



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI-3220

PLANEJAMENTO DE LAVRA DE MINAS

Aula 3 – 2018

Planejamento de Produção

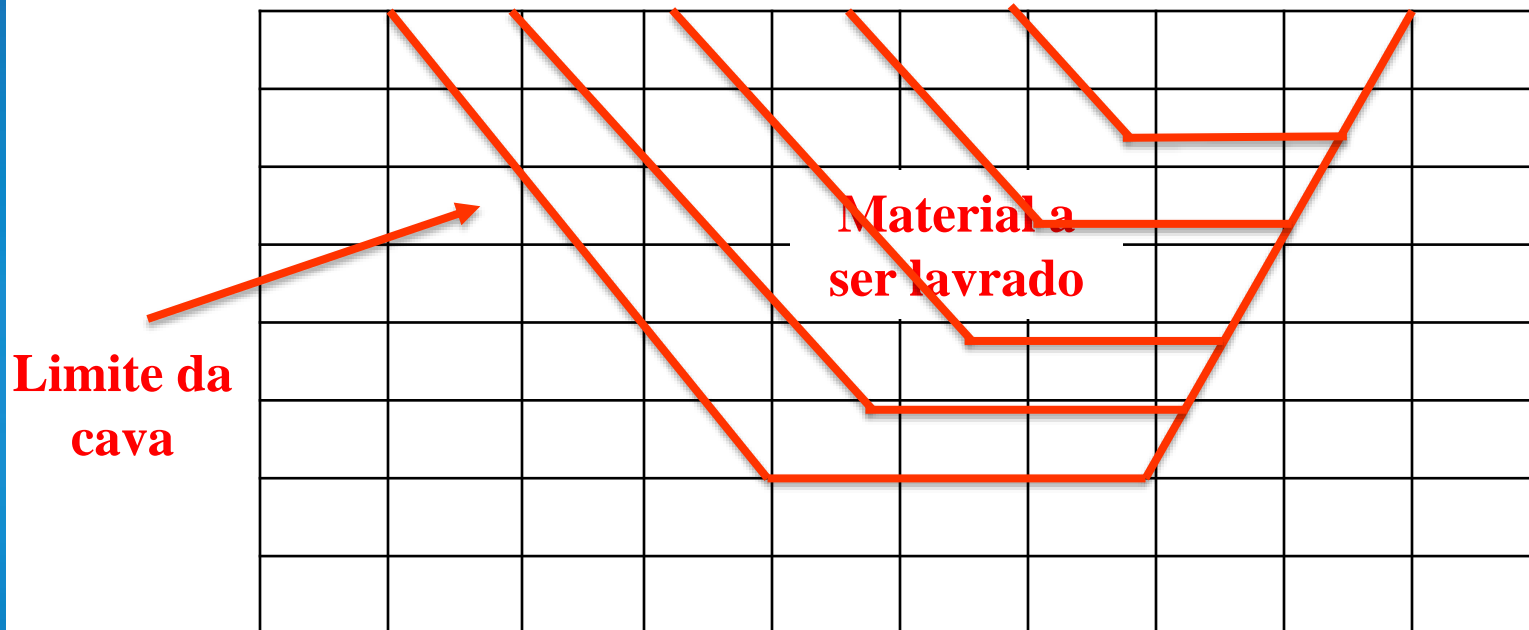
Prof. Giorgio de Tomi e Prof. Dennis Travagini

Agenda

- Introdução/Contextualização
- Objetivos
- Alcance
- Premissas
- Conclusões

Introdução/Contextualização

- Matérias anteriores
 - Questões econômicas
 - Teor de Corte
 - Limite final da cava



Planejamento de Lavra

- Objetivos principais do planejamento de lavra:
 - Menor custo possível
 - Viabilidade operacional
 - Aumentar rentabilidade
 - Estabilidade de produção

Planejamento de Lavra

- Planejamento de:
 - Longo prazo
 - Médio Prazo
 - Curto Prazo

Planejamento de Lavra

- Planejamento de Longo Prazo:
 - Limite da cava final
 - Necessita ser revisado em tempos em tempos

Planejamento de Lavra

- Planejamento de Curto Prazo:
 - Controle de qualidade do material lavrado
 - Controle de custos
 - Utilização de equipamentos
 - Produtividade operacional

Planejamento de Lavra

Conceitos Básicos

- Algumas questões:
 - Qual a vida da mina?
 - Qual a produção da mina?
 - Qual teor de corte considerar?
 - Como estimar os custos de produção sem a quantidade a produzir?

