



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI-5014

Projeto de Planejamento e Sequenciamento de Lavra

Aula 04 (2023)

***Indicadores Planejamento de Lavra e
Tendências Tecnológicas***

***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 tendencias 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.



Aula 04: Conteúdo

- **Indicadores de planejamento de lavra**
- **Planejamento de lavra e o desenvolvimento sustentável (ESG)**
- **Mineração no Séc. XXI**
- **Tendências tecnológicas**
- **Revisão do aprendizado**



Indicadores de Planejamento de Lavra

O que são os **indicadores de planejamento de lavra**?

Por que medir o **desempenho do planejamento de lavra**?

- Uma alta acuracidade do planejamento e da execução da operação de mina se traduz no **uso adequado dos ativos**, dos recursos humanos, das reservas, e no cumprimento/redução de custos, tornando-se, assim, um **diferencial competitivo** para a empresa no mercado.
- **Aderência e Cumprimento** são índices que medem quão bem foi realizado o planejamento e como foi a execução da produção pela operação de mina
- Na lavra a céu-aberto, o indicador **Minério Liberado** mede se a REM praticada no momento esta adequada à estratégia do negócio.



Indicadores de Planejamento de Lavra

Índice de aderência e cumprimento do plano

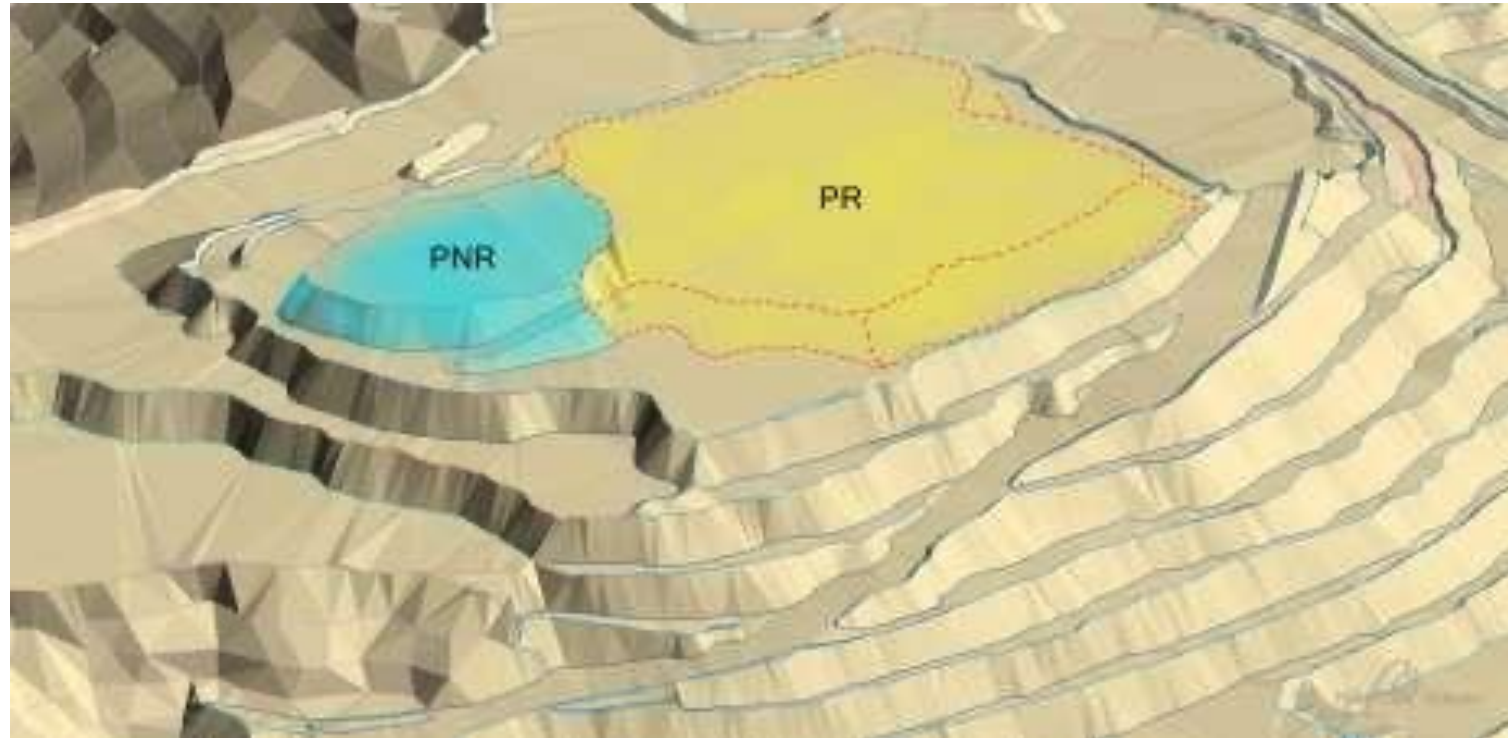


ÁREA PROGRAMADA PARA SER LAVRADA NO PERÍODO



Indicadores de Planejamento de Lavra

Índice de aderência e cumprimento do plano

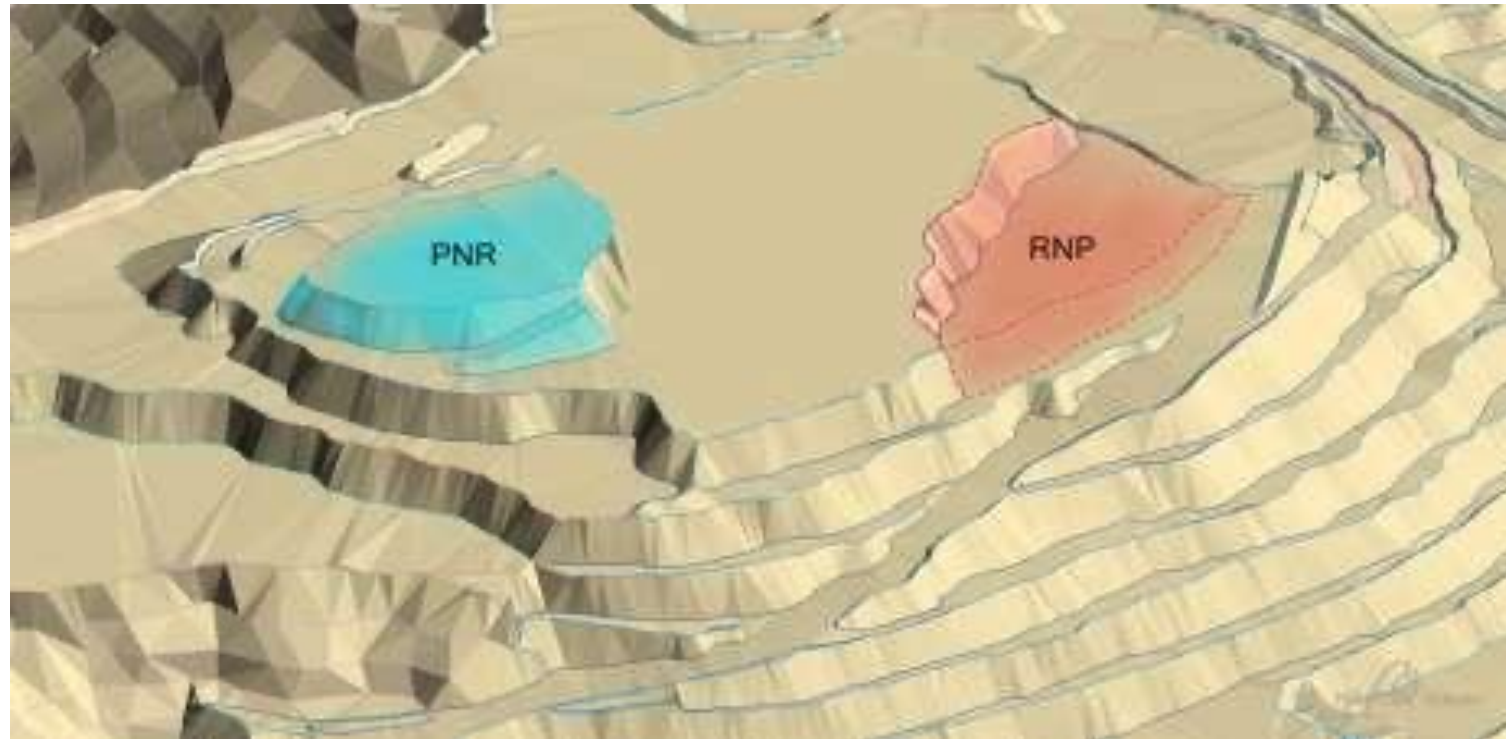


PR – ÁREA PROGRAMADA E LAVRADA / PNR – ÁREA PROGRAMADA E NÃO LAVRADA



Indicadores de Planejamento de Lavra

Índice de aderência e cumprimento do plano



RNP – ÁREA LAVRADA, MAS NÃO PROGRAMADA



Indicadores de Planejamento de Lavra

Índice de ADERÊNCIA (IA) do plano de lavra

Indica o percentual da massa (ou volume) lavrado dentro da área planejada, em um determinado período (refere-se ao desvio da operação de lavra):

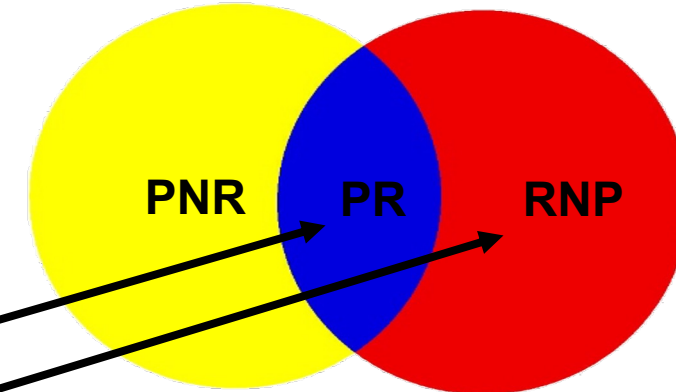
$$IA = \frac{PR}{(PR + RNP)}$$

Onde:

IA = índice de aderência ao plano (%);

PR = Planejado Realizado (t ou m³);

RNP = Realizado Não Planejado (t ou m³).





