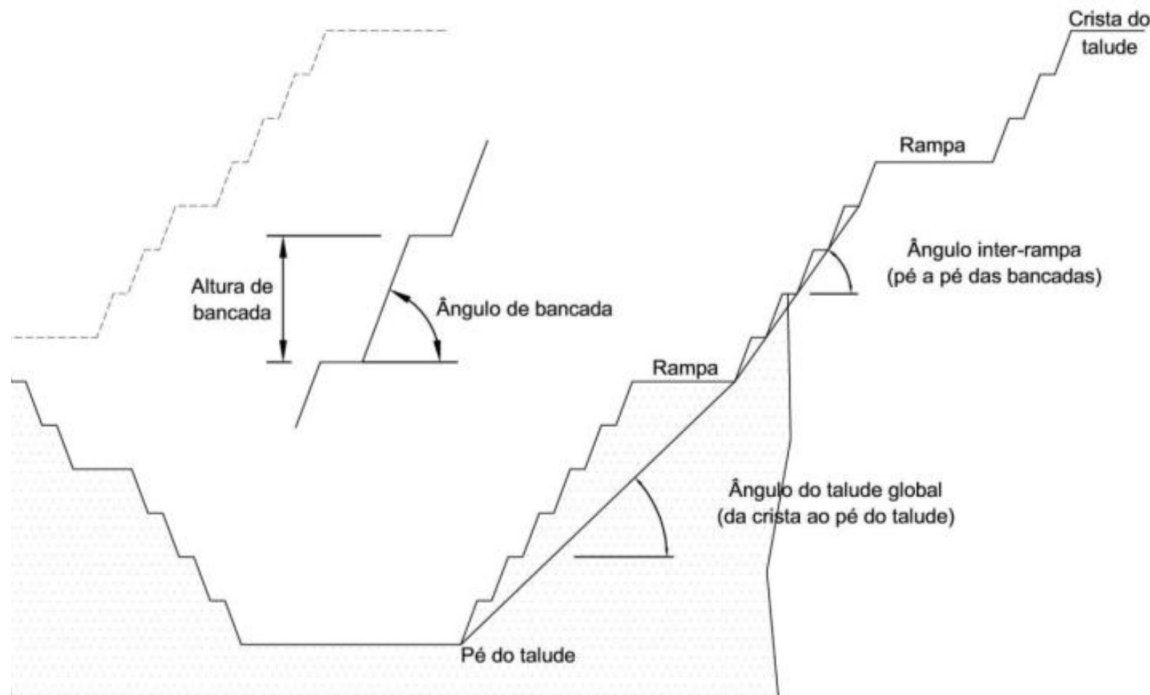


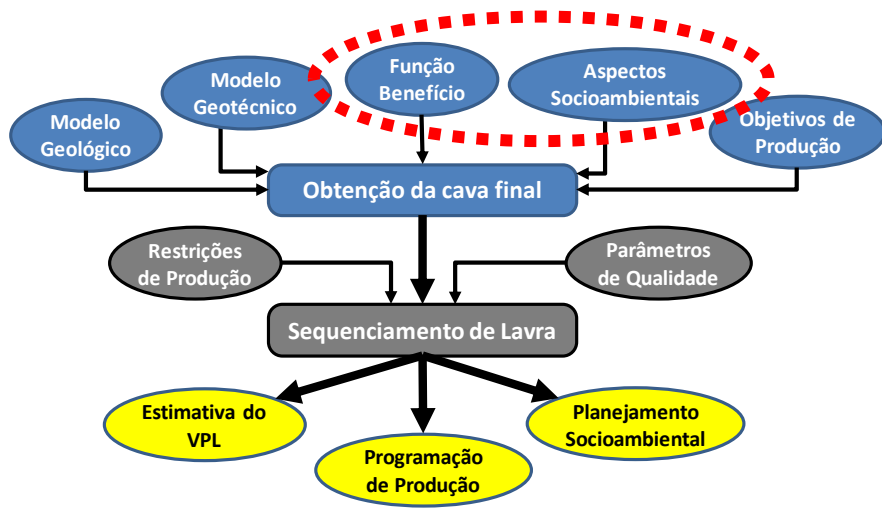
Planejamento de Longo Prazo: Modelo Geológico





Planejamento de Longo Prazo: Modelo Geotécnico





Planejamento de Longo Prazo: Função Benefício

$$\text{VALOR} = \text{RECEITAS} - \text{CUSTOS}$$

Receitas = f (Teor, Distribuição espacial dos teores, Recuperação, Preços, e outros)

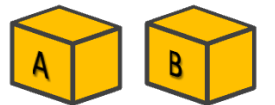
Custos = f (Relação de Mineração, Custos fixos, Custos variáveis, parâmetros de lavra, beneficiamento, fatores socioambientais, e outros)