Planejamento de Lavra

Conceitos Básicos

- Vamos considerar o seguinte exemplo:
 - Mineração de cobre
 - Pelas amostras coletadas por sondagem, pode-se fazer um modelo de blocos

Table 6.2. Mineral inventory as a function of grade class interval.

Grade class interval (% Cu)	Tons (10 ³)	Grade class interval (% Cu)	Tons (10 ³)
>3.2 (Ave = 5.0)	25	1.5–1.6	205
3.1–3.2	7	1.4–1.5	130
3.0–3.1	15	1.3–1.4	270
2.9–3.0	5	1.2–1.3	320
2.8–2.9	5	1.1–1.2	570
2.7–2.8	10	1.0–1.1	460
2.6–2.7	33	0.9–1.0	550
2.5–2.6	40	0.8–0.9	420
2.4–2.5	15	0.7–0.8	950
2.3–2.4	25	0.6–0.7	980
2.2–2.3	30	0.5–0.6	830
2.1–2.2	30	0.4–0.5	1200
2.0–2.1	50	0.3–0.4	1050
1.9–2.0	75	0.2–0.3	1300
1.8–1.9	60	0.1–0.2	2700
1.7–1.8	150	<0.1	18,020
1.6–1.7	170		

Planejamento de Lavra

Conceitos Básicos

- Premissa 1:
 - Ter uma estimativa inicial de custos e recuperações

Table 6.1. Costs used to generate the economic block model.

Mining cost (ore)	= \$1.00/ton
Mining cost (waste)	= \$1.00/ton
Milling cost	= \$2.80/ton
G&A cost (mining)	= \$0.17/ton
G&A cost (milling)	= \$0.40/ton ore
Smelting, refining and sales	= \$0.30/lb Cu
Overall metal recovery	= \$78%