Indicadores de Planejamento de Lavra

Índice de CUMPRIMENTO (IC) do plano de lavra

Indica o percentual da massa (ou volume) lavrada em relação à massa (ou volume) planejada para ser extraída numa área, em um determinado período (refere-se à operacionalidade do plano):

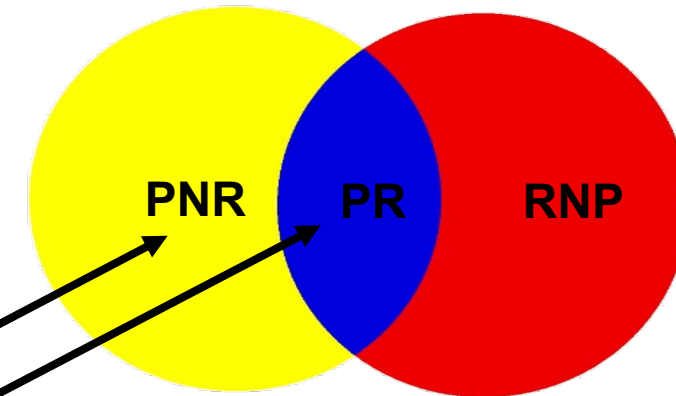
$$IC = \frac{PR}{(PR + PNR)}$$

Onde:

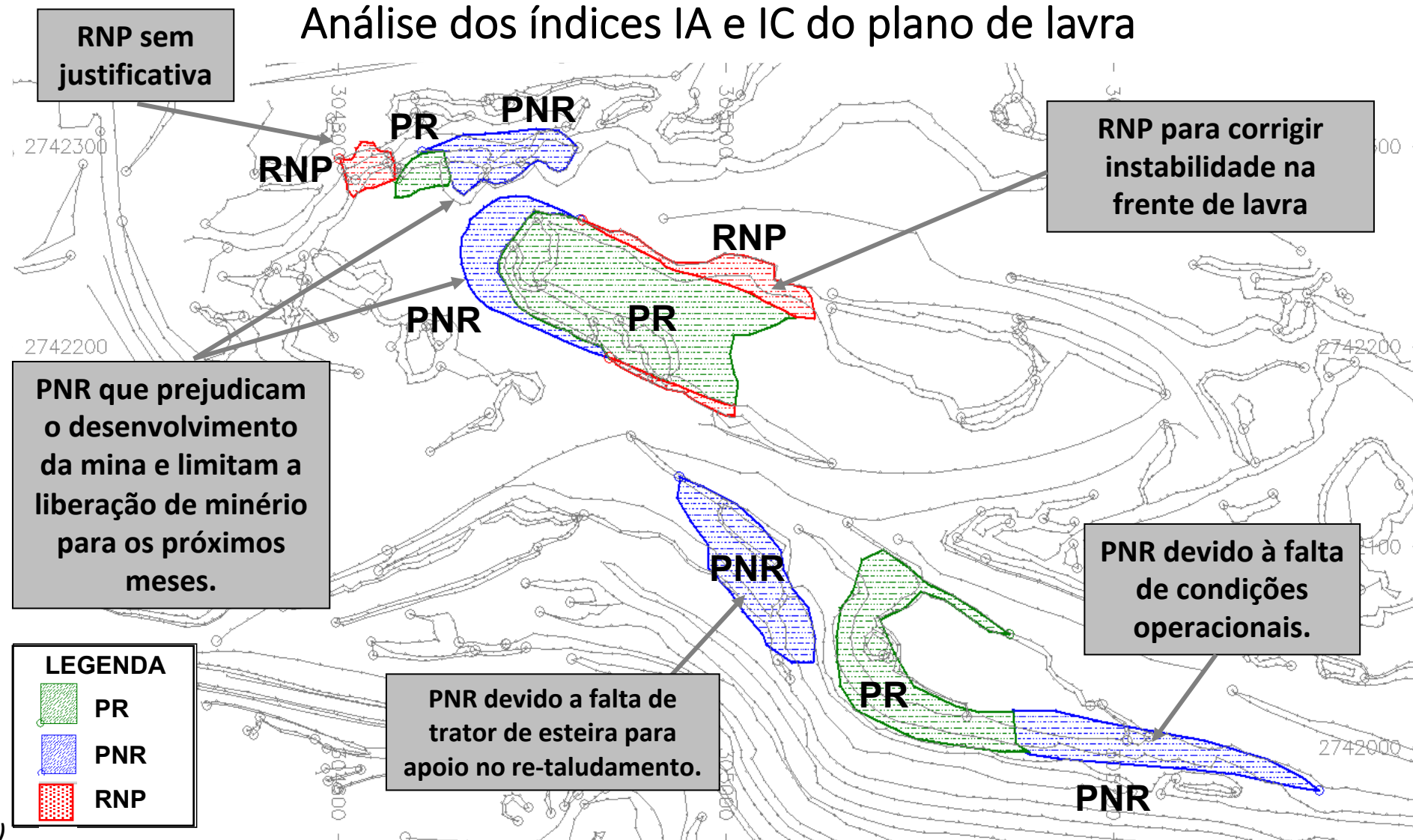
IC = índice de cumprimento do plano (%);

PNR = Planejado Não Realizado (t ou m³).

PR = Planejado Realizado (t ou m³);



Indicadores de Planejamento de Lavra





Indicadores de Planejamento de Lavra

Índice de EFETIVIDADE (IE) do plano de lavra

Os indicadores de “cumprimento do plano de lavra” e “aderência ao plano de lavra” indicam o alinhamento entre a execução e o planejamento. A média aritmética desses dois indicadores, representa a efetividade da lavra:

$$IE = \frac{IA + IC}{2}$$

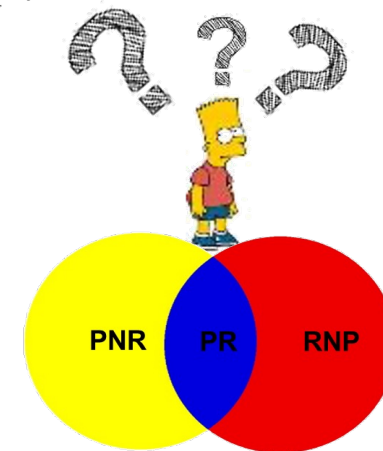
Onde:

IE = Índice de efetividade do plano de lavra (%);

IA = Índice de aderência ao plano de lavra (%);

IC = Índice de cumprimento do plano de lavra (%).

$$IA = \frac{PR}{(PR + RNP)}$$
$$IC = \frac{PR}{(PR + PNR)}$$





Indicadores de Planejamento de Lavra

Indicador de MINÉRIO LIBERADO (lavra a céu-aberto)

- O indicador de **minério liberado** mede a quantidade de minério disponível, dentro da especificação esperada, considerando restrições e uma lavra mínima de estéril.
- O indicador de minério liberado é normalmente expresso em toneladas de minério e/ou em meses de produção e **identifica os riscos associados** à produção e ao desenvolvimento da mina.
- O indicador de minério liberado leva em conta os seguintes aspectos:
 - ✓ Deve ser considerado o *blending* que atenda à **especificação de alimentação** da usina;
 - ✓ Deve **restringir áreas** no entorno das cavidades conforme regulamentação oficial;
 - ✓ **Fundo de cava**: consider minério liberado apenas os minério em bancos ativos (o fundo de cava em períodos chuvosos pode ser incluído, desde que possa ser operado);
 - ✓ O cálculo do indicador de minério liberado **não inclui os estoques de mina**.



Indicadores de Planejamento de Lavra

RECONCILIAÇÃO

Reconciliação é o processo de apuração de valores efetivamente realizados nos processos de lavra e beneficiamento (através de avaliações topográficas, amostrais e de contabilização da produção) comparados com valores esperados/estimados pelos modelos geológicos.