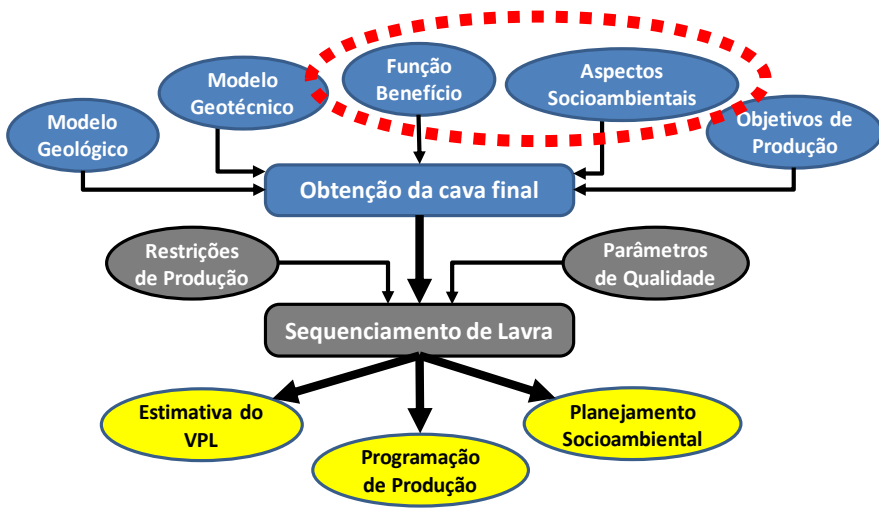
Bloco A (100 t)
Teor = 8 g/t



Bloco B (100 t)
Teor = 5 g/t



Blocos A + B (200 t)
Teor = 6.5 g/t

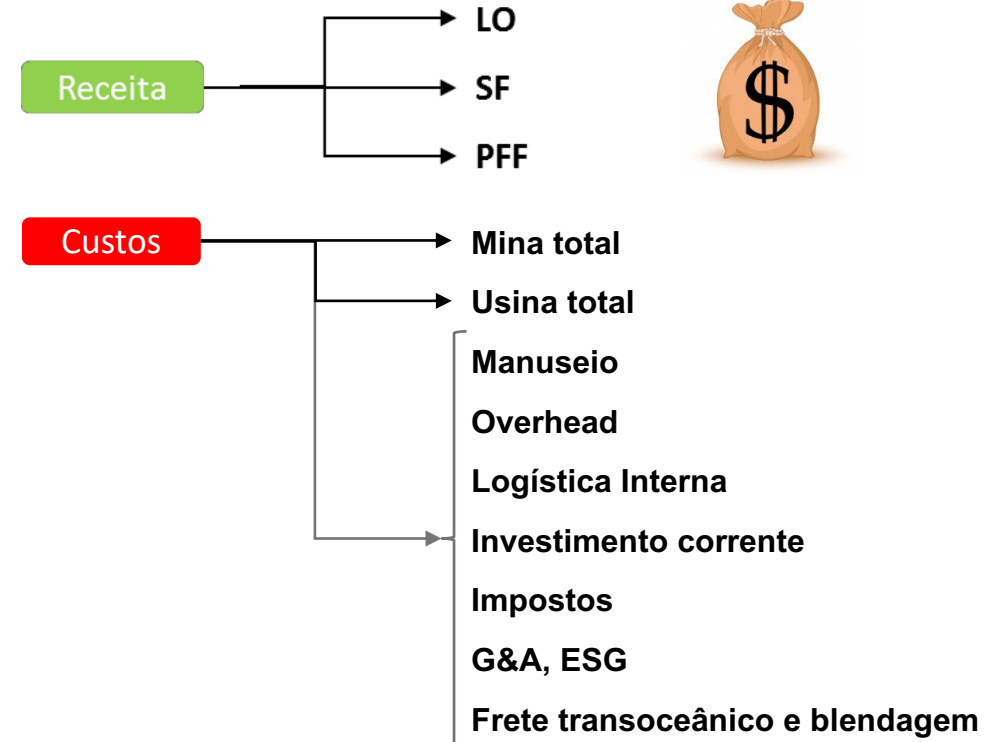


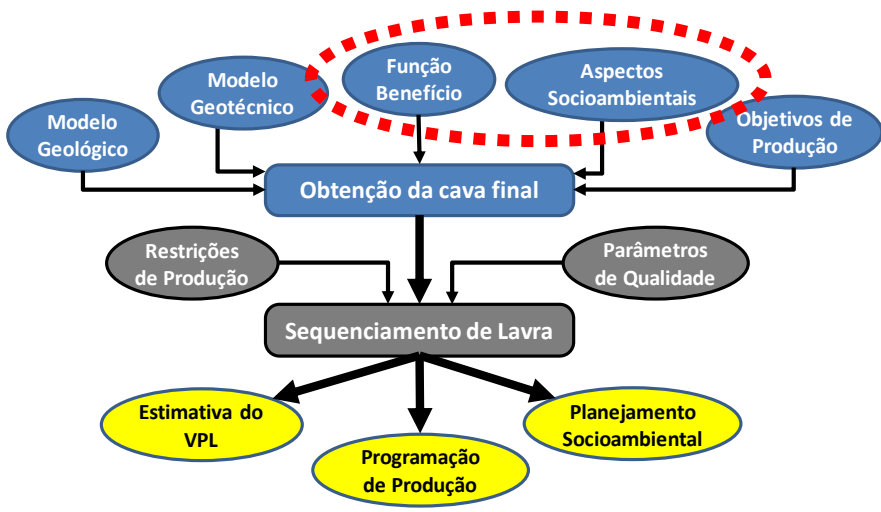
Planejamento de Longo Prazo: Função Benefício

$$\text{Valor do Bloco} = \text{Receita} - \text{Custos}$$

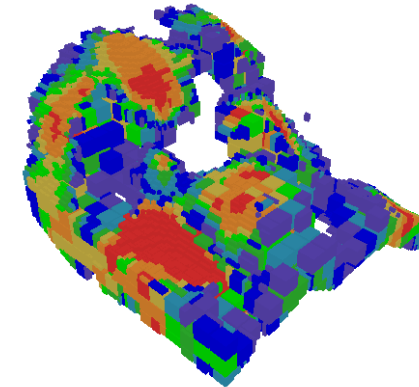
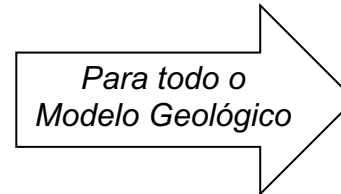
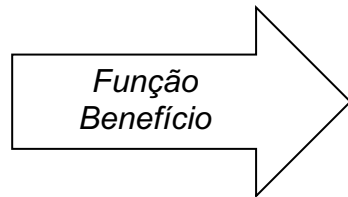
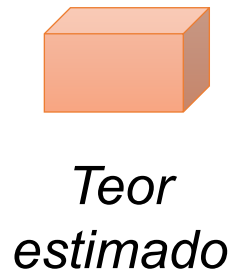
$$\text{valor} = (\text{preço} \times r \times g - \text{pcaf} - \text{mcaf}) \times t$$

