



VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
**METALOGENIA**

17 A 20/8/2025 - SALVADOR - BA

**“PROACTIVE RECONCILIATION SYSTEM  
APPLIED TO UNDERGROUND AND OPEN  
PIT COPPER MINE AT CURAÇÁ VALLEY”**

Autor: Joscil Spitzner Galvão<sup>1</sup>; Lucas U. D. Mendes<sup>2</sup>; Anderson O. dos Santos<sup>3</sup>;  
Marcelo R. da Rocha<sup>4</sup>; Ana Carolina Chierigati<sup>5</sup>

Empresa: Ero Brasil Caraíba; USP



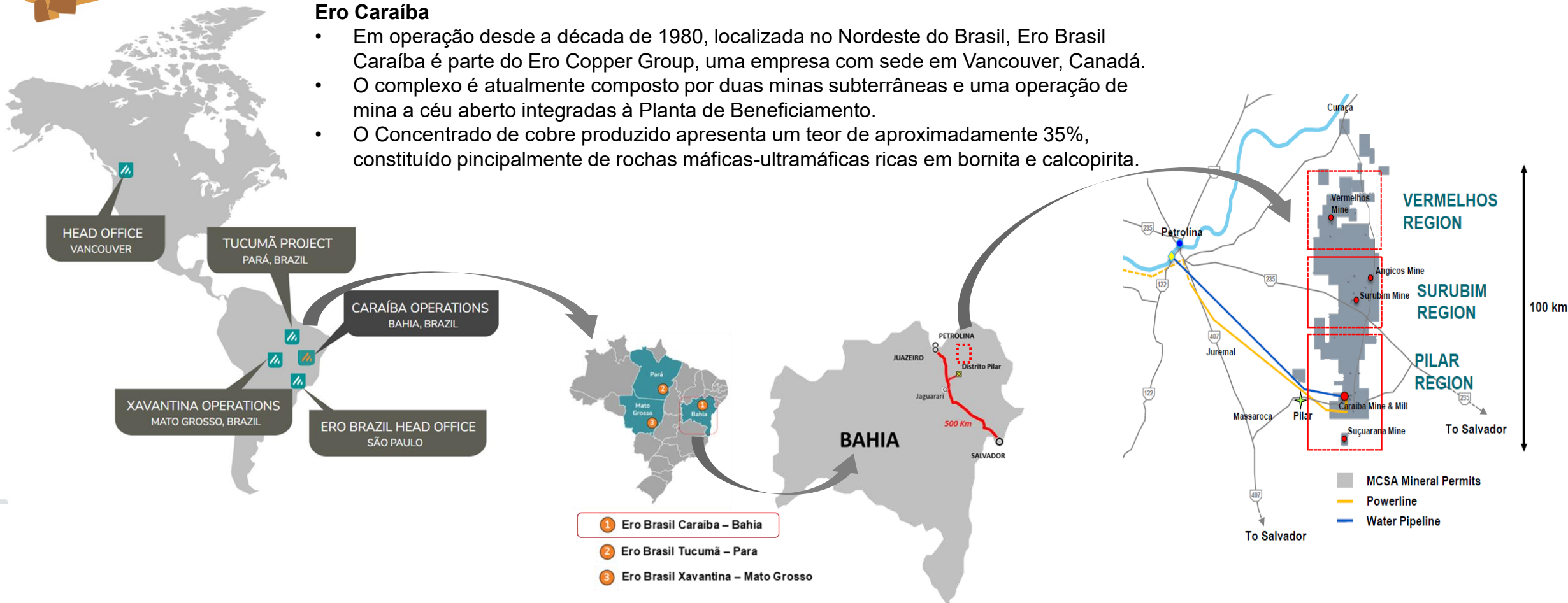


# Ero Brasil Caraíba



## Ero Caraíba

- Em operação desde a década de 1980, localizada no Nordeste do Brasil, Ero Brasil Caraíba é parte do Ero Copper Group, uma empresa com sede em Vancouver, Canadá.
- O complexo é atualmente composto por duas minas subterrâneas e uma operação de mina a céu aberto integradas à Planta de Beneficiamento.
- O Concentrado de cobre produzido apresenta um teor de aproximadamente 35%, constituído principalmente de rochas máficas-ultramáficas ricas em bornita e calcopirita.