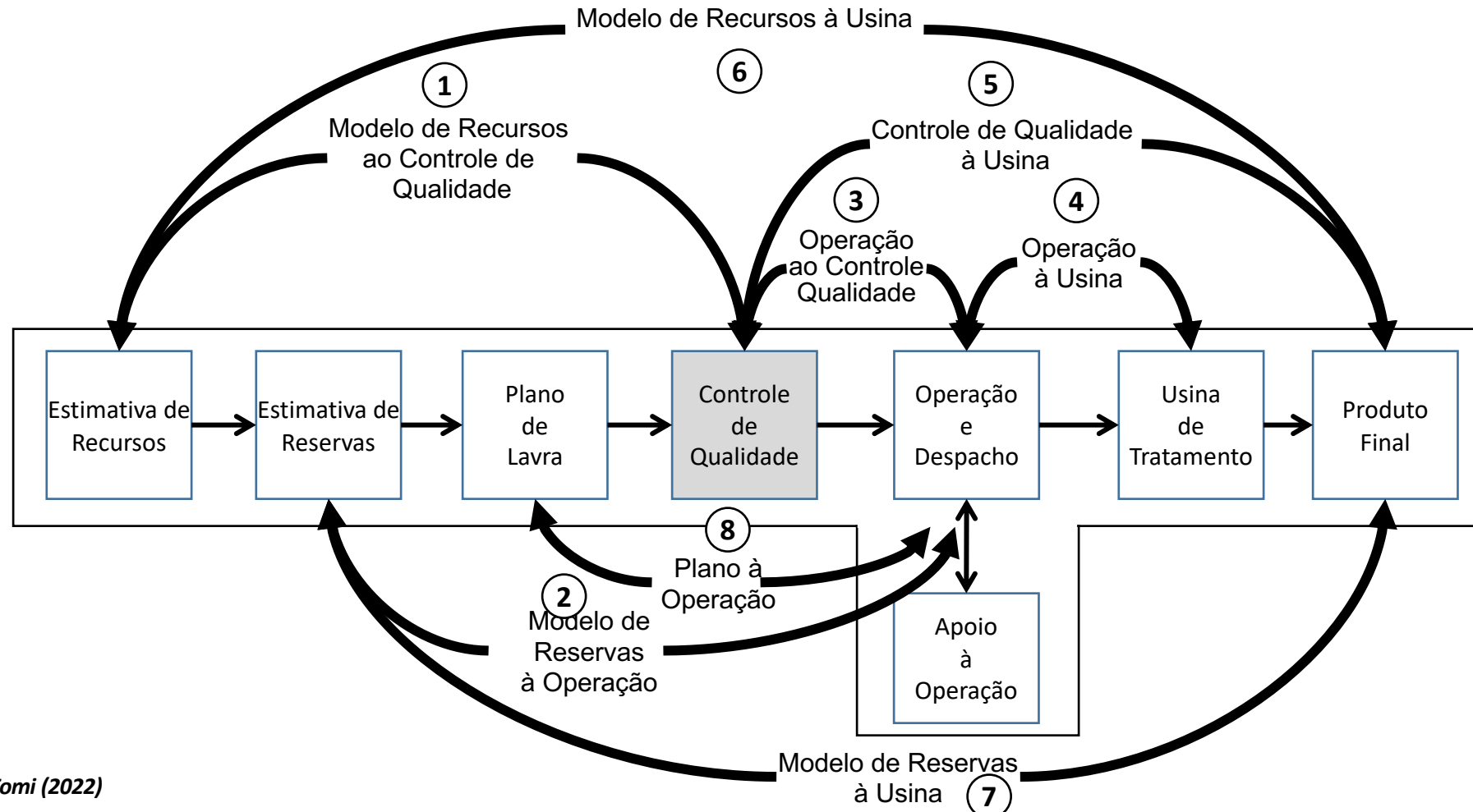
A **Reconciliação** avalia a acuracidade dos modelos geológicos e contribui com os demais indicadores de desempenho do empreendimento mineral.

ATENÇÃO: a importância da reconciliação está relacionada ao valor verdadeiro da empresa, já que a reconciliação está associada à confiabilidade de suas reservas (Ref.: VALE)



Indicadores de Planejamento de Lavra

Exemplo de Reconciliação de mina (em 8 níveis)

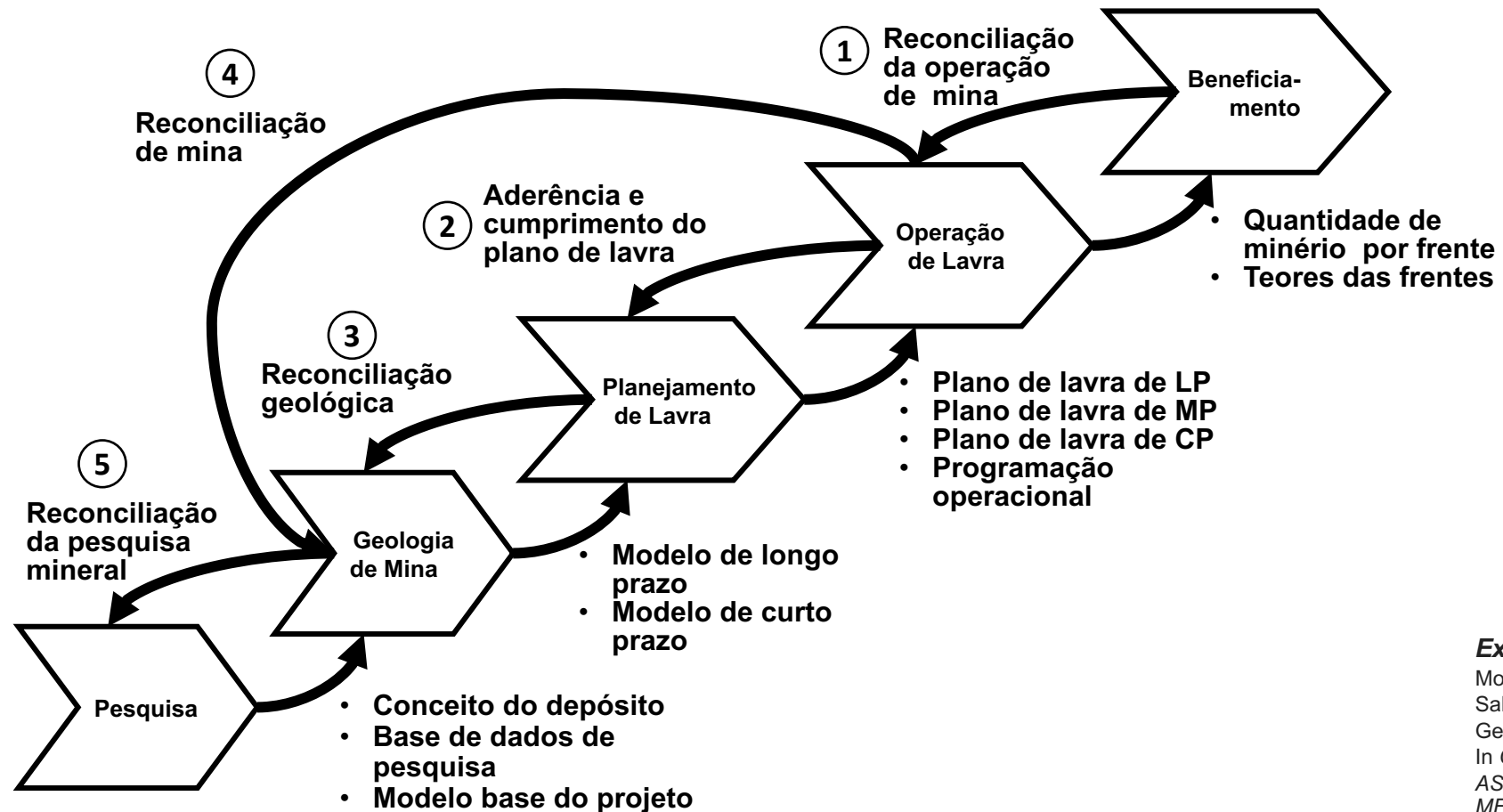


Exemplo de 8 níveis:
Modificado de MORLEY, C.; THOMPSON, K. Extreme reconciliation- A Case Study from Diavik Diamond mine. In: 6th INTERNATIONAL MINING GEOLOGY CONFERENCE, 2006, Darwin, South Africa.



Indicadores de Planejamento de Lavra

Exemplo de Reconciliação de mina (em 5 níveis)



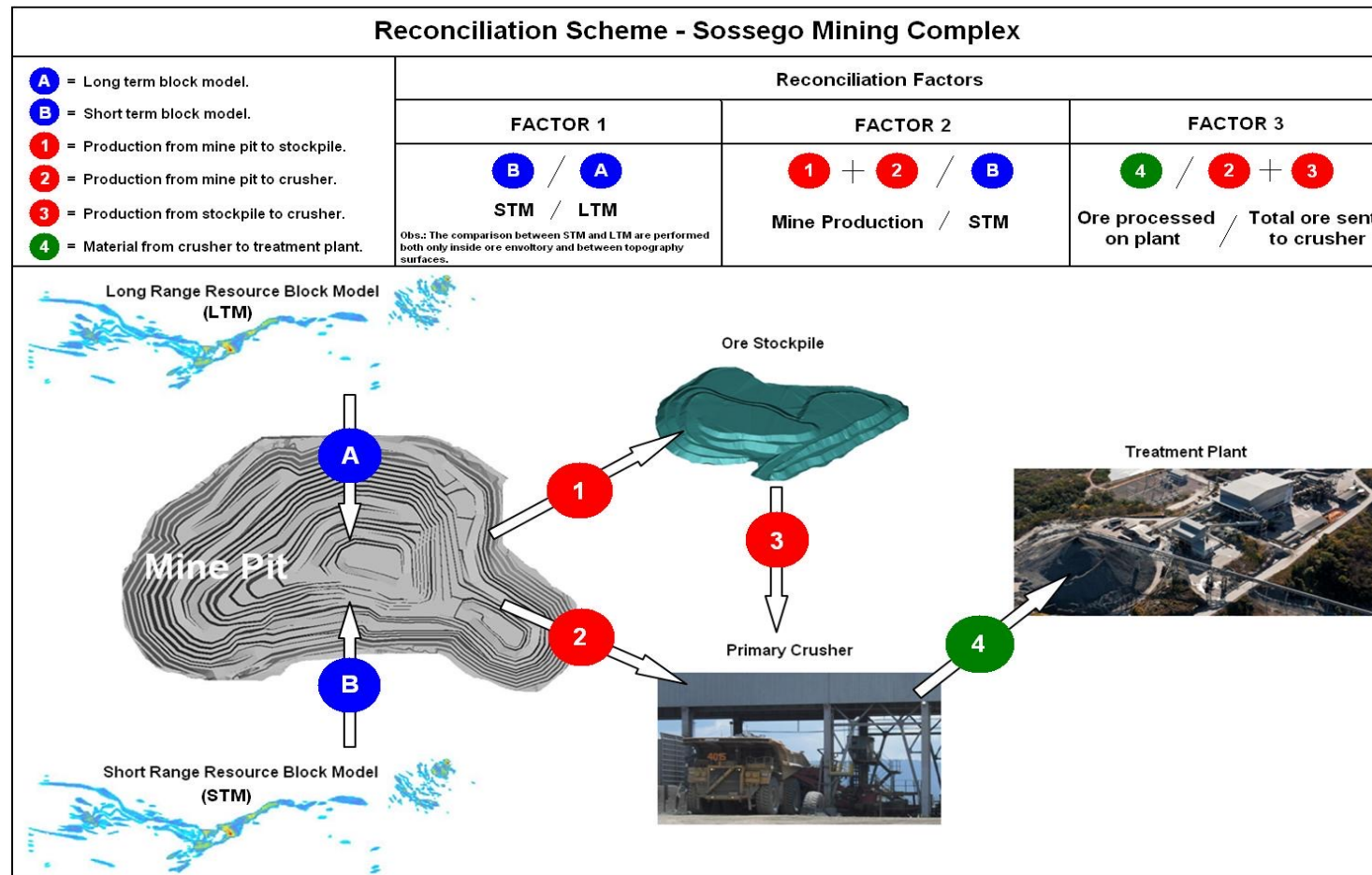
Exemplo de 5 níveis:

Modificado de: Passos, A. O., Sahão, H., & de Tomi, G. (2010). Gestão sistêmica na mineração. In CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA, MATERIAIS E MINERAÇÃO (p. 65).