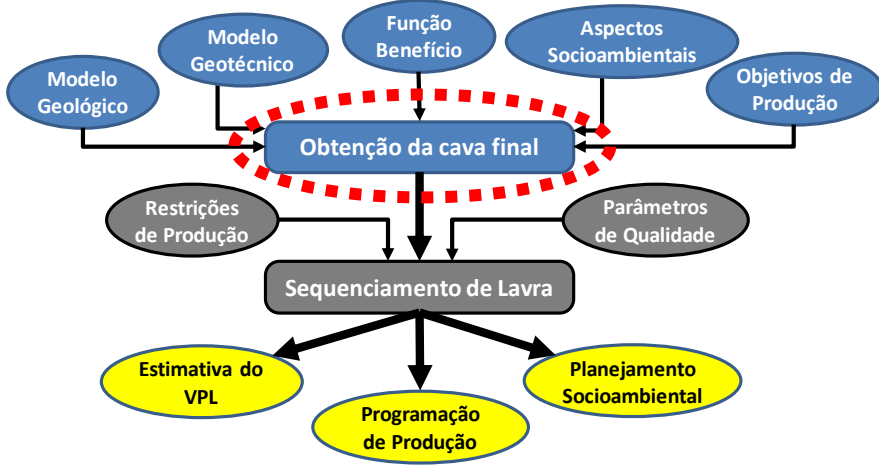
preço: Valor unitário em US\$;
g: teor do metal no bloco;
r: recuperação do metal;
pcaf: custo de processo por tonelada;
mcaf: custo de mina por tonelada,
t: massa do bloco.