# Ero Brasil Caraíba – Mina Pilar

## MINA PILAR

**1979:** Início da operação céu aberto

**1986:** Início da operação subterrânea

**2016:** Adquirida pela EroCopper

**Produção Anual:** 1.8Mt para 3.0Mt

**Reserva:** 34.9 Mt @ 1,43%, 500kt Cu

**Mineralização:** Bornita e Calcopirita em rochas máficas-ultramáficas

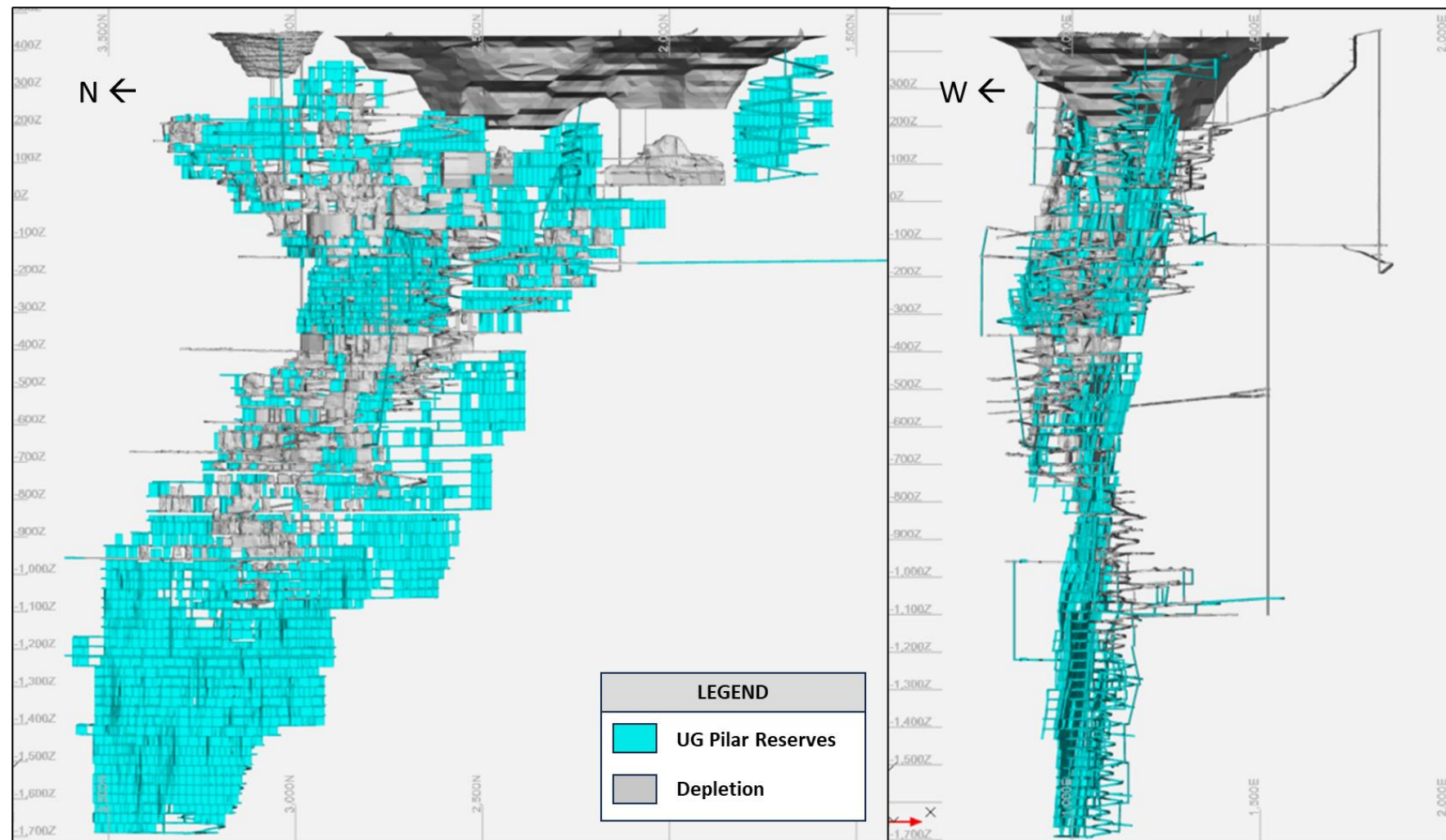
**Profundidade Atual:** 1.500m

**Profundidade Final:** 2.000m

**LOM:** 18 yers (2042)

**Empregados:** 2050

**Highlights:** Novo Shaft e novos acessos de rampa.





# Ero Brasil Caraíba – Mina Vermelhos

## MINA VERMELHOS

**2018:** Início da operação subterrânea.

**Produção Anual:** ~0.6Mt

**Reserva:** 3.5 Mt @ 1,31%,  
45kt Cu Metal

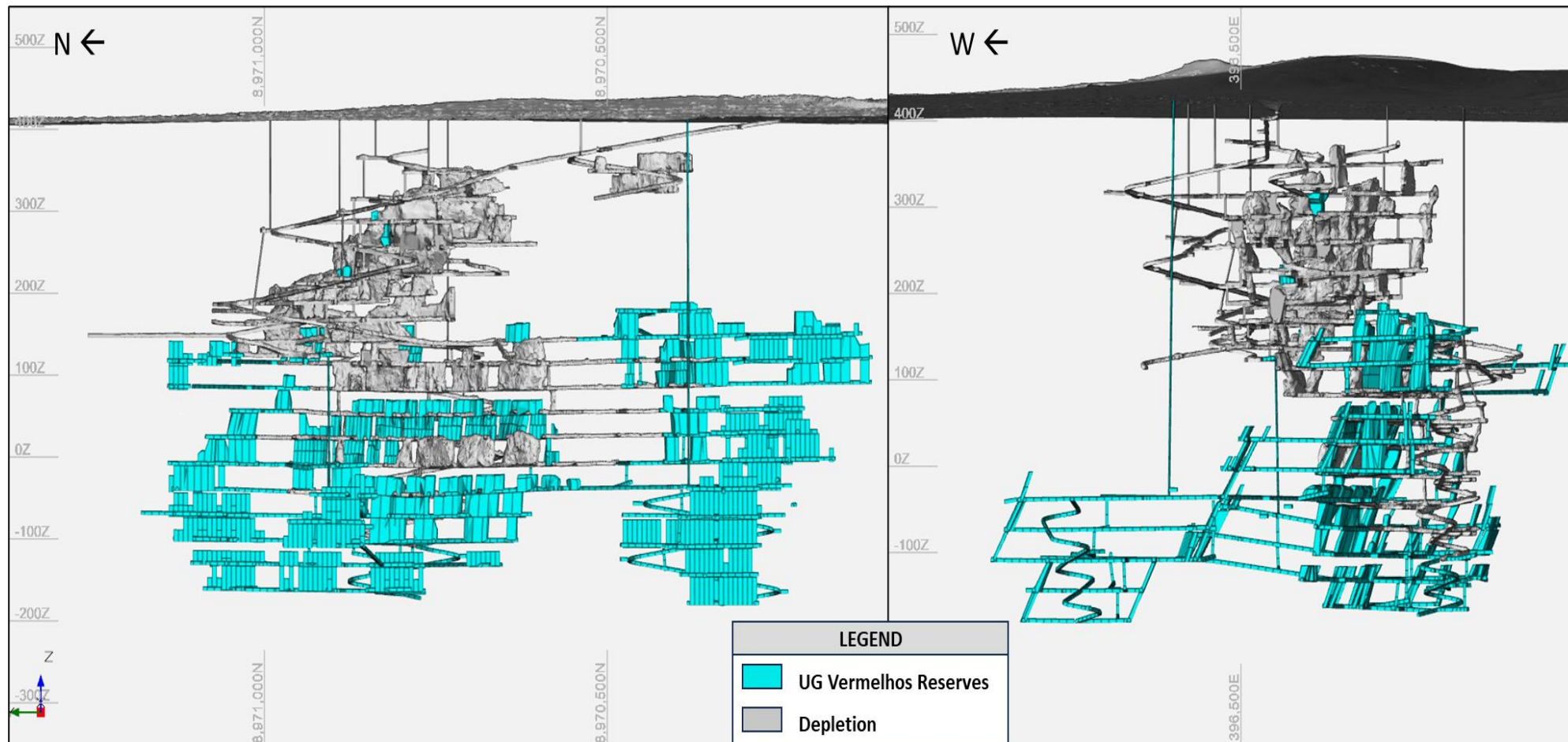
**Mineralização:** Bornita e  
Calcopirita predominante em  
rochas máficas-ultramáficas

**Prof. Atual :** 500m

**Prof. Final:** 600m UG3, 900m  
UG4

**LOM:** 6 years (2030)

**Empregados:** 500





# Ero Brasil Caraíba – Mina Surubim

## MINA SURUBIM

**2018:** Reiniciou sua operação céu aberto

**Produção Anual:** ~0.6Mt

**Reserva:** 2.2 Mt @ 0.76%,  
16kt Cu Metal

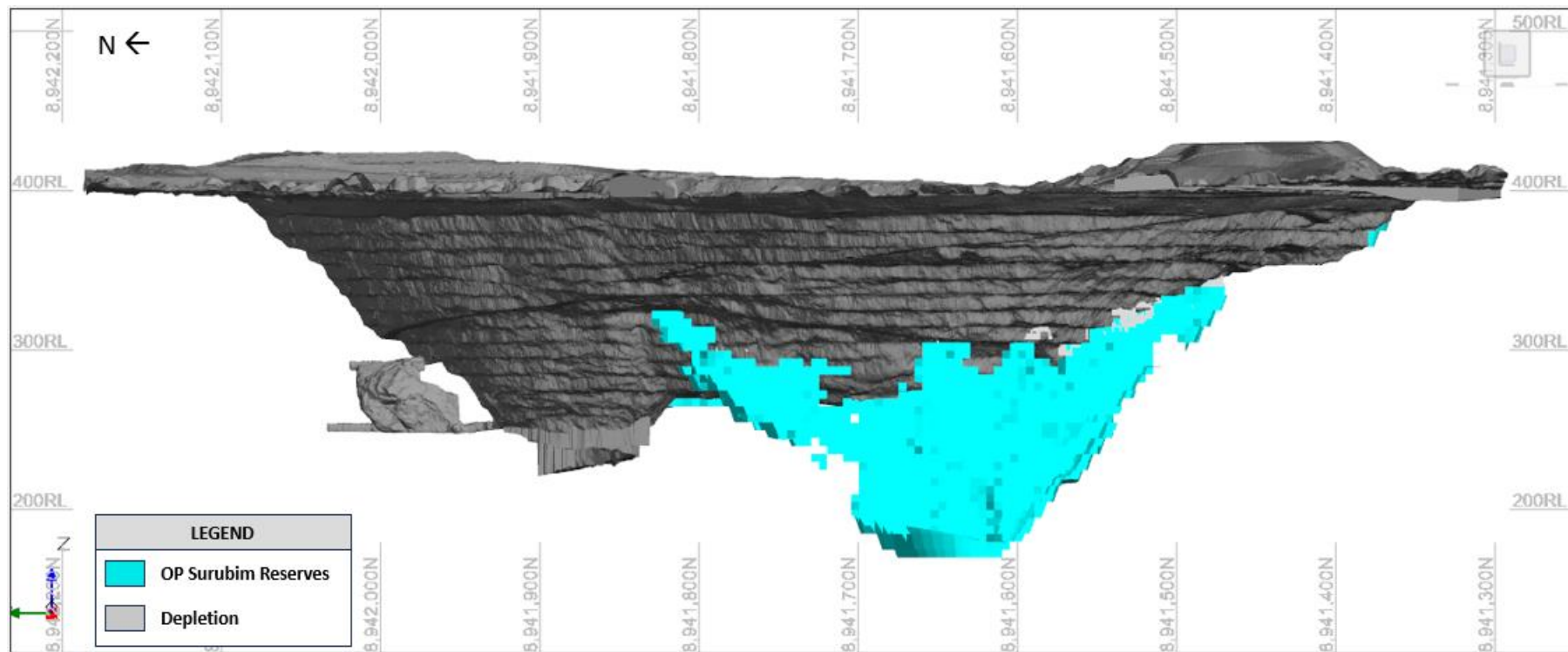
**Mineralização:** Calcopirita e Bornita em flogopititos e rochas máficas-ultramáficas

**Profundidade atual:** 100m

**Profundidade final:** 240m

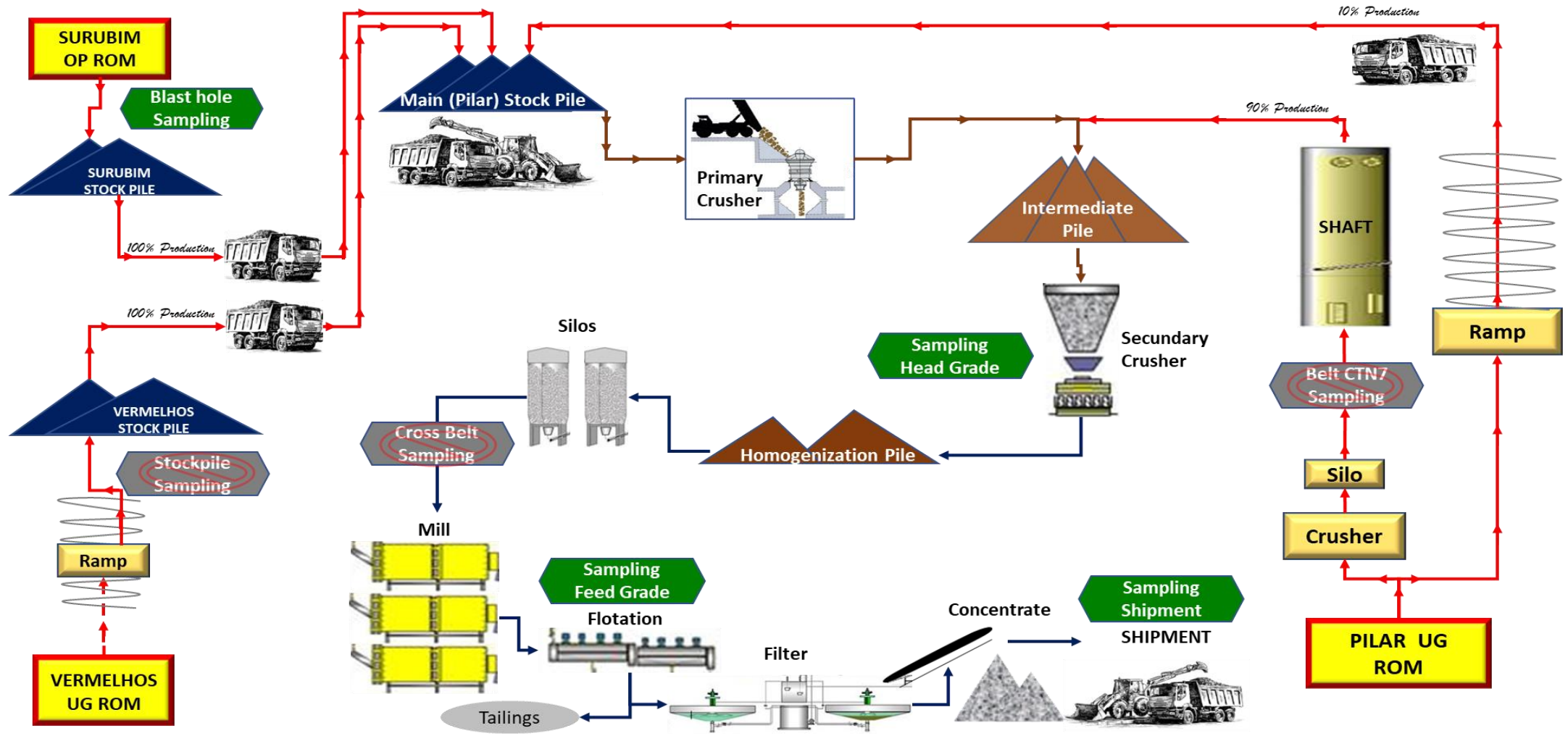
**LOM:** 3 years (2027)

**Empregados:** 80





# Ero Brasil Caraíba – Mine to Mill





# Ero Brasil Caraíba – Planta de Beneficiamento





# O que é a RECONCILIAÇÃO?

É a comparação entre produção (usina) e planejamento (modelo)

- **Problema**
  - Ajustes reativos via MCF (*Mine Call fator*) não garantem precisão
- **Chierigati et al. (2008)**
  - Reconciliar = comparar estimado x real
  - Ferramenta de controle e monitoramento
  - Identifica desvios e oportunidades
  - Mesmo sem eliminar discrepâncias, permite controlá-las
- **Importância da Amostragem na Reconciliação**
  - Sem amostragem adequada, qualquer análise estatística perde validade.
  - Erros de reconciliação estão diretamente ligados a falhas na coleta de amostras.