Indicadores de Planejamento de Lavra

Exemplo de Reconciliação de mina (em 3 níveis)



Exemplo de 3 níveis:
Mina do Sossego, Vale (2019)



Planejamento de Lavra e o Desenvolvimento Sustentável

Considerações sobre Planejamento de Lavra & Desenvolvimento Sustentável



Planejamento de Lavra e o Desenvolvimento Sustentável



ODS: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (Agenda 2030)

...que ninguém seja deixado para trás



Planejamento de Lavra e o Desenvolvimento Sustentável



ODS: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (Agenda 2030)

...que ninguém seja deixado para trás



Planejamento de Lavra e o Desenvolvimento Sustentável

Mapeamento dos ODS para a Mineração (2016)



Os ODS da ONU influenciam e direcionam os *Fatores Modificadores*



Planejamento de Lavra e o Desenvolvimento Sustentável

Mapeamento dos ODS para a Mineração



e direcionam
os *Fatores*
Modificadores



Planejamento de Lavra e o Desenvolvimento Sustentável

Mining with Principles (ICMM, 2020)

ICMM 10 PRINCIPLES

- 1 Ethical business & sound governance
- 2 Sustainable development in decision-making
- 3 Respect for human rights
- 4 Effective risk management
- 5 Health & safety performance
- 6 Environmental performance
- 7 Conservation of biodiversity & land-use planning
- 8 Responsible use & supply of materials
- 9 Social contribution
- 10 Engagement & transparent reporting



Fonte: ICMM (International Council on Mining & Metals (2020)

<https://www.icmm.com/sdgs>



Planejamento de Lavra e o Desenvolvimento Sustentável

Mining with Principles (ICMM, 2020)



Os ODS da ONU e os
Princípios do ICMM
influenciam
e direcionam
os *Fatores*
Modificadores



Planejamento de Lavra e o Desenvolvimento Sustentável

Mining with Principles (ICMM, 2020)



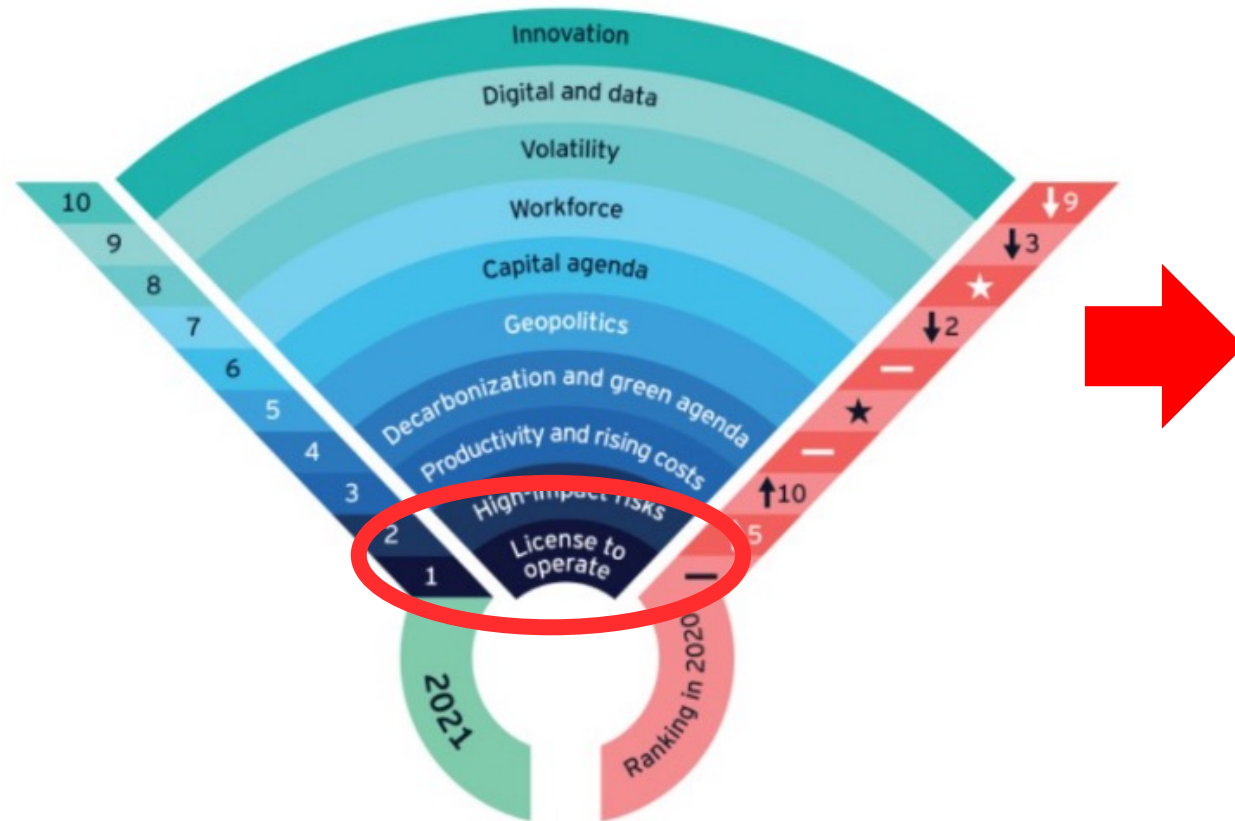
Princípios e ODS para a Mineração (ICMM, 2020)

...enciam
e direcionam
os *Fatores*
Modificadores



Planejamento de Lavra e o Desenvolvimento Sustentável

Agenda ESG para a Mineração



Licença Social de Operação (LSO) é crítica para todos os empreendimentos de mineração (exemplo: SJ Campos, SP)



Planejamento de Lavra e o Desenvolvimento Sustentável

Mineração e as Mudanças Climáticas

- Meta nacional de redução de emissão de GEE em **50% nesta década**
- Para a mineração....

Definições do escopo de emissão (GEE)

- Escopo 1** Emissões de fontes diretamente controladas pela mineração
- Escopo 2** Emissões indiretas da geração de energia da rede
- Escopo 3** Emissões nos demais componentes da cadeia de suprimentos incluindo os consumidores dos produtos

- Escopo 3 é OPCIONAL, já que se aplica à toda a cadeia de valor e de suprimentos
- Escopo 1 e 2 são COMPULSÓRIOS e tem que acontecer nesta **DÉCADA (i.e., até 2030)**!

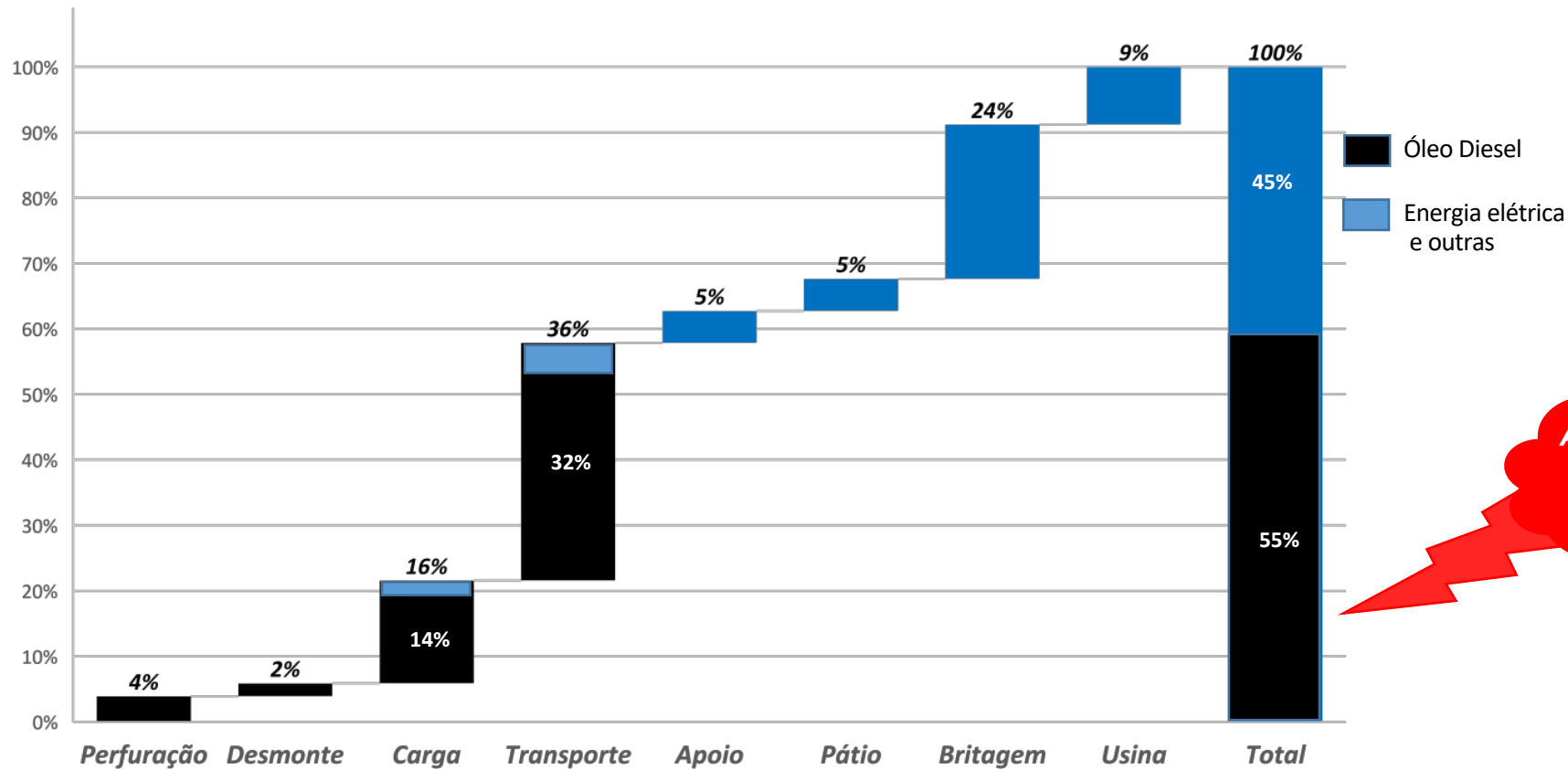


(Nov/2021)