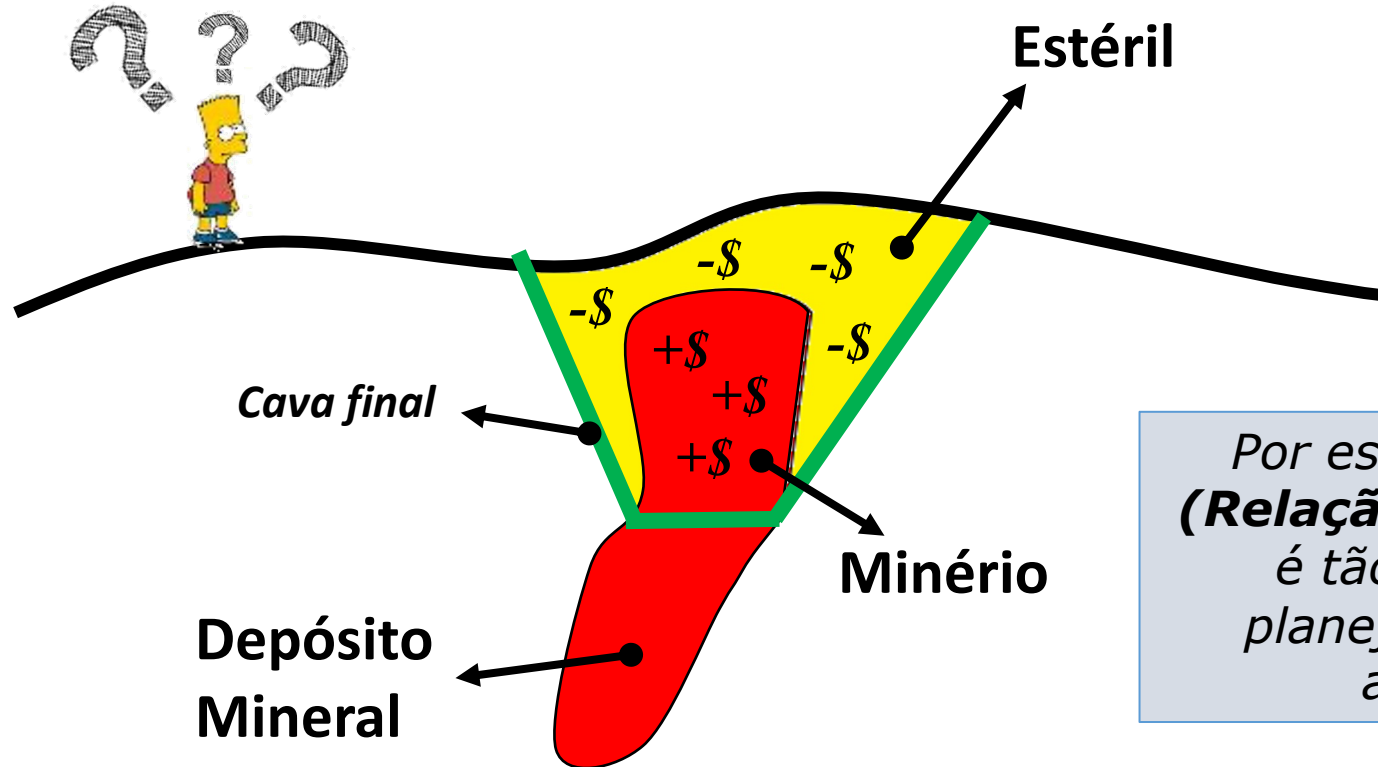


Planejamento de Longo Prazo: Função Benefício

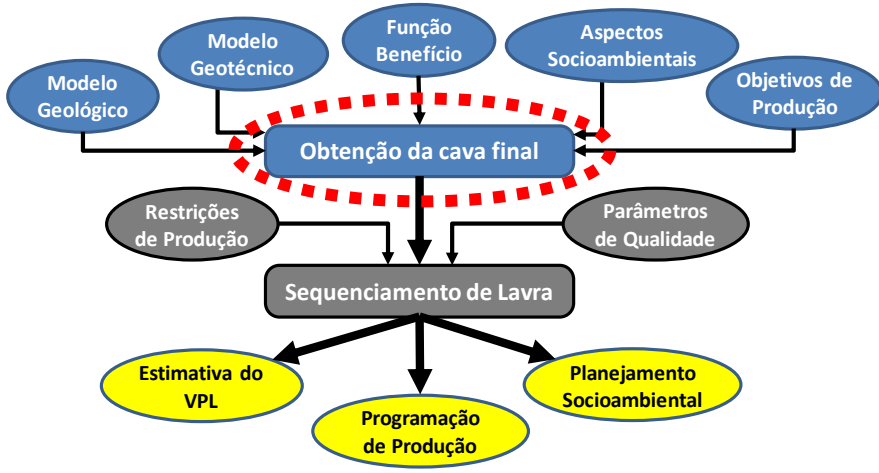




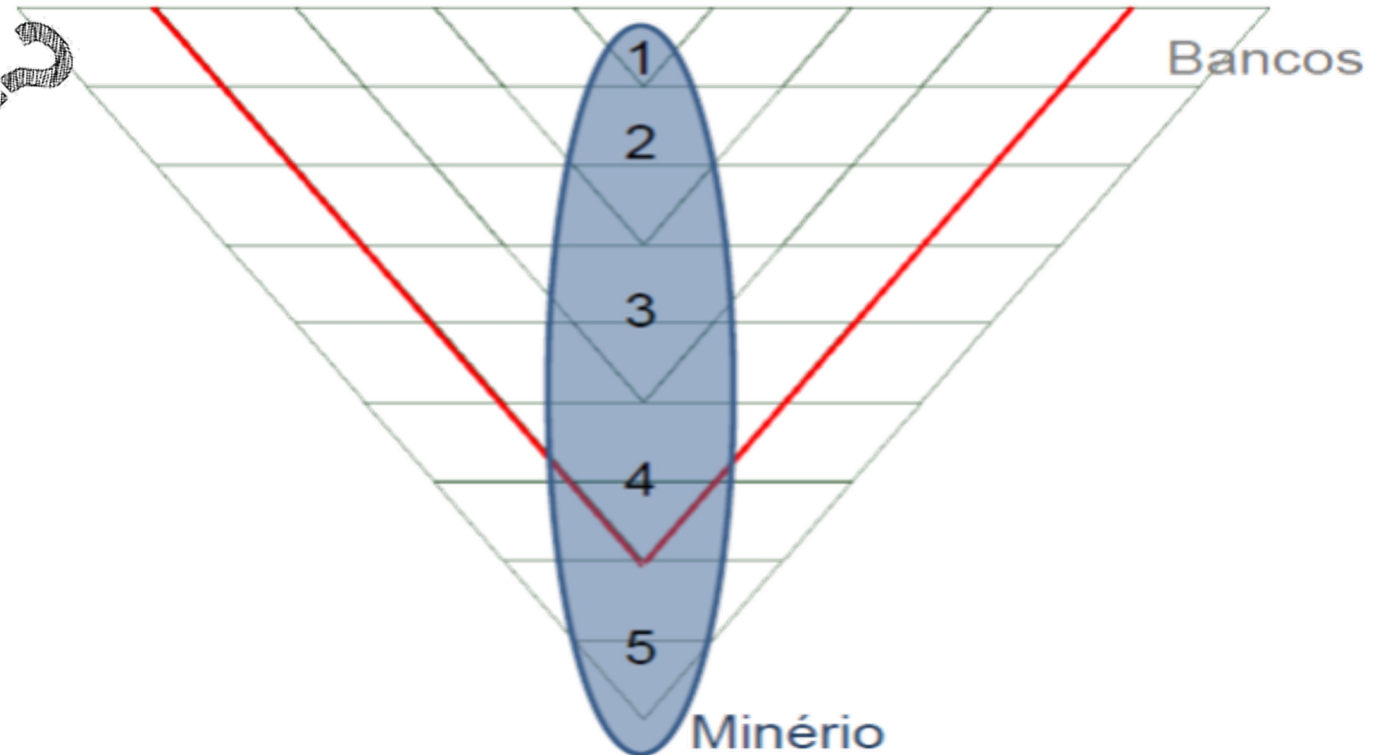
Planejamento de Longo Prazo: Cava Final

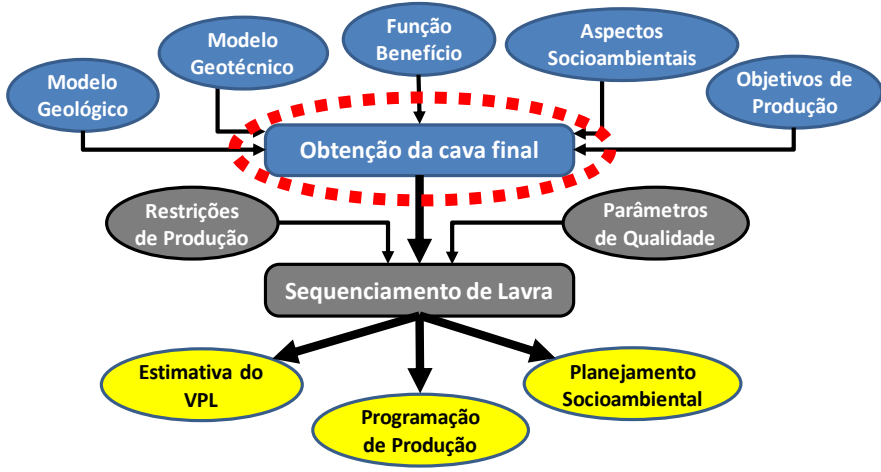


Por esse motivo, a REM
(**Relação Estéril-Minério**)
é tão importante no
planejamento de lavra
a céu-aberto