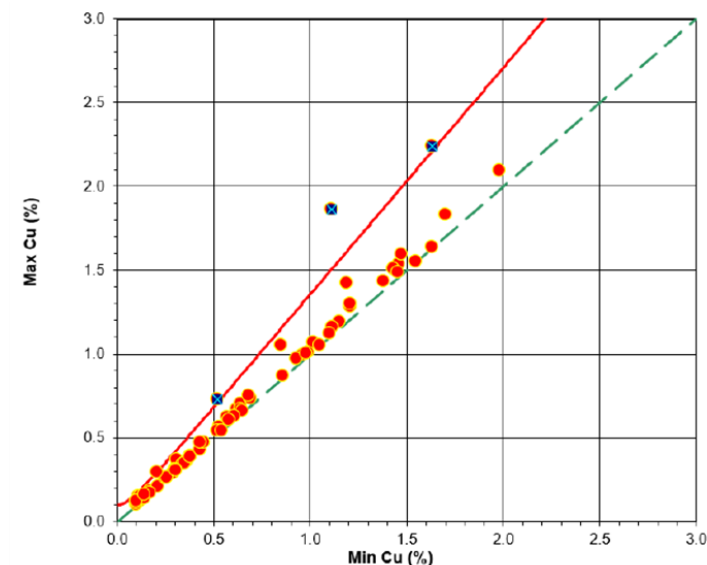
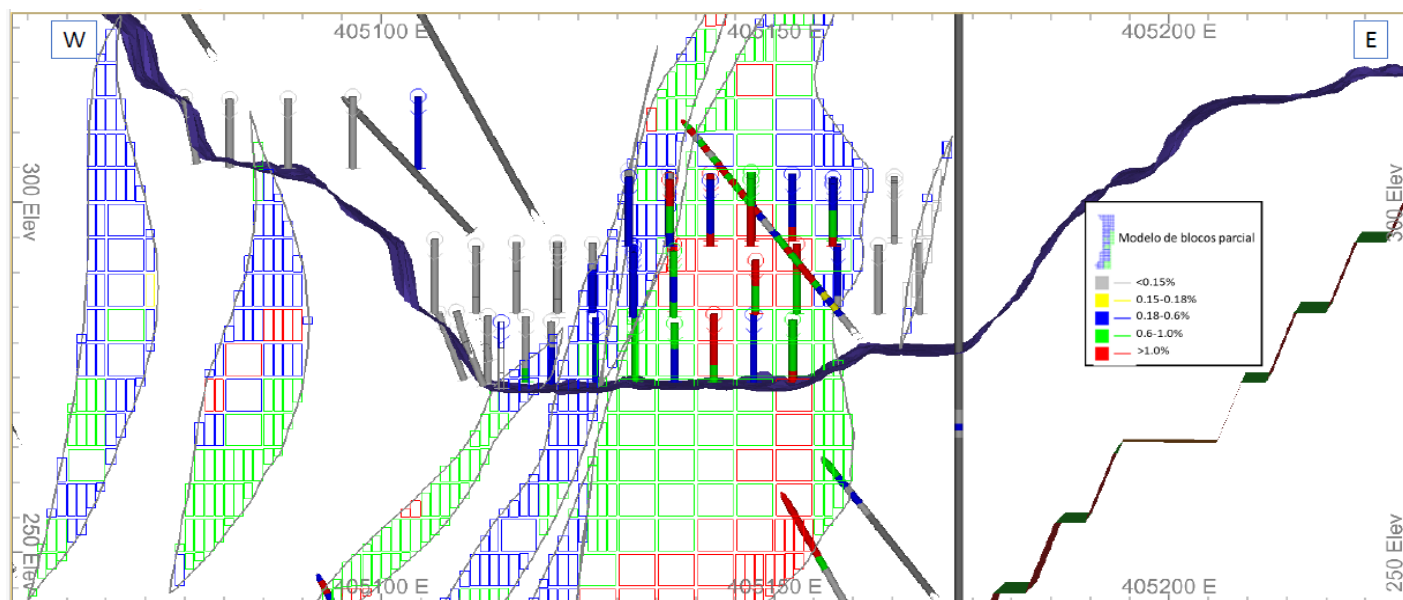
# TEORIA DA AMOSTRAGEM – Pierre Gy

## Quadro Comparativo – Teoria da Amostragem de Gy

Teoria / Erro	Teste Recomendado	Aplicação Prática
Erro Fundamental de Amostragem (FSE)	Teste de Homogeneidade	Define o tamanho mínimo da amostra para representar o lote, considerando granulometria, densidade e heterogeneidade.
Erro de Agrupamento e Segregação (GSE)	Teste de Incrementos	Verifica se a segregação física ou agrupamento afeta a representatividade das amostras durante transporte/armazenagem.
Erro de Delimitação/Extração de Incrementos	Teste de Duplas Amostras	Avalia se incrementos são coletados de forma justa e sem viés; compara duas amostras independentes.
Erro de Preparação (britagem, quarteamento, moagem)	Testes de Redução de Erros	Mede se etapas de preparação introduzem viés ou perda de representatividade.
Viés Sistemático (Bias)	Teste de Viés (Bias Test)	Confirma se o processo de amostragem tende a superestimar ou subestimar o teor real; usado em auditorias.



# Amostragem de perfuratriz (OP)



(Todas las muestras)



Número de amostras  
67

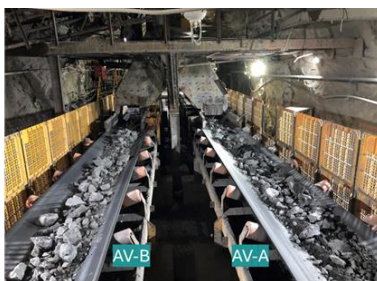
Número de falhas  
3      4.5%

## QAQC do furos de perfuratriz:

- Boa concordância entre duplicatas (67 amostras; 3 falhas – 4,5%)
- Percentual de falhas aceitável para operações a céu aberto (amostragem confiável)
- Dados confirmam representatividade adequada das amostras de perfuratriz para estimativa de teor e reconciliação



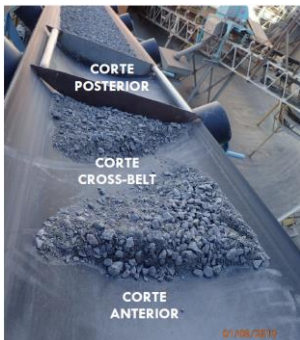
# Amostragem de mina e pilha



- **Vermelhos – Amostragem das Pilhas**
  - Método não probabilístico, baixa precisão (28,01%)
  - Duplicatas com alto desvio (até 38,48%)
  - Precisão cai em teores  $< 0,6\%$  Cu
- **Pilar (CTN7) – Heterogeneidade**
  - Minério com alta variabilidade (“pepita pura”)
  - Erro de heterogeneidade 27,1% → necessidade de maior controle
  - Erro Fundamental elevado (23,81%)
- **Pilar (CTN7) – Distribuição Granulométrica**
  - Diferenças entre Correia A x Correia B (mais finos na B)
  - Impacto na reconciliação mina-usina
  - Risco de subestimação do teor de cobre



# Amostragem da Usina



## Erros e Desvios de Amostragem

### • Erro de Amostragem

- Corta-fluxo linear → perda de finos
- Cross-belt → viés, subestima teor de cobre
- Mais de 10% do cobre concentrado em frações finas