Planejamento de Lavra e o Desenvolvimento Sustentável

Mineração e as Mudanças Climáticas



(Nov/2021)

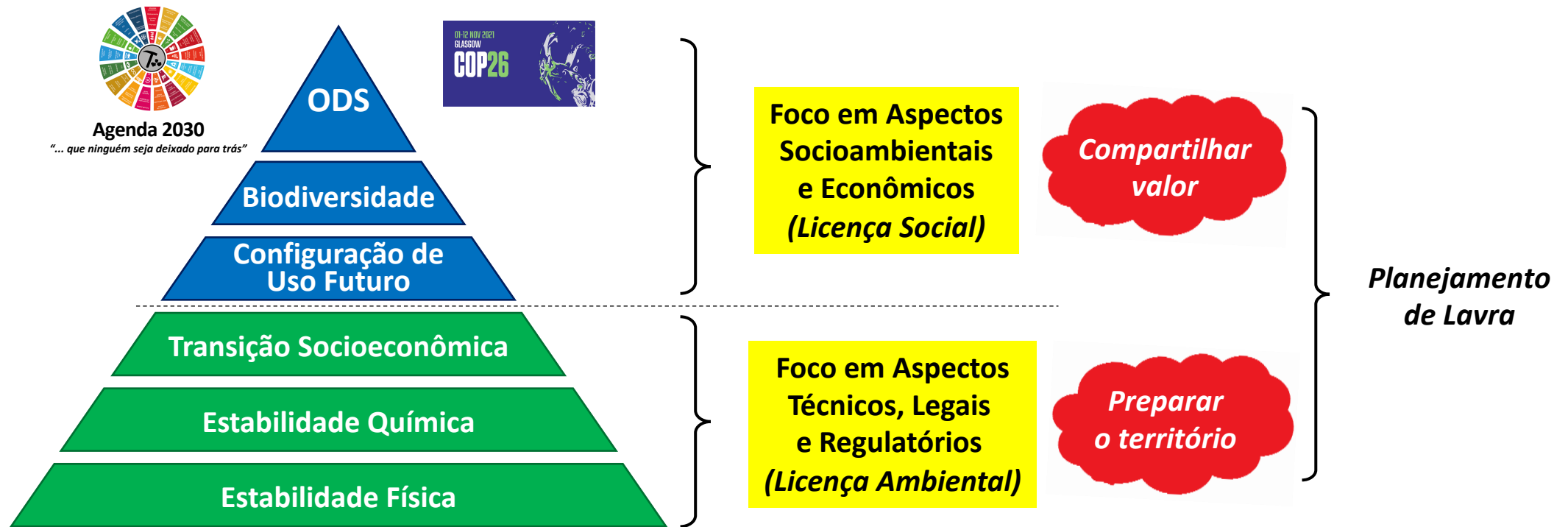
A Mineração terá que atuar aqui imediatamente

Fonte: Adaptado de
www.mckinsey.com
(/2021)



Planejamento de Lavra e o Desenvolvimento Sustentável

Planejamento de Lavra e o Fechamento de Mina



↑ **Fechamento de Mina** ↑
↑ **Planejamento de Lavra** ↑

Fonte: *modificado de* APEC (2018). Mine Closure Checklists for Governments. APEC Mining Task Force. Singapore. Consultado em 10 de junho de 2021. Disponível em: https://www.apec.org/-/media/APEC/Publications/2018/3/Mine-Closure-Checklist-for-Governments/218_MTF_Mine-Closure_Checklist-for-Governments.pdf



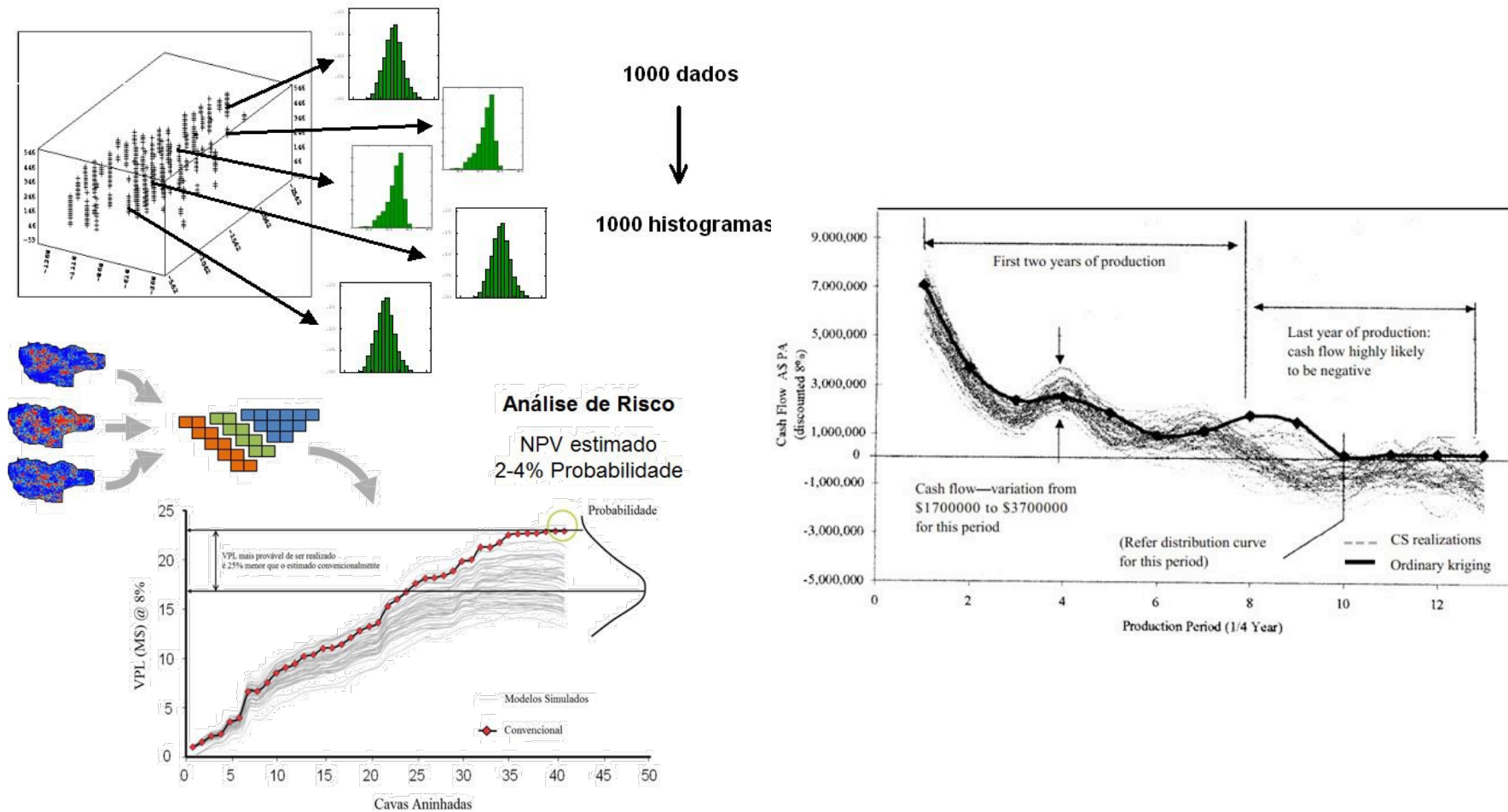
Planejamento de Lavra e a Mineração do Sec. XXI