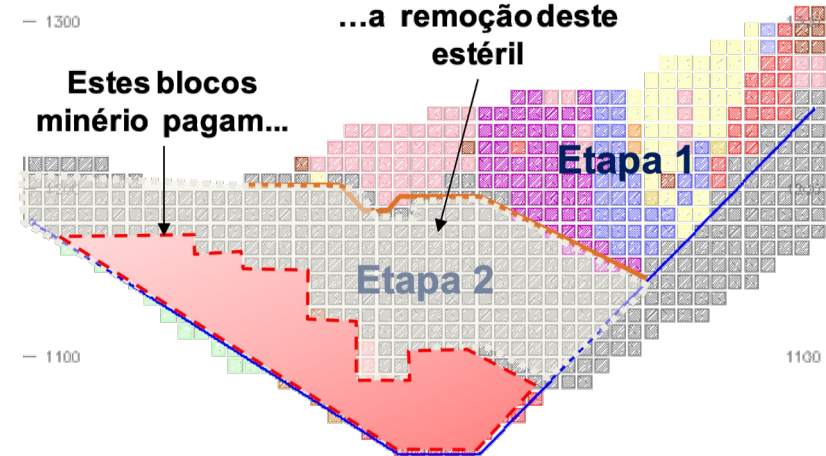
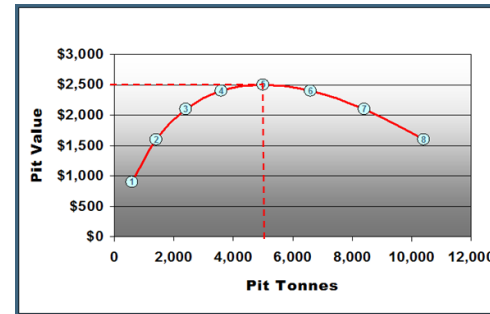
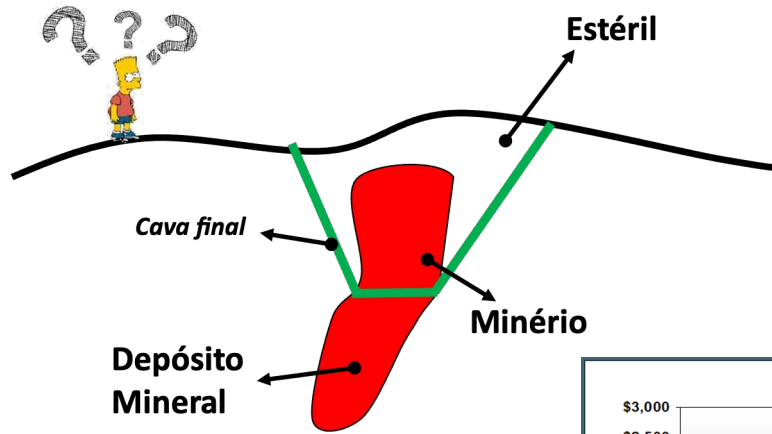
Planejamento de Longo Prazo: Cava Final

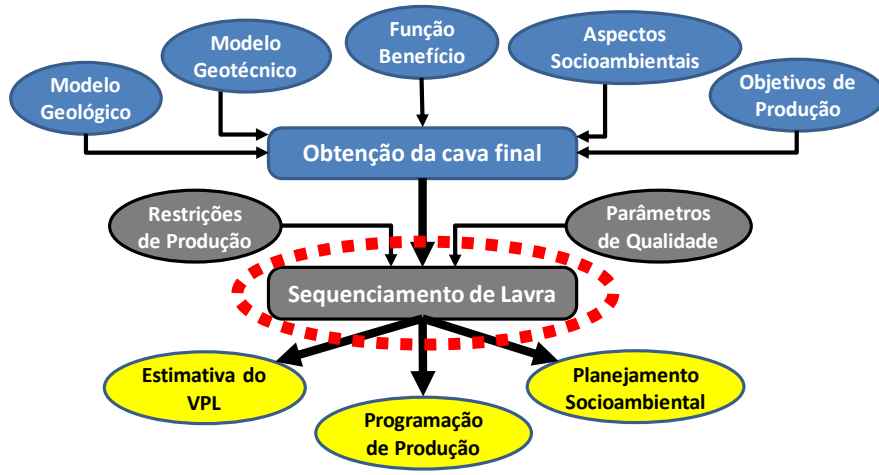




Planejamento de Longo Prazo: Cava Final: Otimização de Cava

Algoritmo Lerchs-Grossman



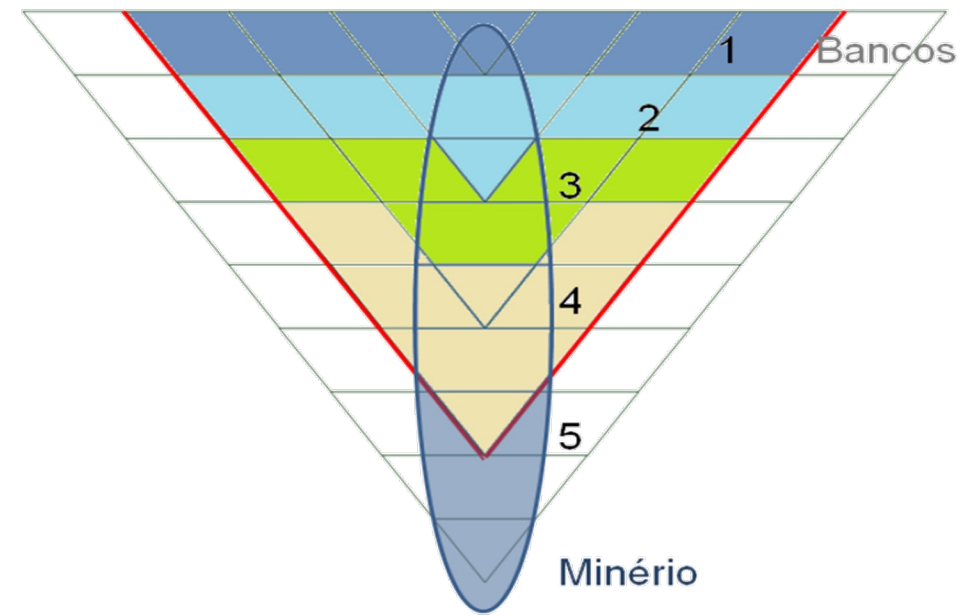


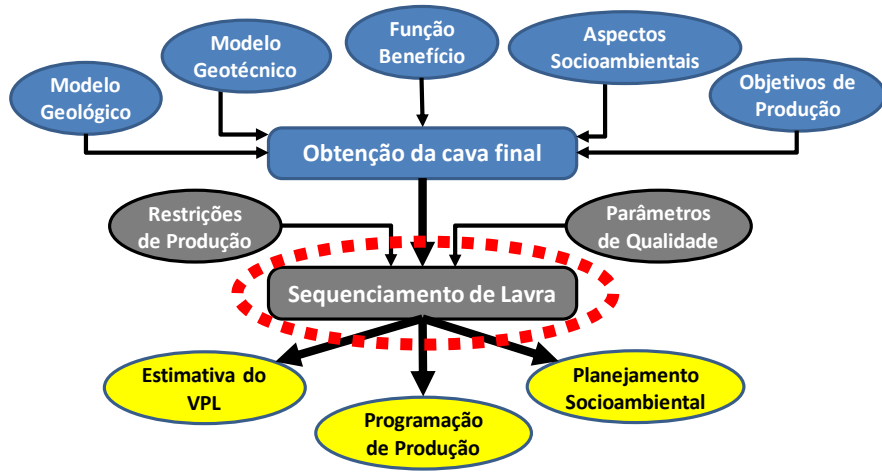
Planejamento de Longo Prazo: Sequenciamento de Lavra

A **Sequência Ótima de Extração** é a sequência de extração dos blocos que **maximiza o VPL** em uma sequência prática de lavra.