### • Desvios na Flotação – dentro do limite (*Pitard, 2013*)

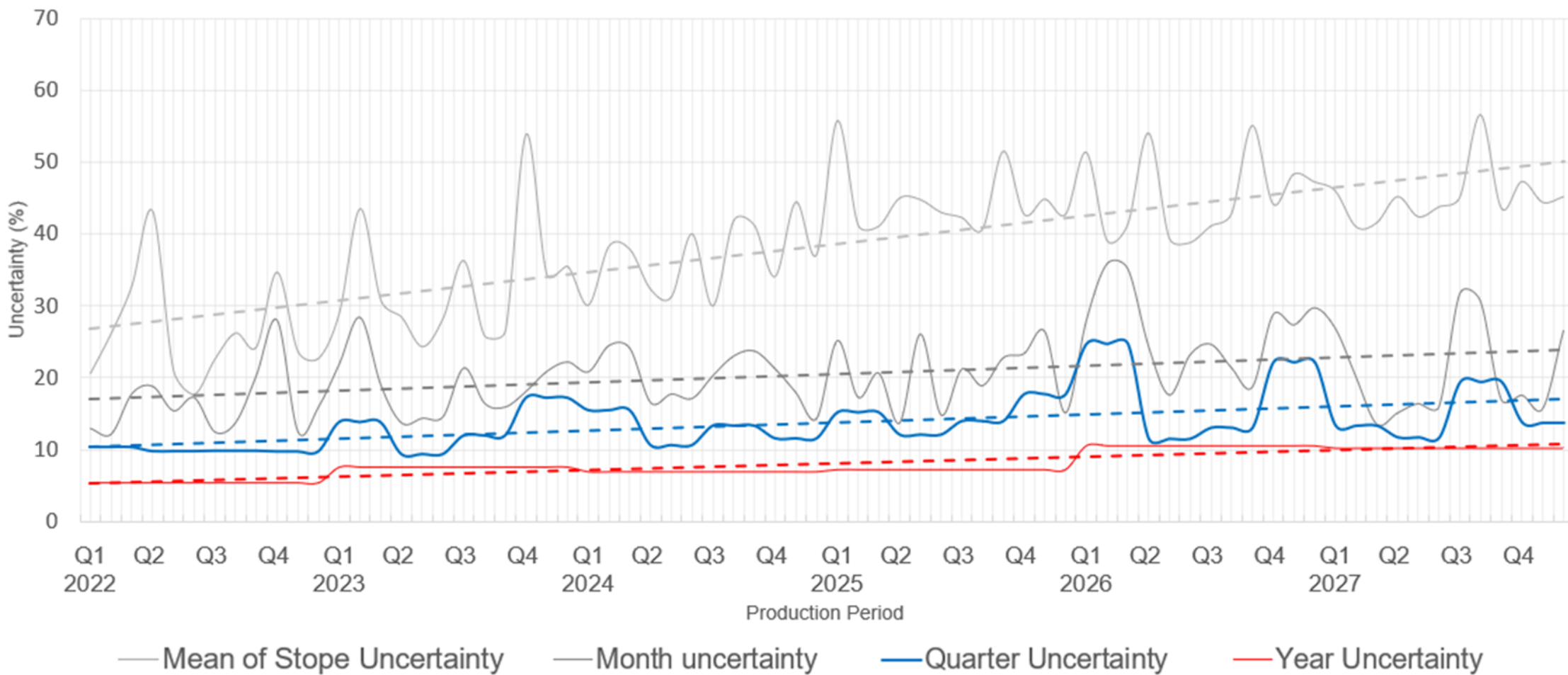
- Alimentação (10') → 0,70%
- Concentrado (15') → 1,14%
- Rejeito final (10') → 0,91%

## Coleta no Embarque

- Sem viés estatisticamente significativo
- Exceção: diferença entre procedimento padrão x amostras laterais de caçambas

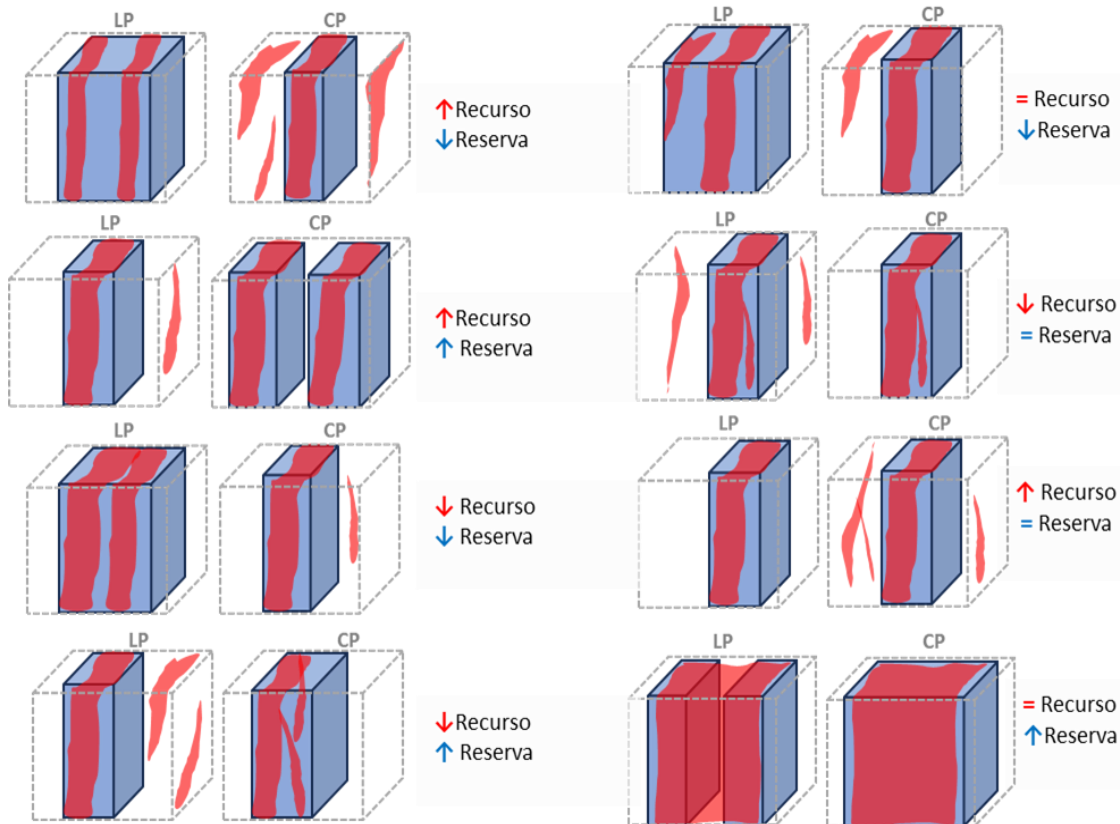


# Observação 02 – Período a ser considerado





# Observação 03 – Comparação de Recursos e Reservas CP vs LP



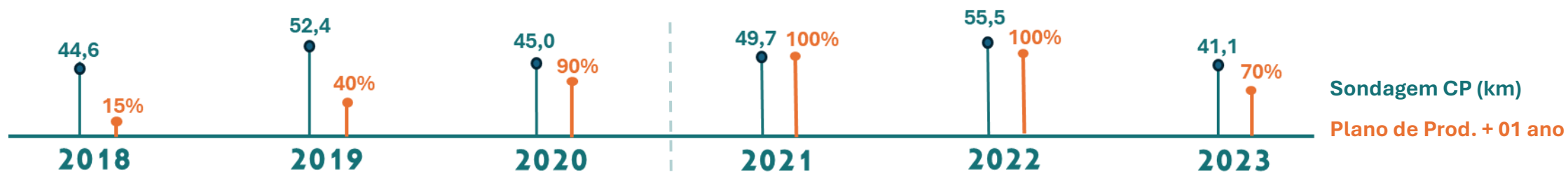
Created by Joscil Spitzner Galvão 2020\_2023 update

RECURSOS E RESERVAS LONGO PRAZO vs CURTO PRAZO	
RECURSO	RESERVA
<p>↑</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Incremento de novas lentes mineralizadas</li> <li>lentes de estéril convertidas em minério</li> <li>Maior espessura</li> <li>Maior continuidade da mineralização</li> <li>Maior teor</li> <li>Mudança na interpretação geológica</li> </ul>	<p>↑</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento do volume da Reserva</li> <li>Revisão dos fatores econômicos (COG)</li> <li>Melhoria no design do stope com melhor aproveitamento do Recurso</li> <li>Redução da diluição planejada</li> <li>Mudança no layout da mina</li> <li>Eliminação ou relocação de rib ou sill pillars</li> </ul>
<p>↓</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Lentes de minério convertidas em estéril</li> <li>Perda de espessura</li> <li>Menor continuidade da mineralização</li> <li>Redução do teor</li> <li>Mudança na interpretação geológica</li> </ul>	<p>↓</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Redução do volume da Reserva acima do COG</li> <li>Volume economicamente inviável</li> <li>Aumento da diluição planejada inviabilizando o Stope</li> <li>Mudança no layout da mina</li> <li>Necessidade de preservar novos sill or rib pillars</li> <li>Limitação pela proximidade com a infraestrutura da mina</li> <li>Fatores operacionais (underbreak e overbreak) acima do limite de tolerância</li> </ul>
<p>=</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Variação da posição espacial da mineralização (dip, continuidade e espessura) não afeta conteúdo metálico.</li> <li>Compensação entre massa e metal contido</li> <li>Mudança na interpretação geológica sem alteração do metal contido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reserva reajustada compensando a variação entre o minério e a diluição planejada</li> <li>Reserva sem alteração mantendo a diluição planejada e o COG maximizando o resultado financeiro.</li> </ul>