Novas Tendências e Tecnologias Disruptivas



Planejamento de Lavra e a Mineração do Sec. XXI

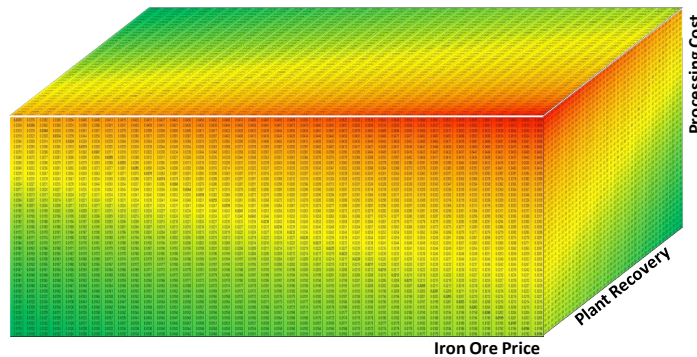
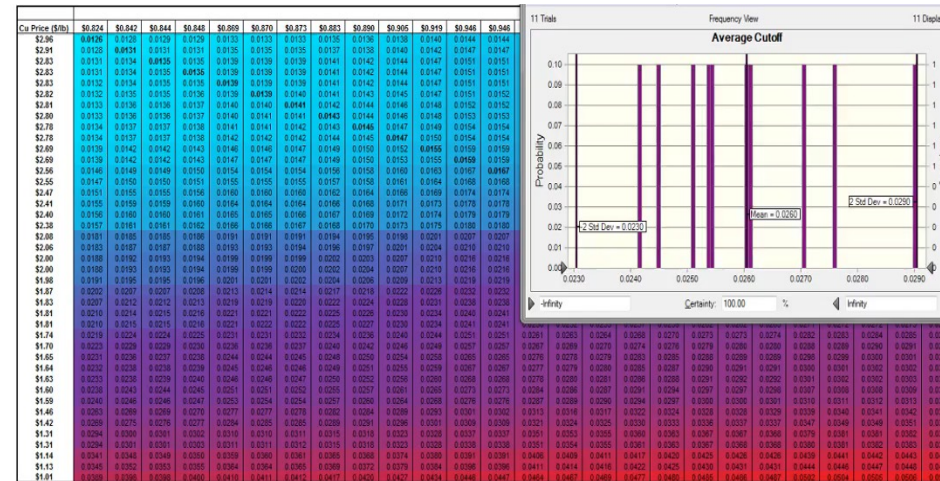
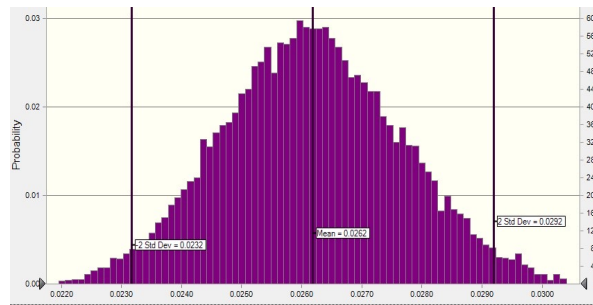
Planejamento Estocástico de Lavra



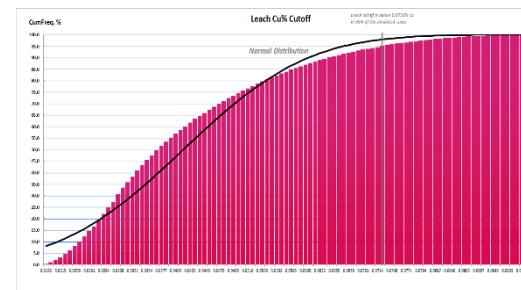


Planejamento de Lavra e a Mineração do Sec. XXI

Planejamento Estocástico de Lavra (o 'poder da nuvem')



Multi-dimensional Sensitivity Analysis



Nível de confiança nas reservas!!

Fonte:
Cirrus Mining Innovation
www.cirrusmine.com



Planejamento de Lavra e a Mineração do Sec. XXI

Novas ferramentas para otimização do planejamento de lavra

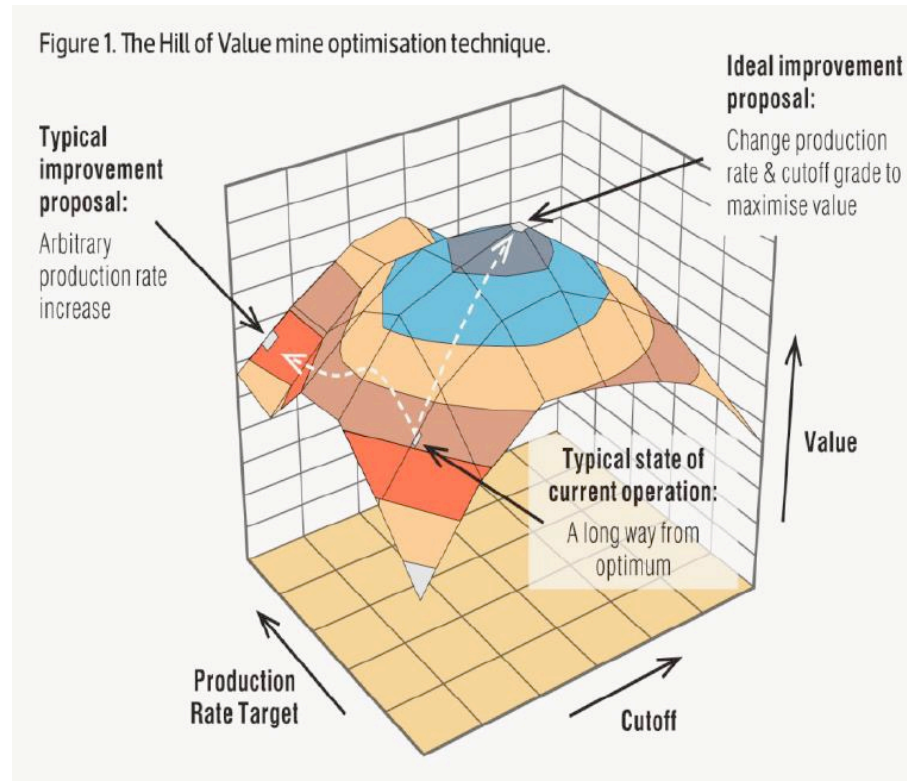
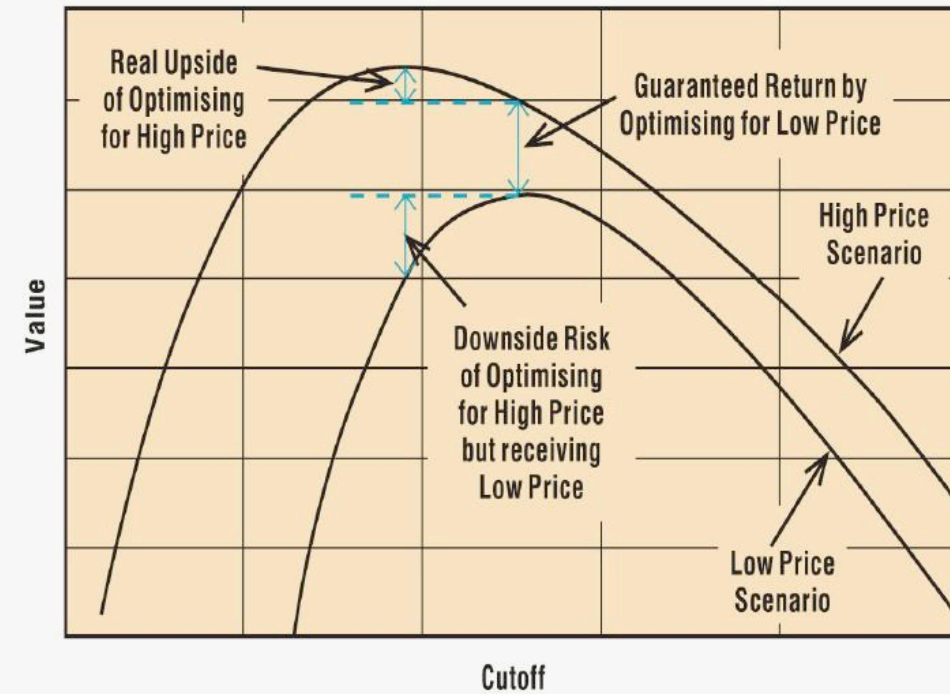


Figure 2. Risks and rewards of optimum cut-offs.





Planejamento de Lavra e a Mineração do Sec. XXI

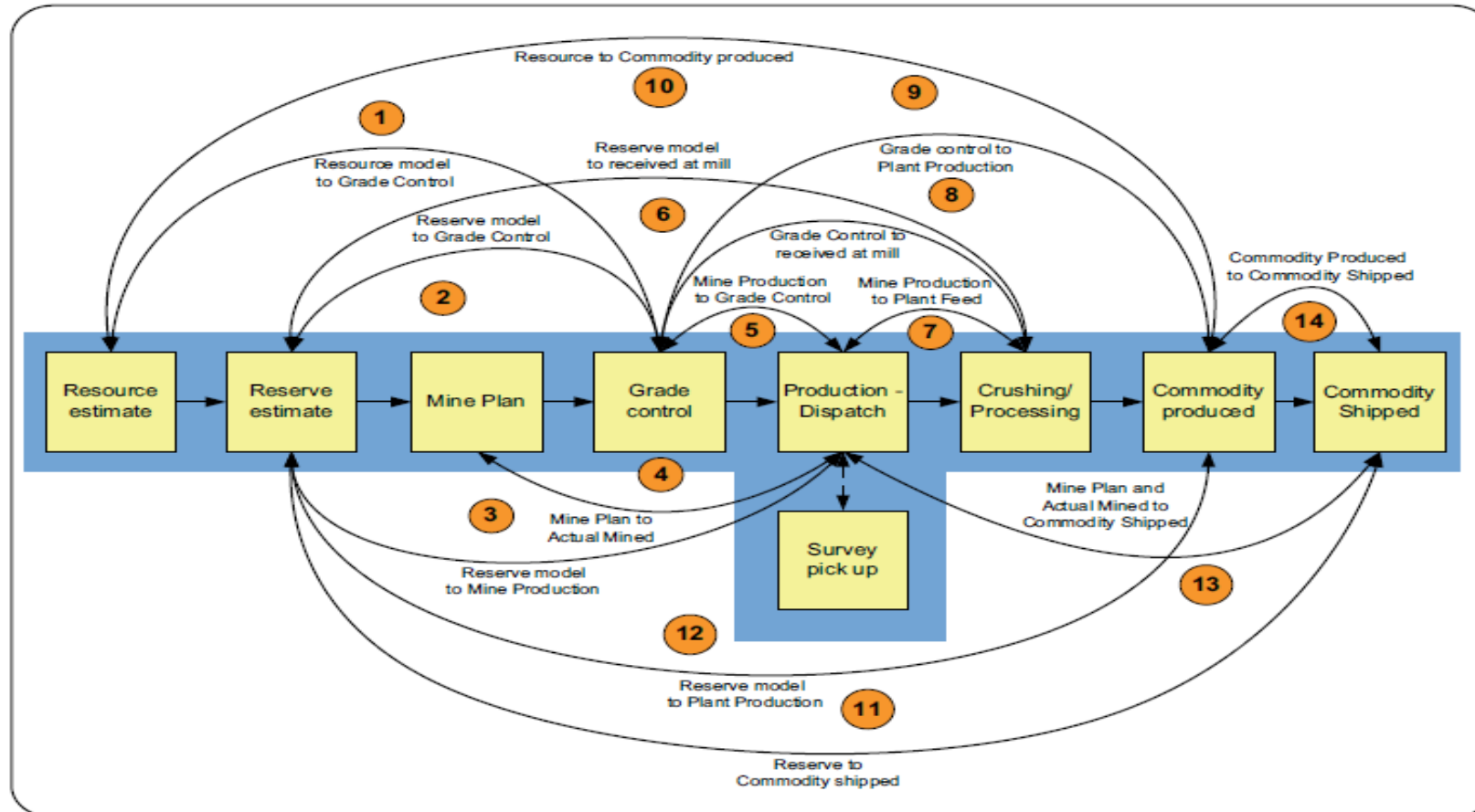
Veículos autônomos para redução de riscos operacionais