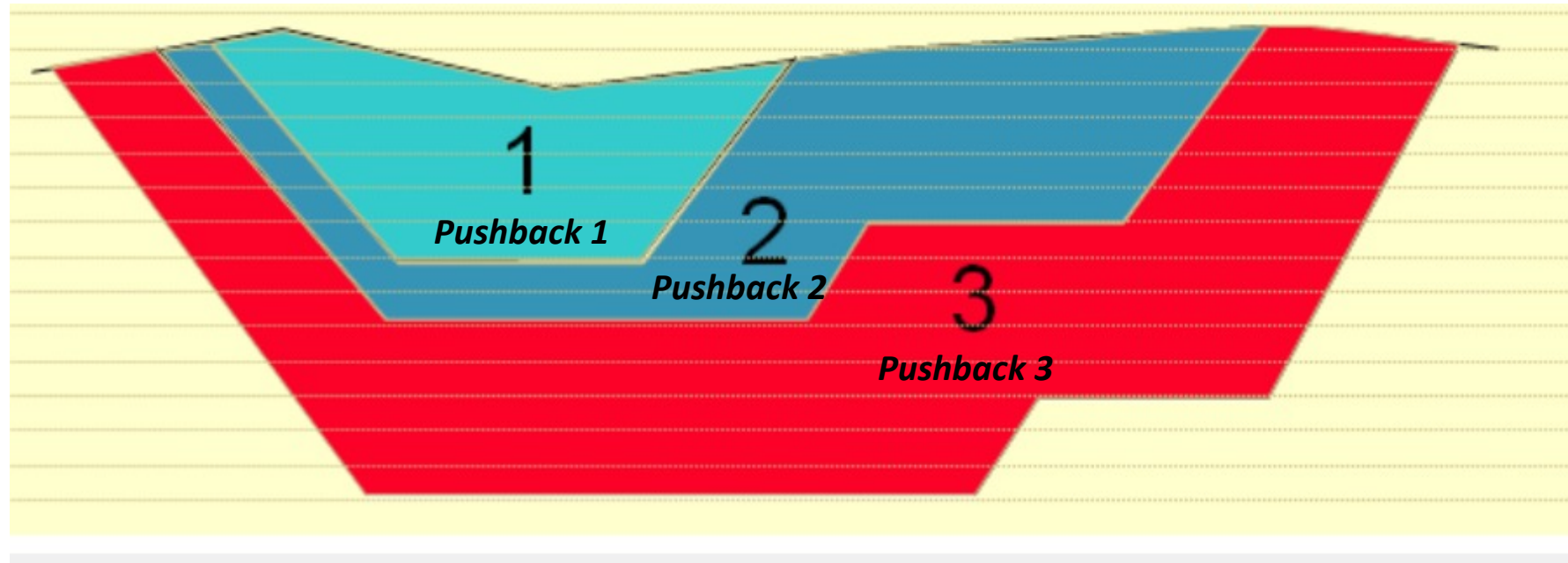
Existem vários **algoritmos** para **sequenciar** uma cava a céu aberto.

Na 6a. Feira faremos um exercício com uma **ferramenta especializada**.