\* COG: Cut of grade



# Evolução dos Trabalhos de Reconciliação

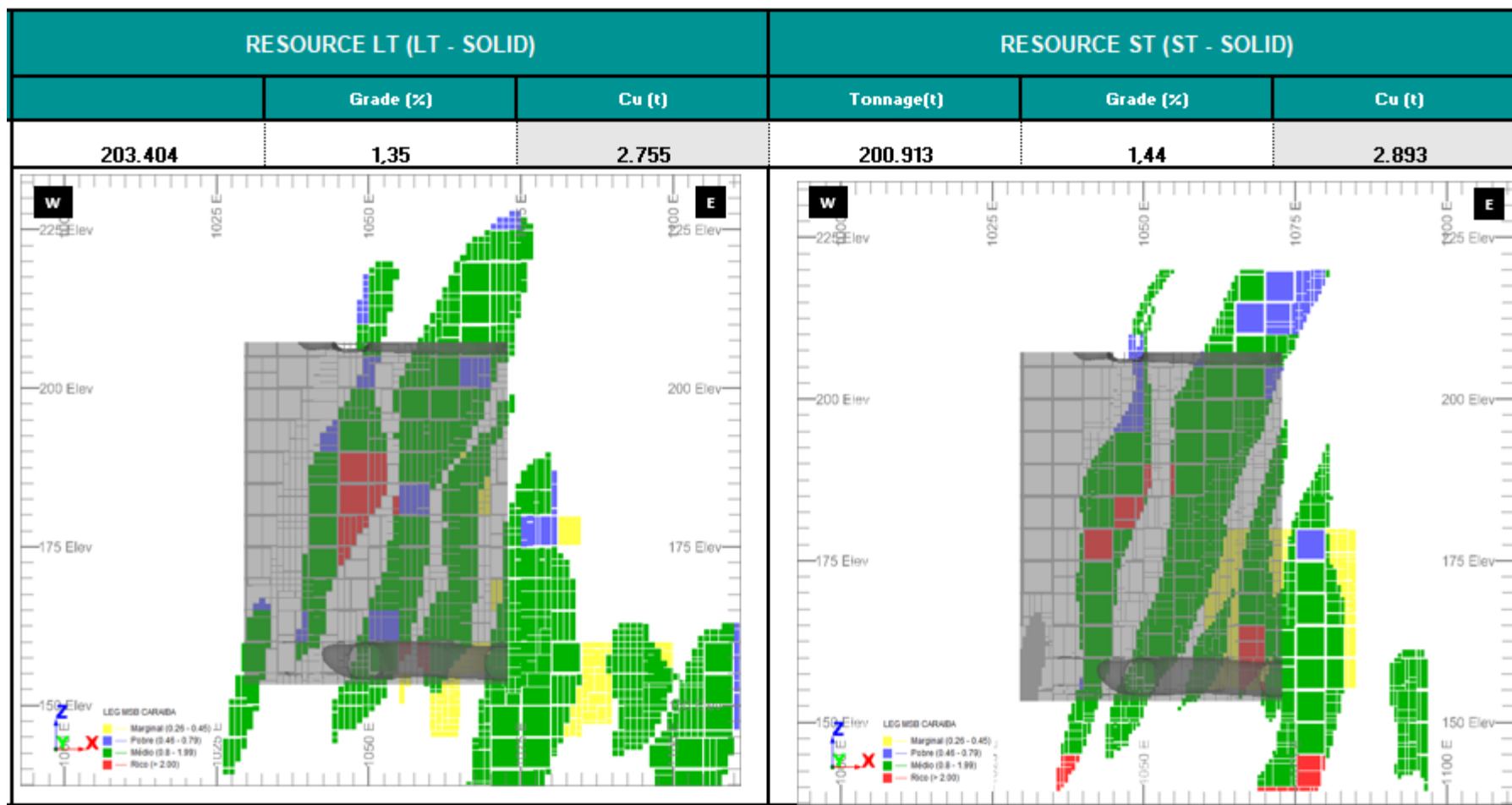


- 50% dos Stopes com Levantamento Topográfico.
- Estimativa de Recursos Curto Prazo com parâmetros Longo Prazo.
- Estimativa somente dos rocktypes de alto teor.
- Modelos de Curto Prazo sem tratamento geoestatístico.
- Amostragem na mina e pilhas de estoques.
- Amostragem nas correias do Shaft com aplicação de um fator histórico de -4%.
- Amostragem na rebitagem da Usina com aplicação de um fator histórico de +4.4%.
- Avaliação dos Riscos e Incertezas com baixo nível de maturidade.
- Mapeamento geológico básico.
- Sondagem de Detalhamento com malha sistemática pré-definida.
- Processo de Reconciliação manual.

- 85% dos Stopes com Levantamento Topográfico.
- Estimativa de Curto Prazo com parâmetros de Curto Prazo (Buffers).
- Estimativa dos rocktypes de alto teor e marginal (diluição).
- Modelos de Curto Prazo com aplicação de geoestatística avançada (simulação condicional).
- Teor controlado pelos leques dos Stopes Discretizados .
- Eliminação da amostragem nas correias do Shaft.
- Amostragem da rebitagem da Usina sem fator (Viés calculado -5%).
- Avaliação dos Riscos e Incertezas implementada por Stope.
- Mapeamento geológico e estrutural detalhado georeferenciado.
- Sondagem de Detalhamento com estudo de malha ótima associado ao estudo de incertezas.
- Otimização do Sistema de Reconciliação (Script).