Planejamento de Lavra e a Mineração do Sec. XXI

Integração ponta-a-ponta da Cadeira de Produção Mineral





Planejamento de Lavra e a Mineração do Sec. XXI

Machine Learning e Data Analytics

Inteligência analítica associado a *machine learning*, com objetivos de encontrar padrões nos indicadores operacionais interligados de ponto a ponto, possibilitando otimizações na cadeia de produção Mina/Cliente.

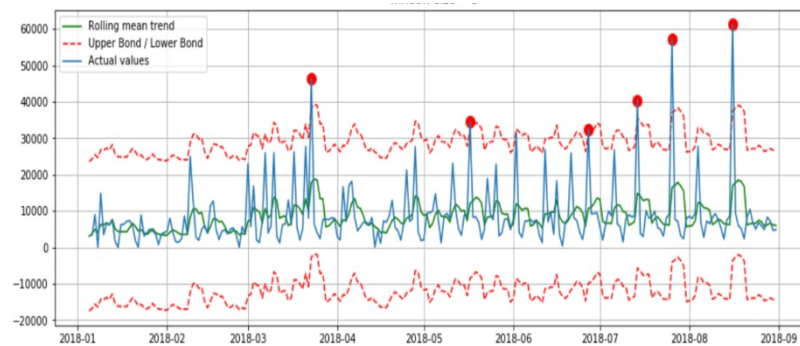




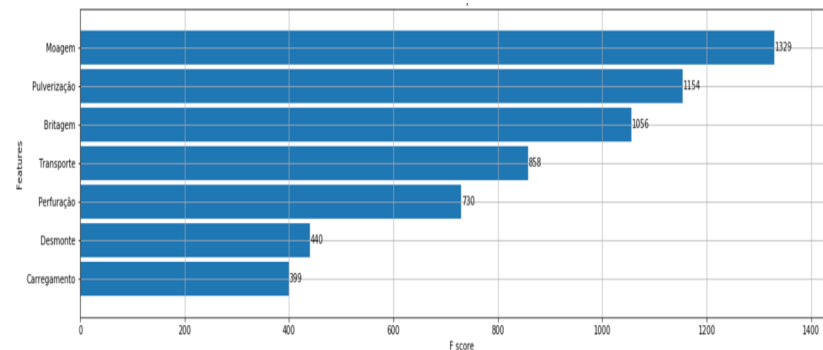
Planejamento de Lavra e a Mineração do Sec. XXI

Machine Learning e Data Analytics (exemplo)

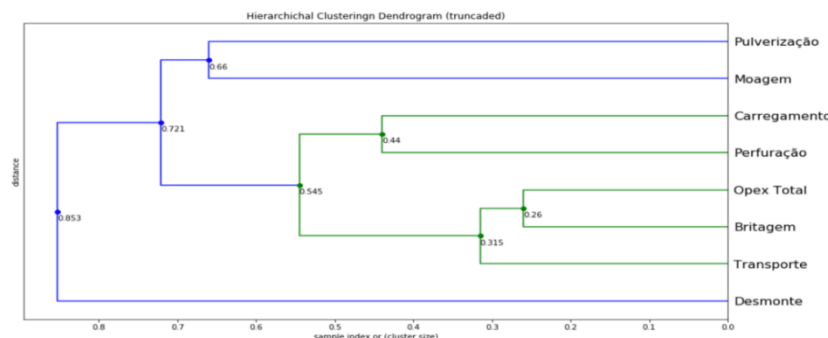
Análise Simultânea das Operações Unitárias e das Atividades de Apoio à operação, incluindo: Perfuração, Desmonte, Carregamento, Transporte, Britagem, Moagem, Manutenção, Infraestrutura.



Médias móveis – Identificação de anomalias



Influência das variáveis no modelo



Clusters de correlação de Spearman

	Perfuração	Desmonte	Carregamento	Transporte	Britagem	Moagem	Pulverização	Opex Total
Perfuração	1.0	0.062	0.54	0.41	0.52	0.29	0.17	0.26
Desmonte	0.062	1.0	0.089	0.2	0.22	0.041	0.12	0.96
Carregamento	0.54	0.089	1.0	0.24	0.36	0.41	0.11	0.3
Transporte	0.41	0.2	0.24	1.0	0.71	0.31	0.4	0.38
Britagem	0.52	0.22	0.36	0.71	1.0	0.37	0.39	0.45
Moagem	0.29	0.041	0.41	0.31	0.37	1.0	0.47	0.21
Pulverização	0.17	0.12	0.11	0.4	0.39	0.47	1.0	0.26
Opex Total	0.26	0.96	0.3	0.38	0.45	0.21	0.26	1.0

Correlação de Pearson

Fonte: Dual Mining
www.dualmining.com.br



Planejamento de Lavra e a Mineração do Sec. XXI

Machine Learning e Data Analytics (exemplo)

Análise Preditiva Simultânea das Operações Unitárias e das Atividades de Apoio à operação

Predict Model

Insira um arquivo excel

Browse...

Upload complete

Escolha uma variável para o deflator:

Deflator variável 1

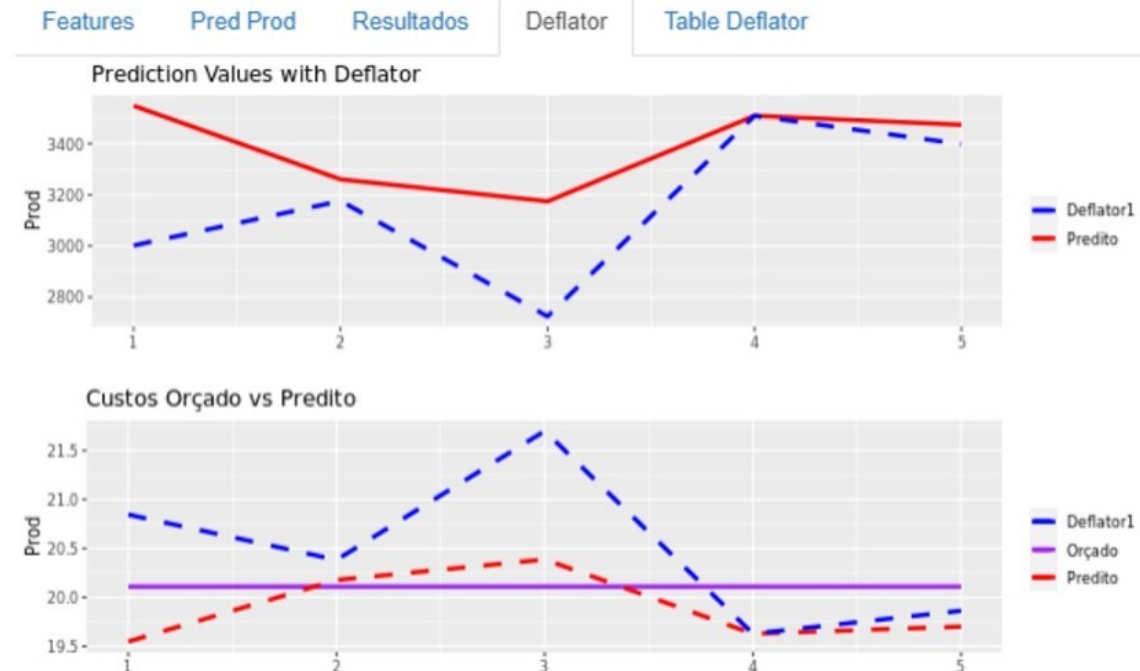
-100 38 100

-100 -80 -60 -40 -20 0 20 40 60 80 100

Deflator variável 2

-100 0 100

-100 -80 -60 -40 -20 0 20 40 60 80 100



Fonte: Dual Mining
www.dualmining.com.br



Aula 04: Aprendizado

- Quais os **principais índices e indicadores** de desempenho do planejamento de lavra?
- Qual o **horizonte mais adequado** para um exercício de reconciliação numa mina de grande porte?
- Se uma auditoria indicar que o **índice de minério liberado** está abaixo do esperado, **quais os riscos** que isso pode trazer ao empreendimento?
- A mineração pode contribuir com os **ODS da ONU**? Cite exemplos.
- A mineração tem espaço para **novas tecnologias no planejamento de lavra**? Cite 2 exemplos e indique os seus potenciais benefícios.