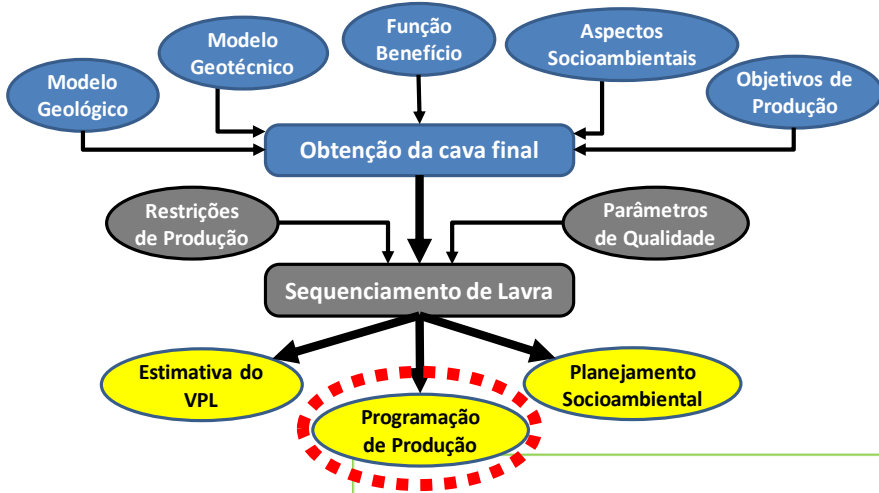




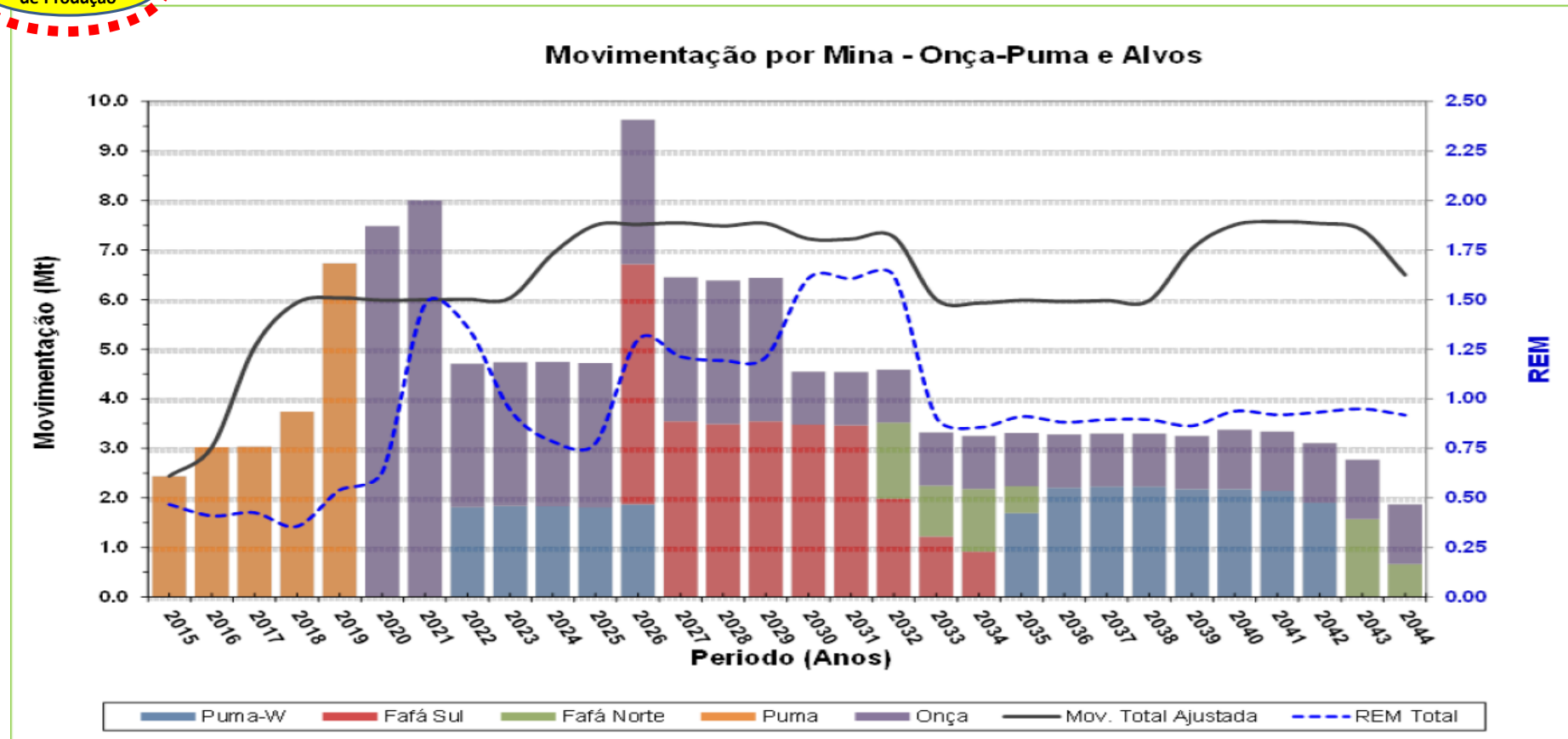
Planejamento de Longo Prazo: Sequenciamento de Lavra



Avanços Operacionais ou 'Pushbacks'



Planejamento de Longo Prazo: Programação de Produção





Planejamento de Longo Prazo: Resultados

Análise de sensibilidade e avaliação de riscos

- Alinhamento estratégico;
- Análise de cenários;
- Análise de sensibilidade;
- Análise de risco;
- Análise socioambiental e ESG;
- Auditorias;
- Participação das áreas operacionais no desenvolvimento do projeto;
- Comparação e posicionamento perante projetos semelhantes;
- Avaliação econômica probabilística.



Planejamento de Longo Prazo: Resultados

Análise de sensibilidade e avaliação de riscos

Análise do projeto por meio de:

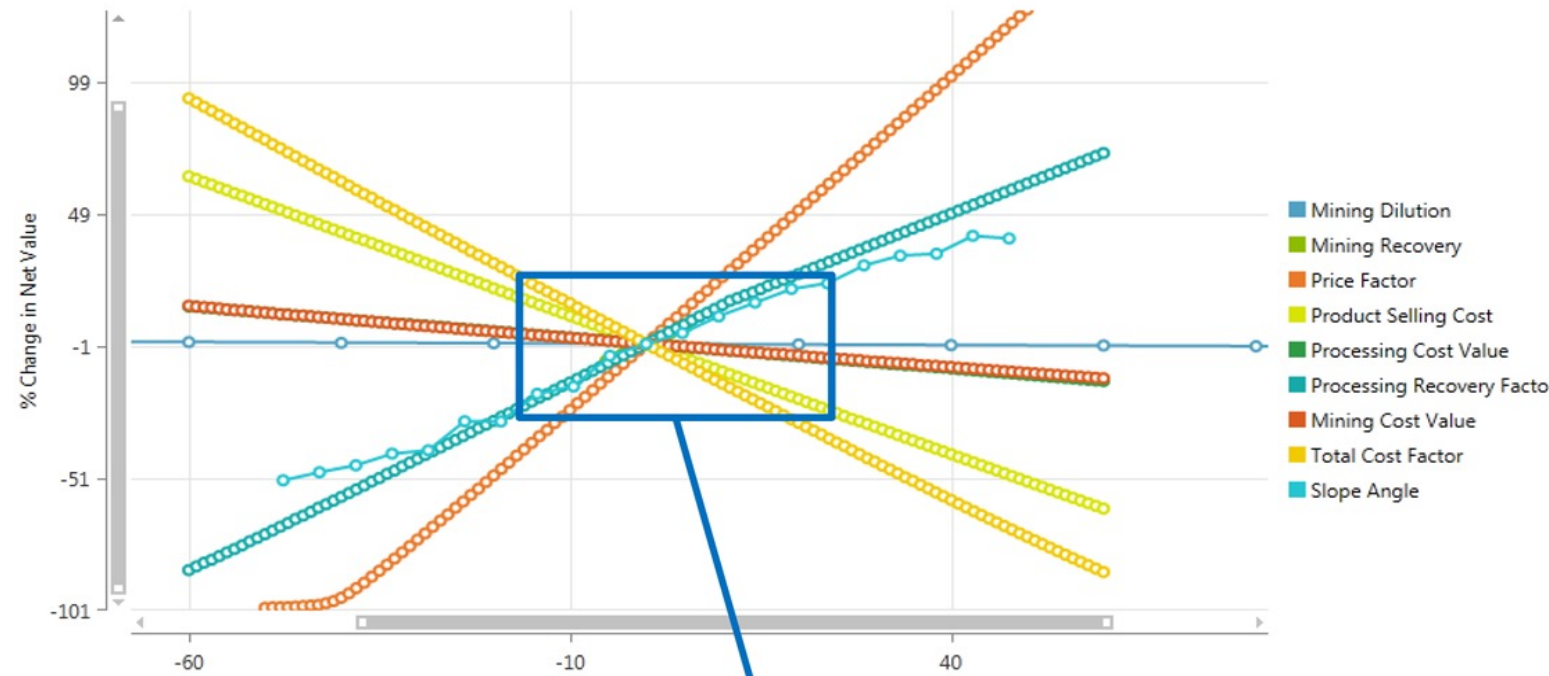
- **Modelos Determinísticos:** Fluxo de Caixa Descontado (VPL, TIR, Índice de Lucratividade e Payback Descontado);
- **Modelos Probabilísticos:** Simulação de Monte Carlo (quando envolve incertezas das variáveis críticas, tais como preço, Capex, Opex, prazos, e outros).