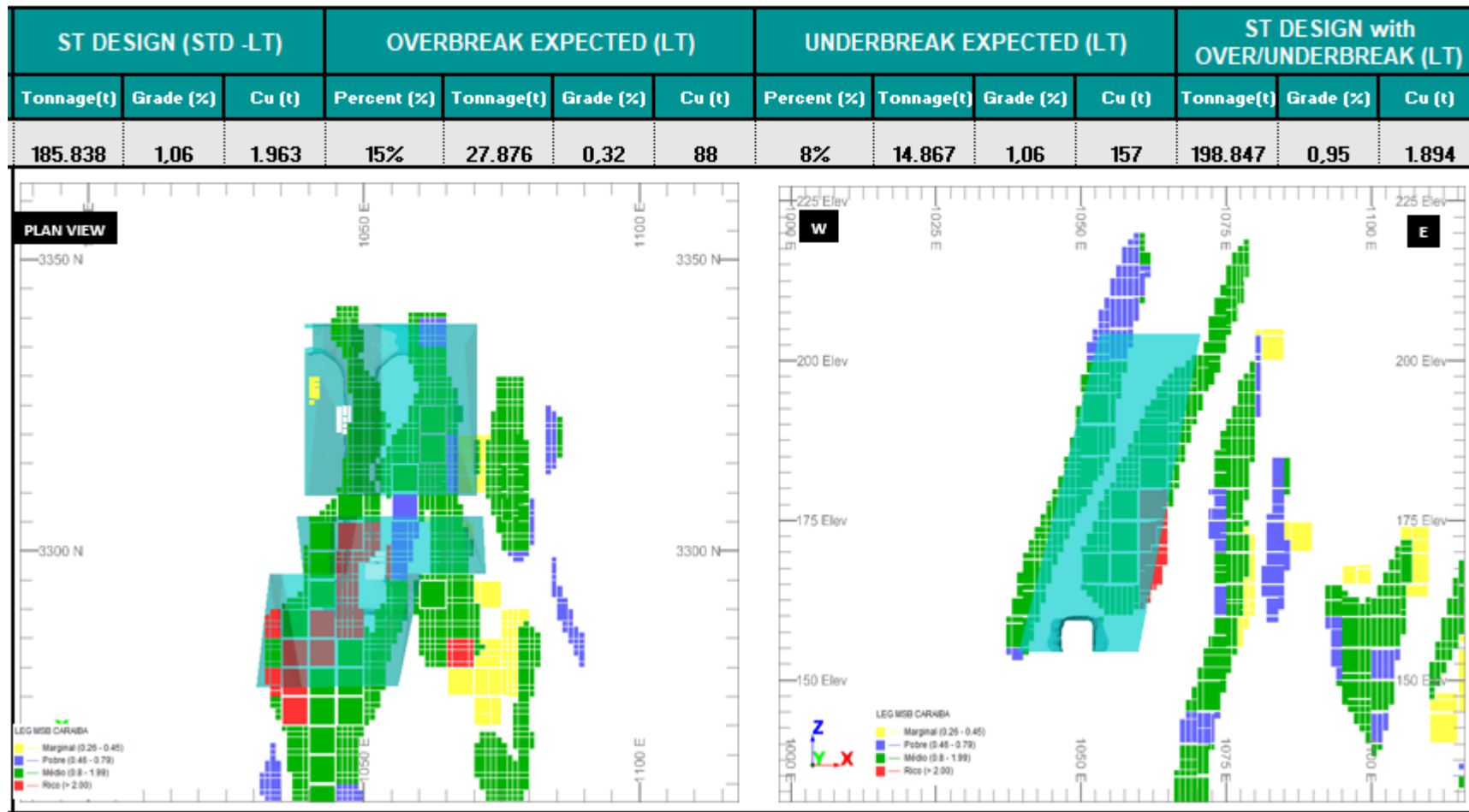


# Recurso LP vs CP



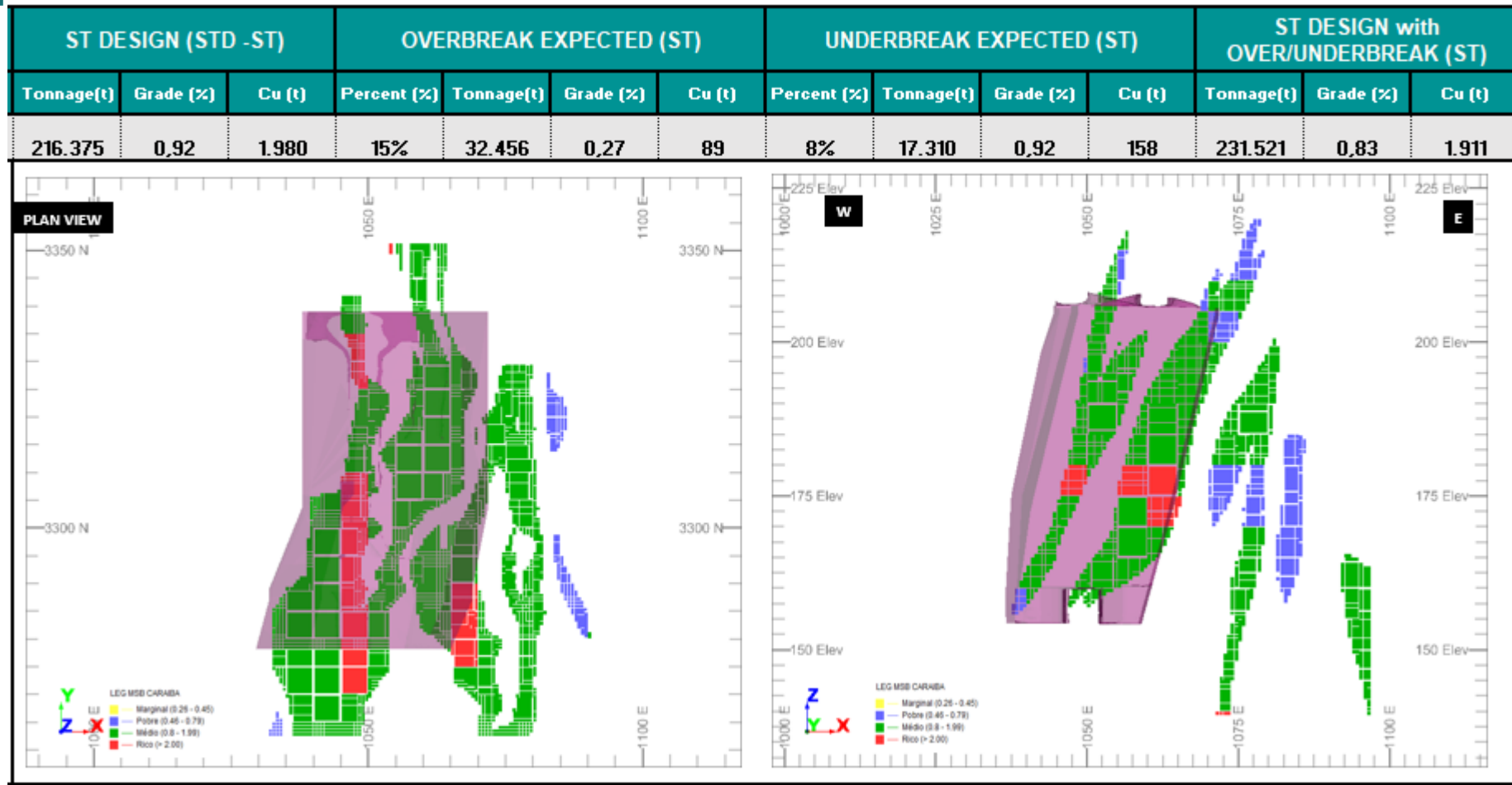


# Reserva (Stope) LP com Fatores Operacionais



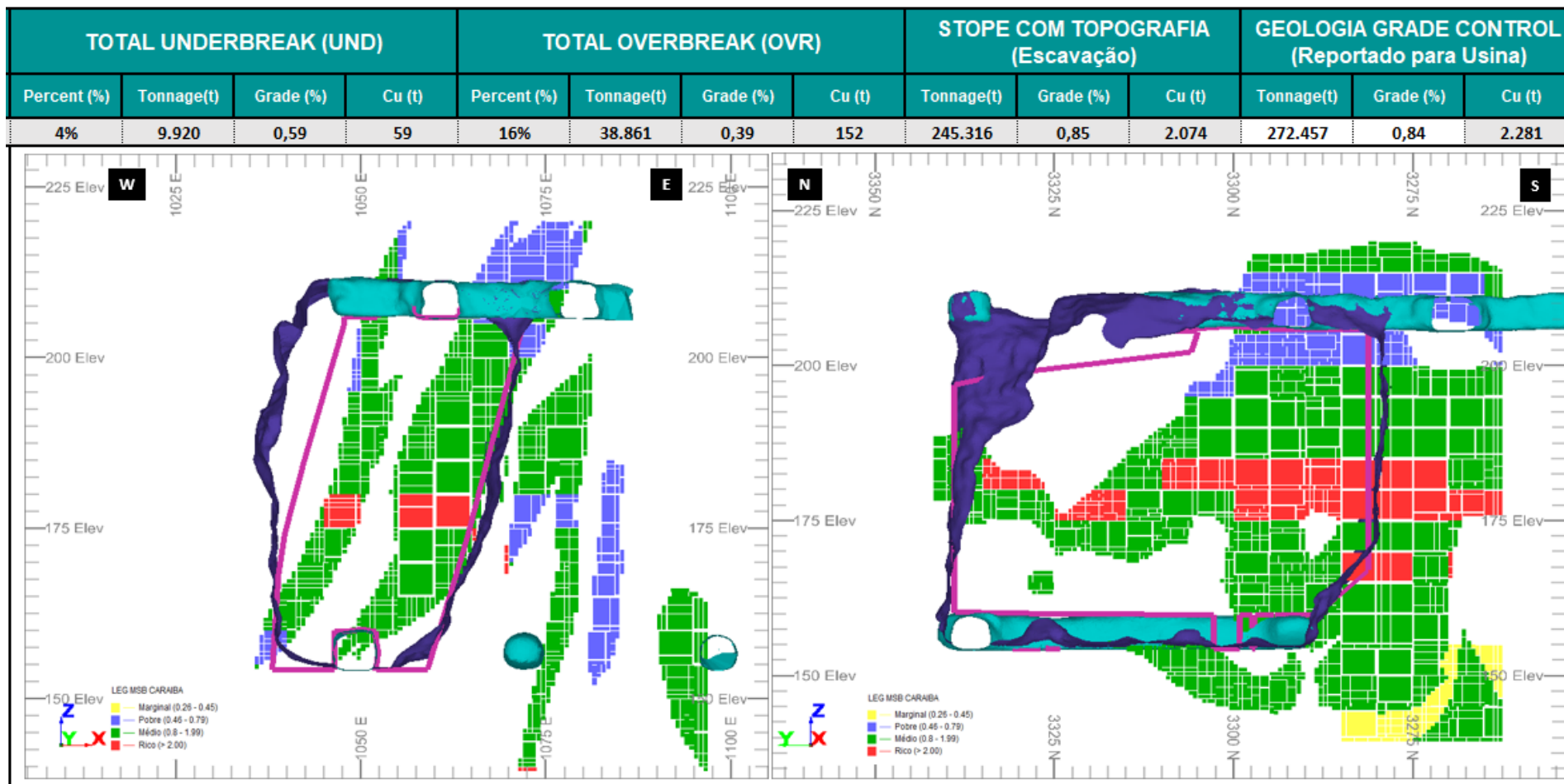


# Reserva (Stope) CP com Fatores Operacionais





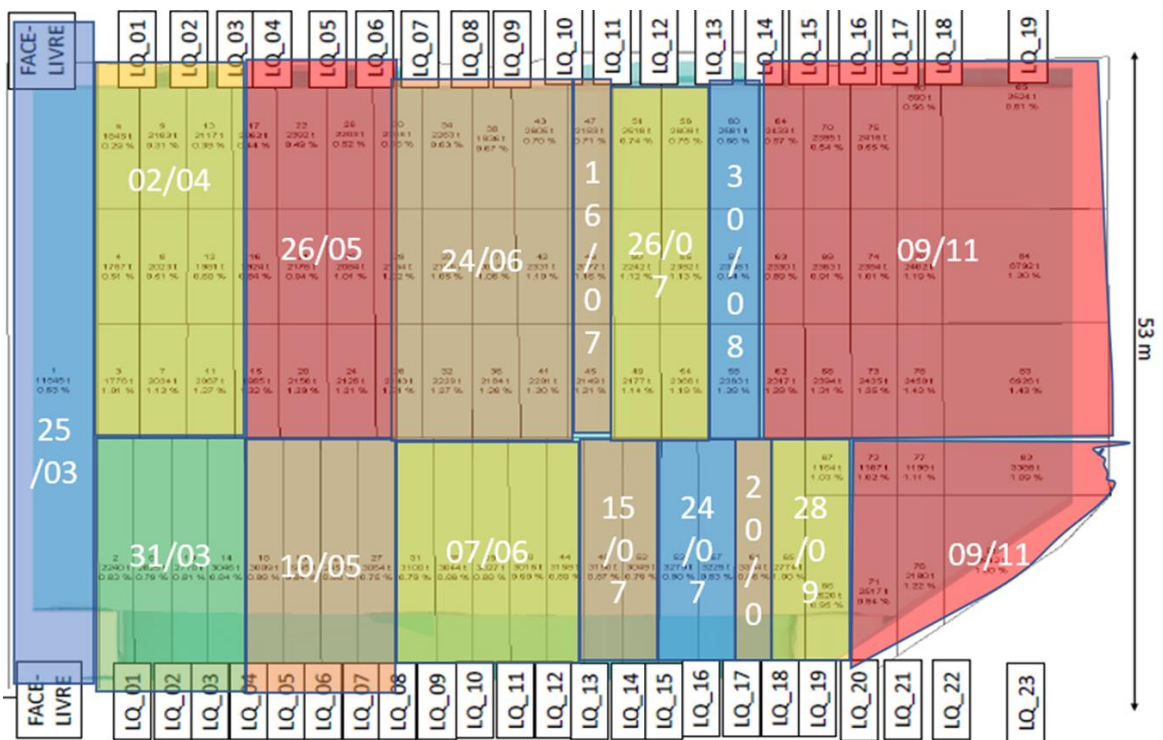
# Stope lavrado com levantamento topográfico (Reconciliado)





# Stope lavrado com levantamento topográfico (Reconciliado)

Leques de perfuração e blocos da sequência de desmonte do Stope



Blocos discretizados do Stope com fatores operacionais

BLOCO	RESERVA OPERACIONAL		
	MASSA	TEOR	METAL
1	12.353	0,57	71
2	2.397	0,75	18
3	1.900	0,91	17
4	1.880	0,46	9
5	1.974	0,26	5
6	3.022	0,71	21
7	2.176	1,01	22
8	2.165	0,46	10
9	2.336	0,28	7
10	2.964	0,73	22
...	...	...	...
80	2.781	0,55	15
81	2.612	1,46	38
82	2.272	1,02	23
83	4.624	1,30	60
84	4.496	1,14	51
85	4.552	0,62	28
<b>TOTAL</b>	<b>232.465</b>	<b>0,82</b>	<b>1.911</b>

Controle do minério lavrado (reportado) e reconciliado com topografia

STOPE PLANEJADO (Discretizado com over/underbreak)		
Tonnage(t)	Grade (%)	Cu (t)
<b>232.465</b>	<b>0,82</b>	<b>1.911</b>