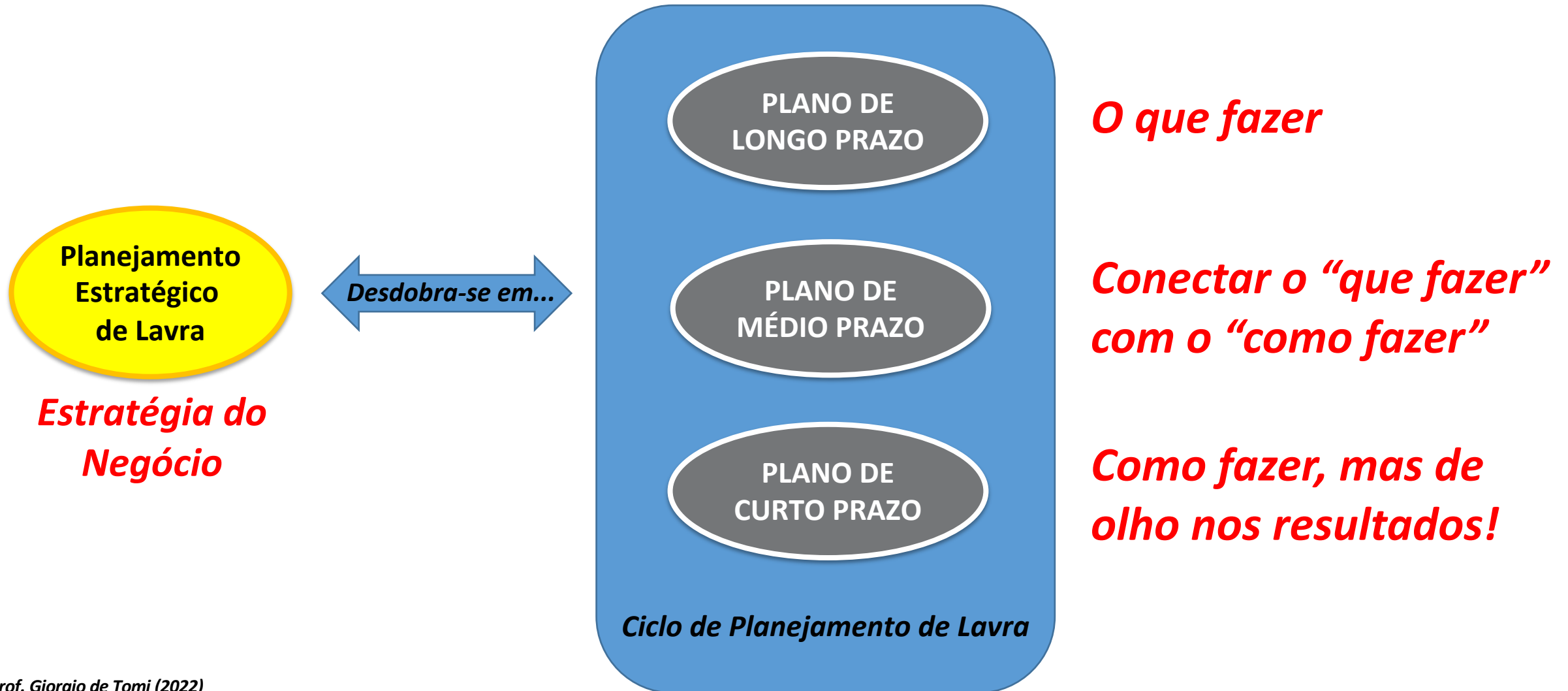
Revisão

PMI 5014

Projeto de Planejamento e Sequenciamento de Lavra (2022)



Ciclo de Planejamento de Lavra



O que fazer

Conectar o "que fazer" com o "como fazer"

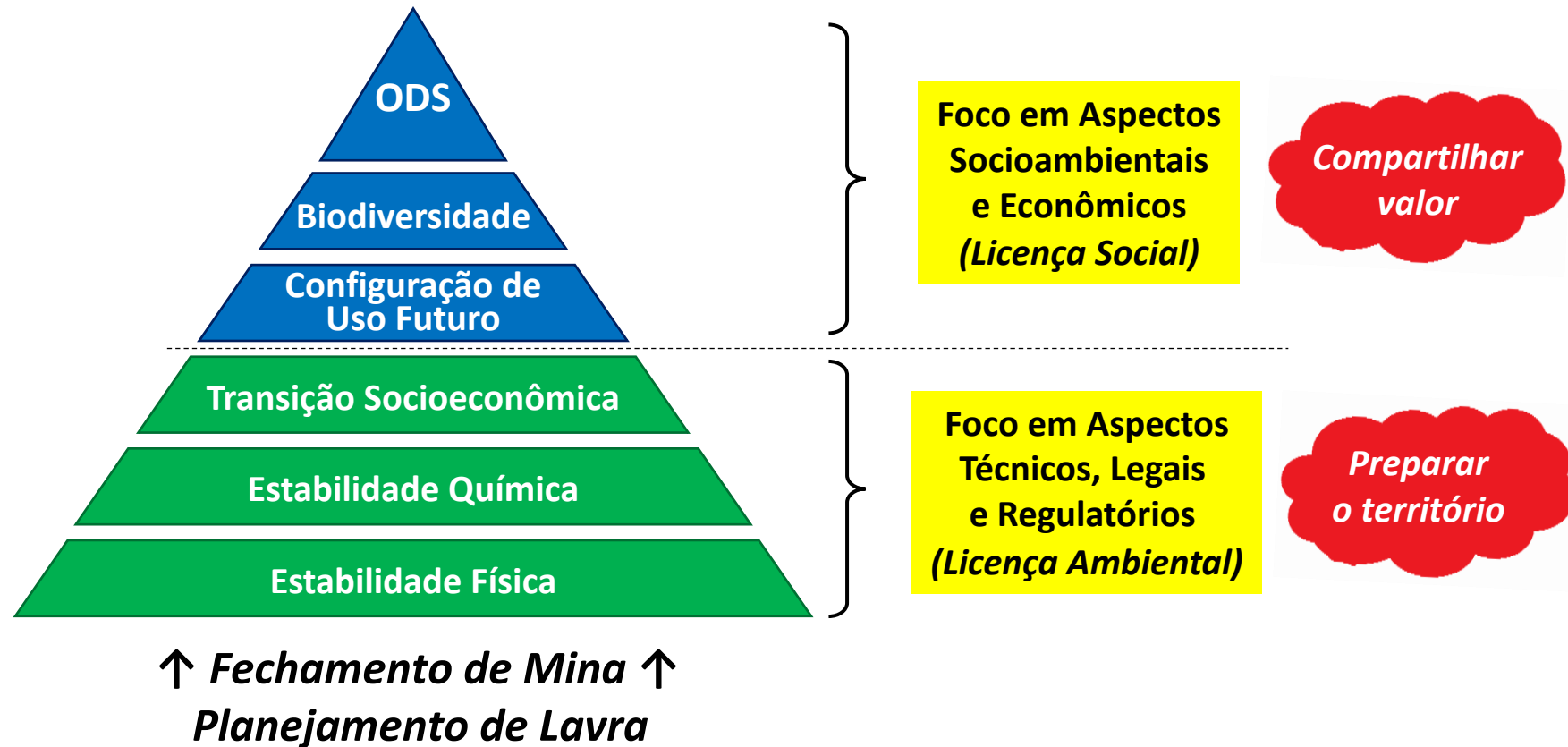
Como fazer, mas de olho nos resultados!

Ciclo de Planejamento de Lavra



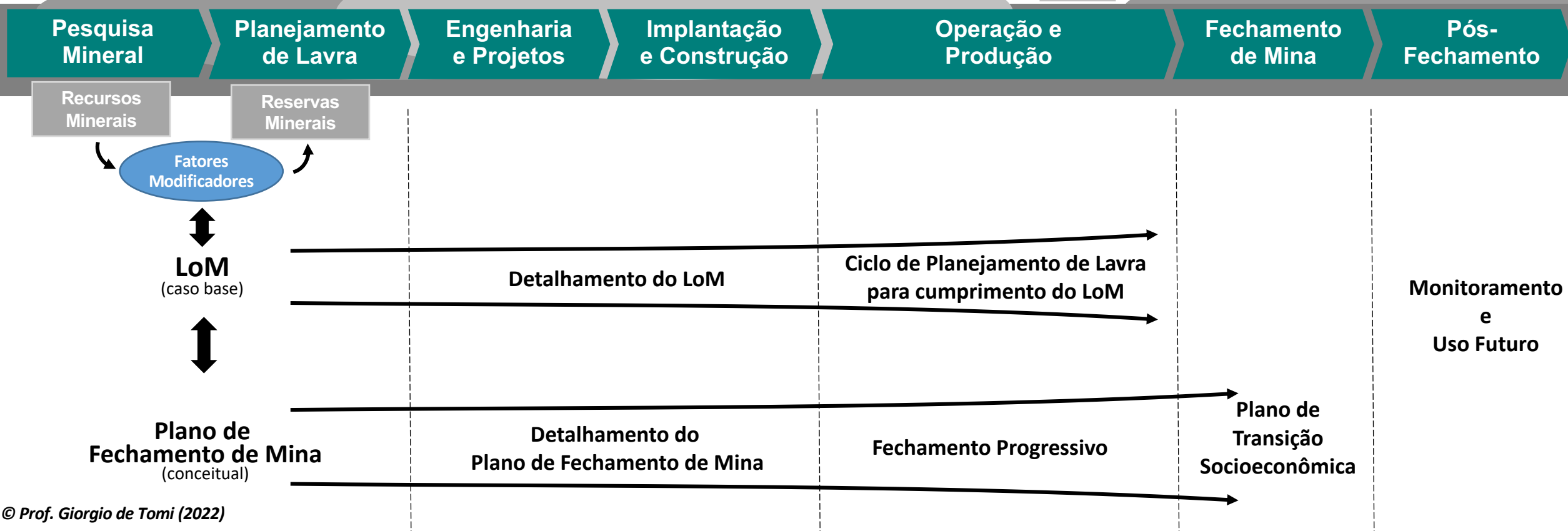
Planejamento de Lavra e o Desenvolvimento Sustentável

Planejamento de Lavra e o Fechamento de Mina





Cadeia de Valor Mineral





Cadeia de Valor Mineral





Seção Prática Aula 04: Eng. Rafael Araos

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.