Avaliar diferentes cenários para quantificar e avaliar riscos e incertezas



Planejamento de Longo Prazo: Resultados

Análise de sensibilidade e avaliação de riscos

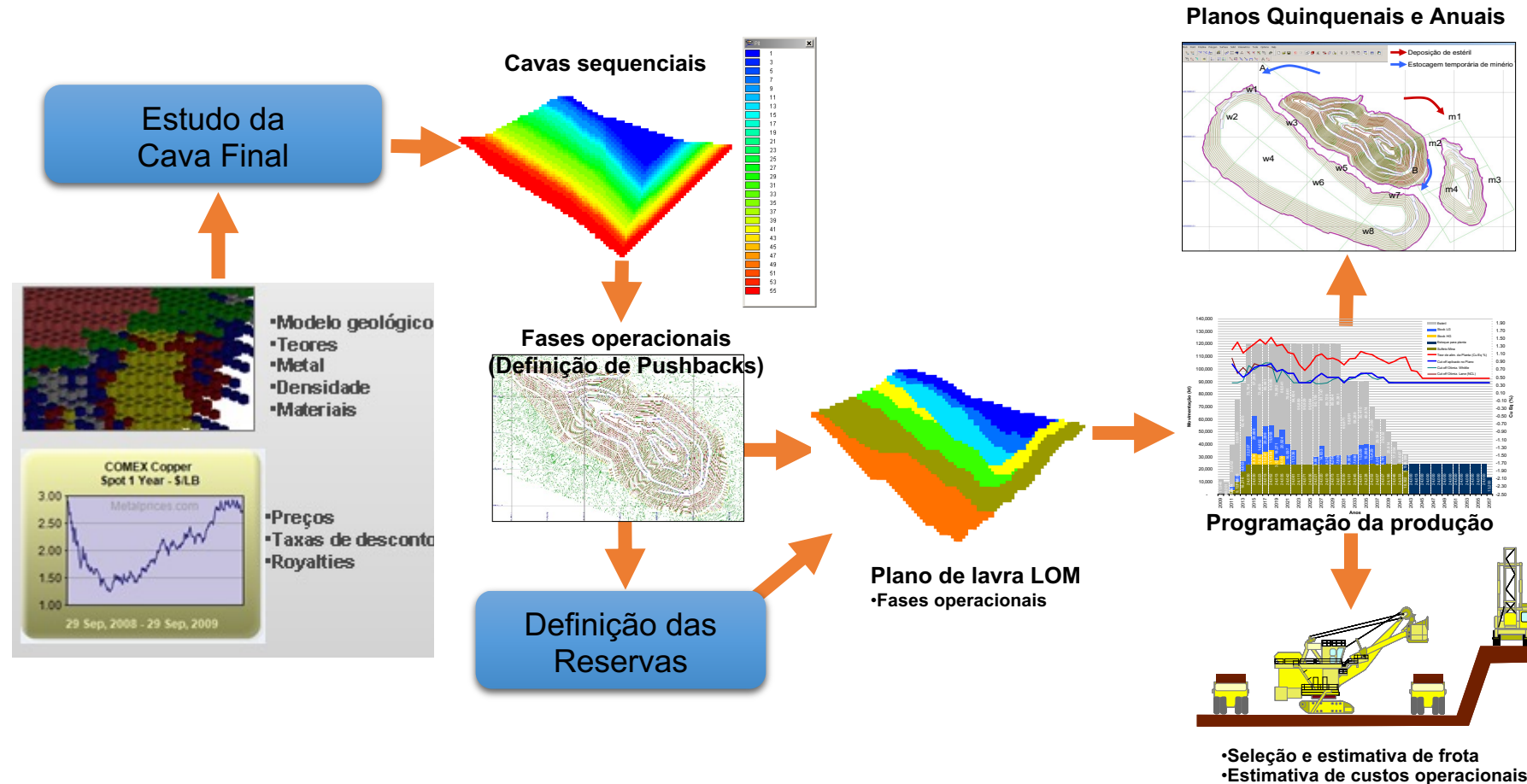


Análise sensibilidade Conceição



Planejamento de Longo Prazo: Resultados

Exemplo de processo de planejamento de longo prazo





Aula 03: Aprendizado

- Quais as variáveis que impactam a **função benefício**?
- A **recuperação metalúrgica** tem alguma influencia na função benefício? Como?
- O sequenciamento de lavra é útil para a **usina de beneficiamento**? Porque?
- Qual a **profundidade ideal** para uma mina de minério de ferro no Quadrilátero Ferrífero? Como isso é determinado?
- **Qual a frequência** que a função benefício deve ser reavaliada em minas a céu-aberto? Porque?
- Uma **redução brusca do preço do minério** significa que a mina tem que ser paralisada? Porque?