↓

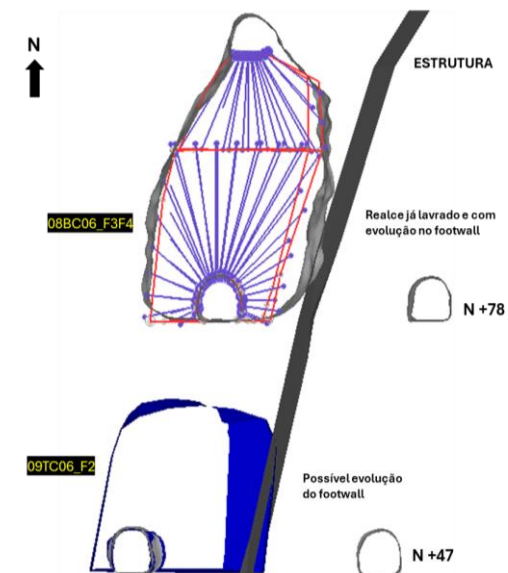
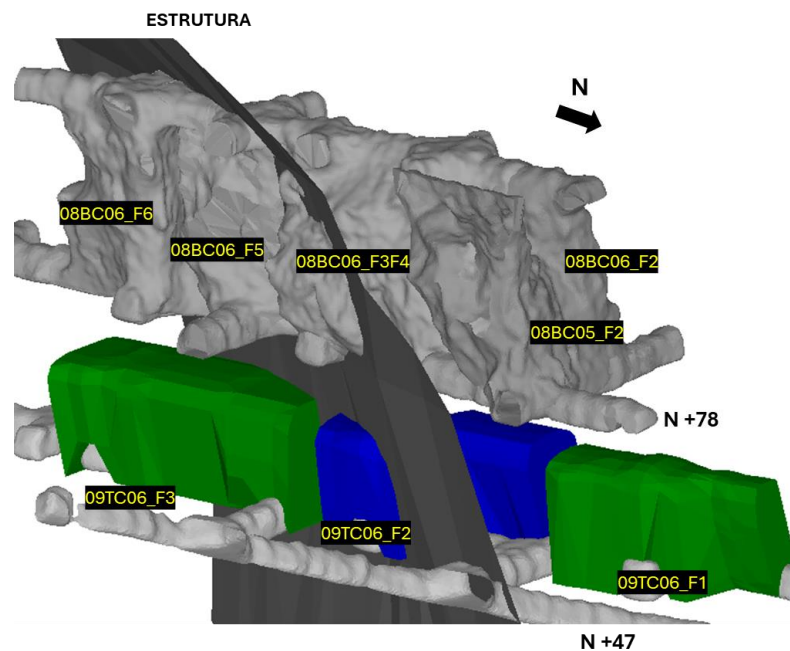
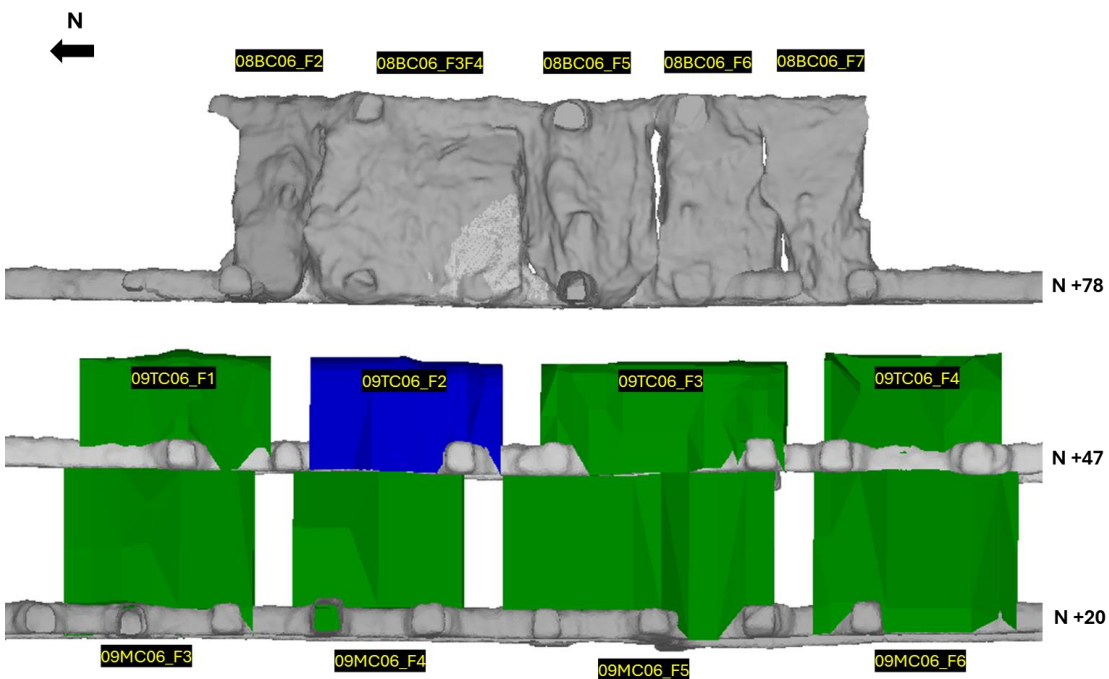
GEOLOGIA GRADE CONTROL (Reportado para Usina)		
Tonnage(t)	Grade (%)	Cu (t)
<b>272.457</b>	<b>0,84</b>	<b>2.281</b>

↓

STOPE COM TOPOGRAFIA (Escavação)		
Tonnage(t)	Grade (%)	Cu (t)
<b>245.316</b>	<b>0,85</b>	<b>2.074</b>



# Sequenciamento de Lavra

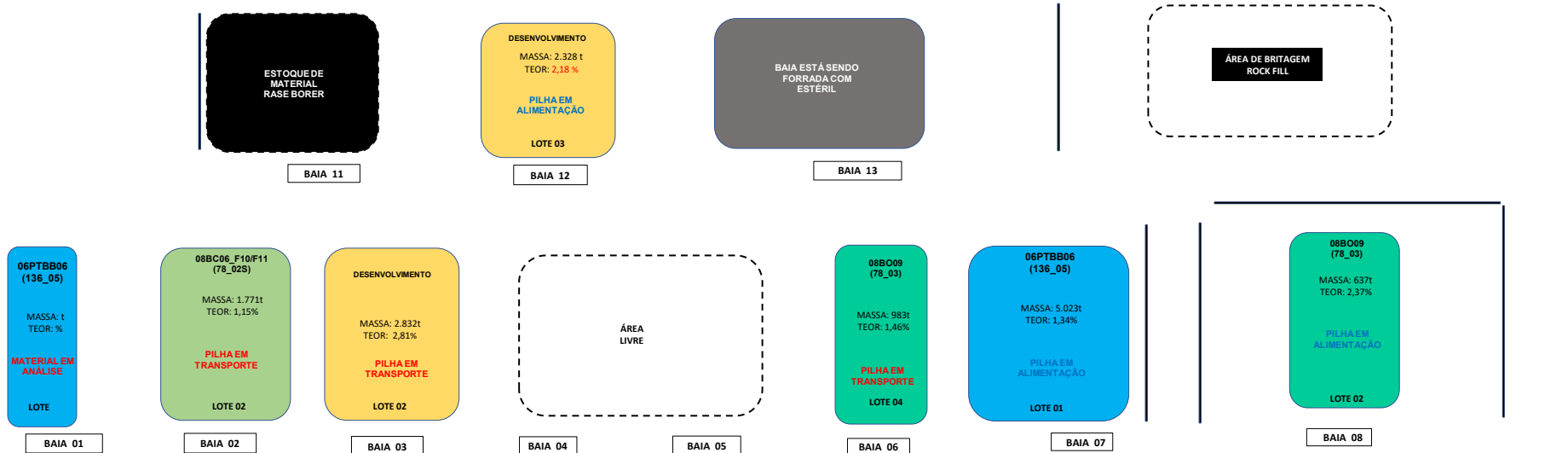




# Controle de minério estocado no pátio



## VERMELHOS - ORE STOCK



LEGENDA - FONTES

DESENVOLVIMENTO
00PRC01
00PRC14
02PRC03
03PTBC05
04PTBB04

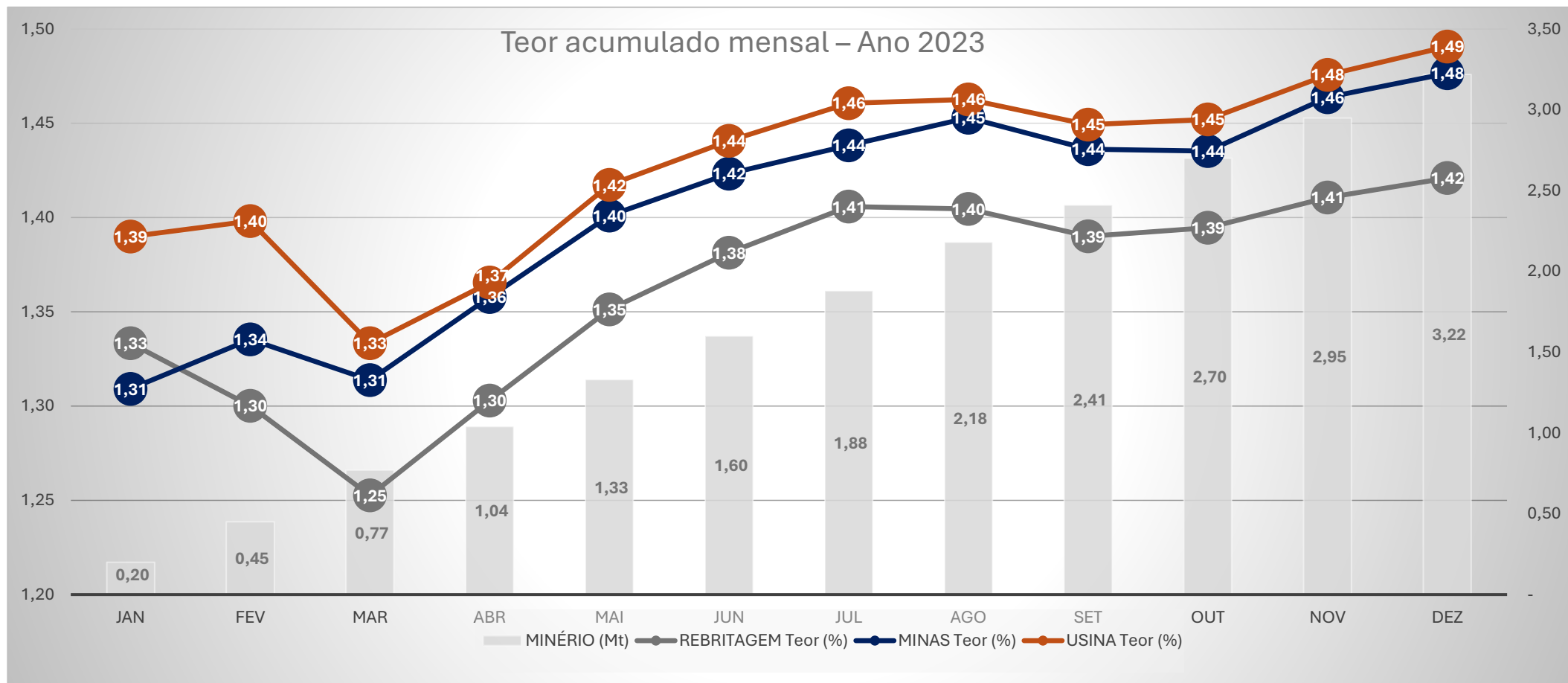
INFORMAÇÕES - PÁTIO_MINA VERMELHOS										
FONTES	LOTE 1		LOTE 2		LOTE 3		LOTE 4		TEOR MED %	MASSA TOTAL (t)
	Massa	Teor	Massa	Teor	Massa	Teor	Massa	Teor		
DESENVOLVIMENTO			2.832	2,81	2.328	2,18			2,53	5.160
06PTBB06_F1 (GAN+136_05)	5.023	1,34	0,00	0,82					1,34	5.023
08BC06_F10/F11 (78_02_SUL)			1.771	1,15		1,58			1,15	1.771
08BO09_ASC (78_03)	0,00	0,85	637	2,37			983	1,46	1,82	1.620
	5.023		5.240				983		0,00	0
					2.328					0
							983			0
									1,82	13.573,75
										REPORTE PCP MCSA

RESUMO DO ESTOQUE DE MINÉRIO		
FONTES	TEOR (%)	MASSA (t)
PÁTIO - MINA VERMELHOS	1,82	13.573,75
ÁREA 41	1,46	102,96
<b>Total</b>	<b>1,8215</b>	<b>13.676,71</b>

Teores em azul - modelo de blocos  
 Teores em Vermelho - estimada  
 Teores em preto - amostragem  
 Geologia de curto prazo - Mina Vermelhos



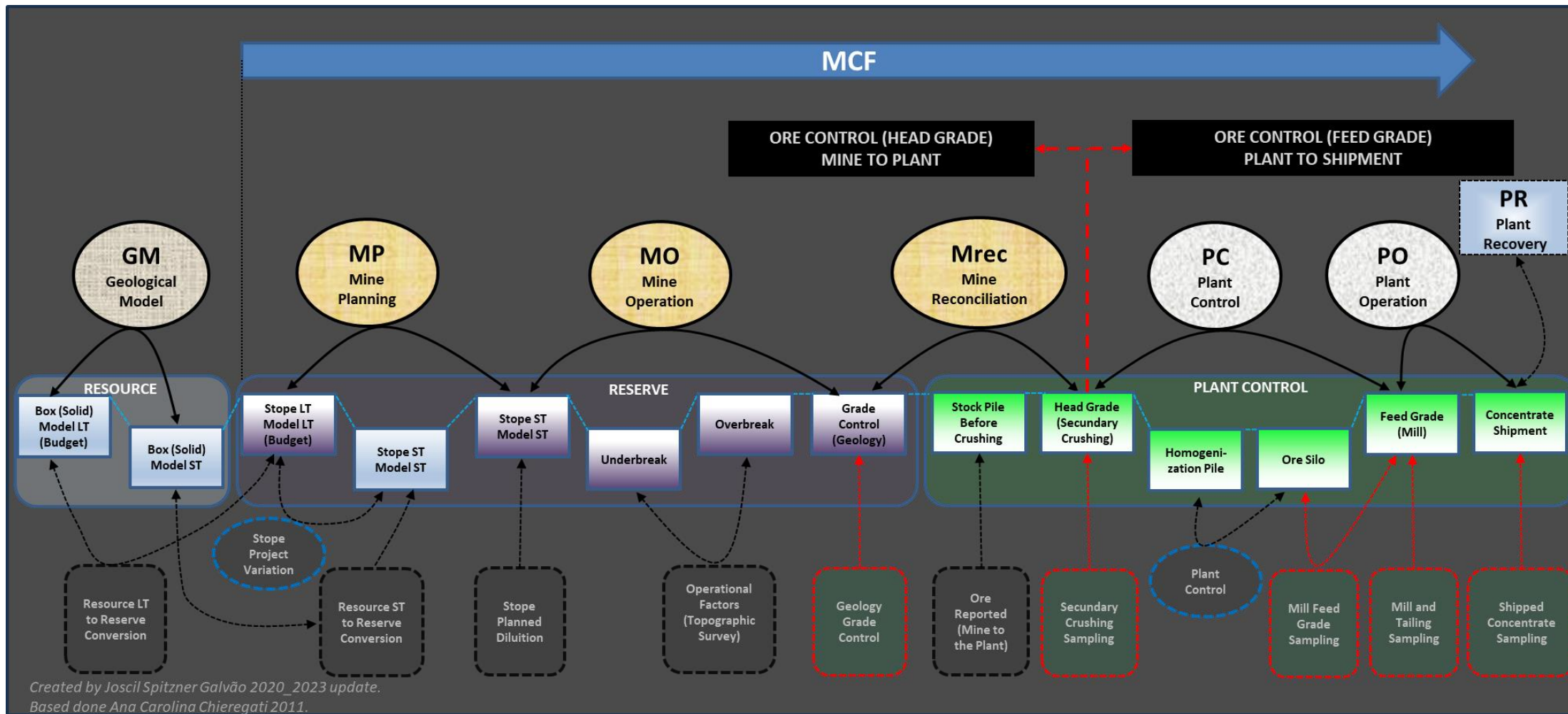
# Teor Reconciliado mensal (acumulado)





# Sistema de Reconciliação Proativa

## Ero Brasil Caraíba

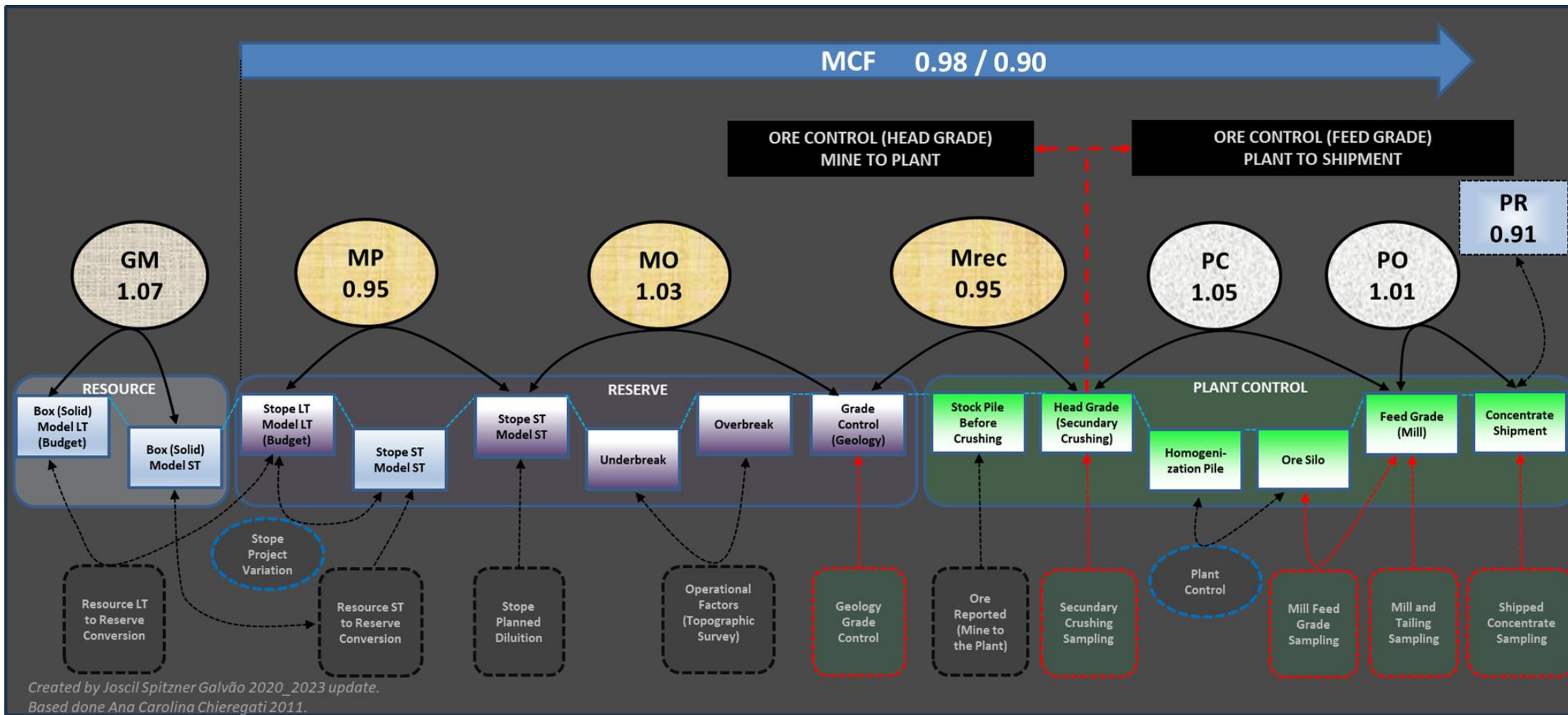


Created by Joscil Spitzner Galvão 2020\_2023 update.  
Based done Ana Carolina Chieregati 2011.



# Sistema de Reconciliação Proativa

## Ero Brasil Caraíba – Realizado 2023





# Conclusão – Sistema de Reconciliação Proativa

## •Ganhos operacionais:

- Redução de estéril processado e maior aproveitamento das reservas
- Melhor previsibilidade do plano de produção e otimização da lavra
- Eliminação de amostragem ineficiente, decisões mais rápidas e assertivas
- Redução de custos, aumento da produtividade e qualidade do minério.

## •Pilares do processo:

- Sondagem de curto prazo (>75% do ano seguinte)
- Levantamento topográfico sistemático
- Modelo de curto prazo atualizado com parâmetros de curto prazo (*Buffer*)

## •Próximos passos:

- Reconciliação Geometalúrgica (em andamento)
- Reconciliação Geotécnica
- Análise de Aderência do Plano de Produção
- Monetização dos ganhos tangíveis.



# OBRIGADO!