Planejamento de Lavra

Conceitos Básicos

- Premissa 2:
 - Ter uma estimativa inicial do preço de venda
 - \$1.00/lb Cu

Planejamento de Lavra

Conceitos Básicos

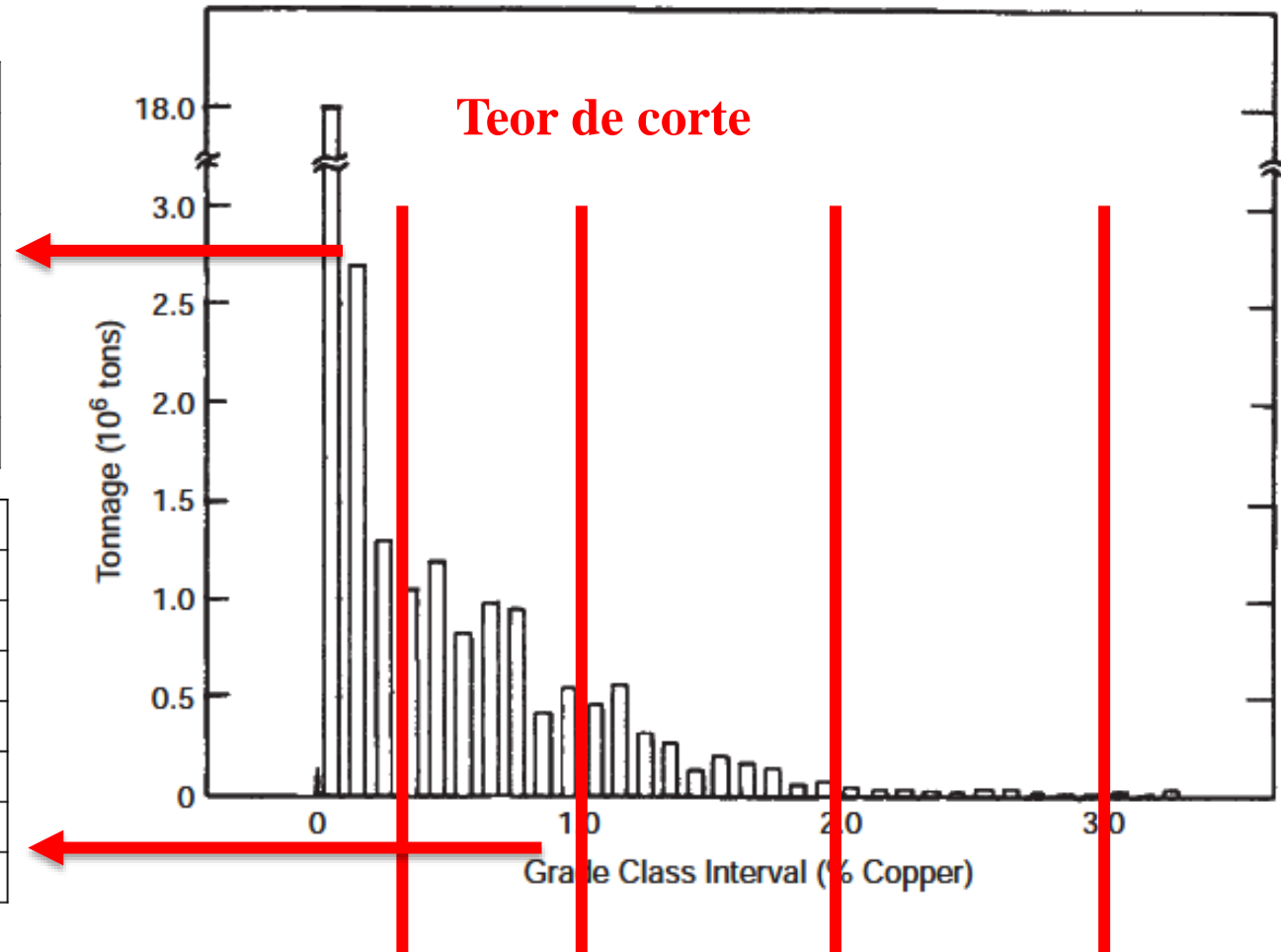
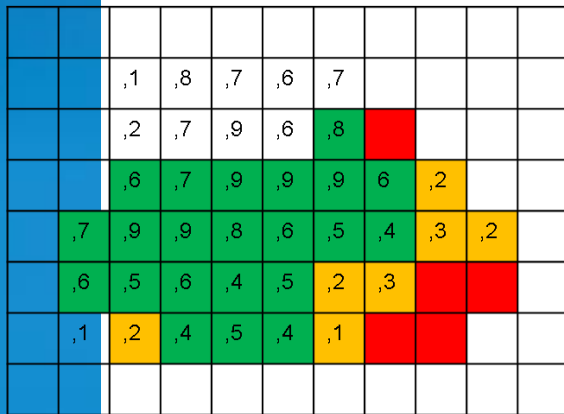
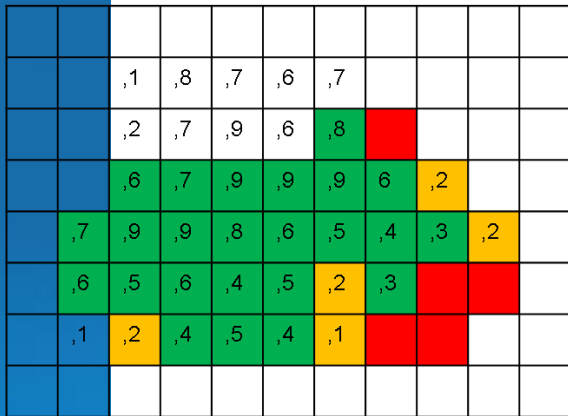
- Passos:
 - Teor de corte

$$g(\% \text{ Cu}) = \frac{\$1.00 + \$2.80 + \$0.40 + \$0.17}{0.78(1.00 - 0.30)\frac{2000}{100}}$$
$$= \frac{\$4.37}{10.92} \cong 0.40\%(\text{Cu})$$

- Cava final

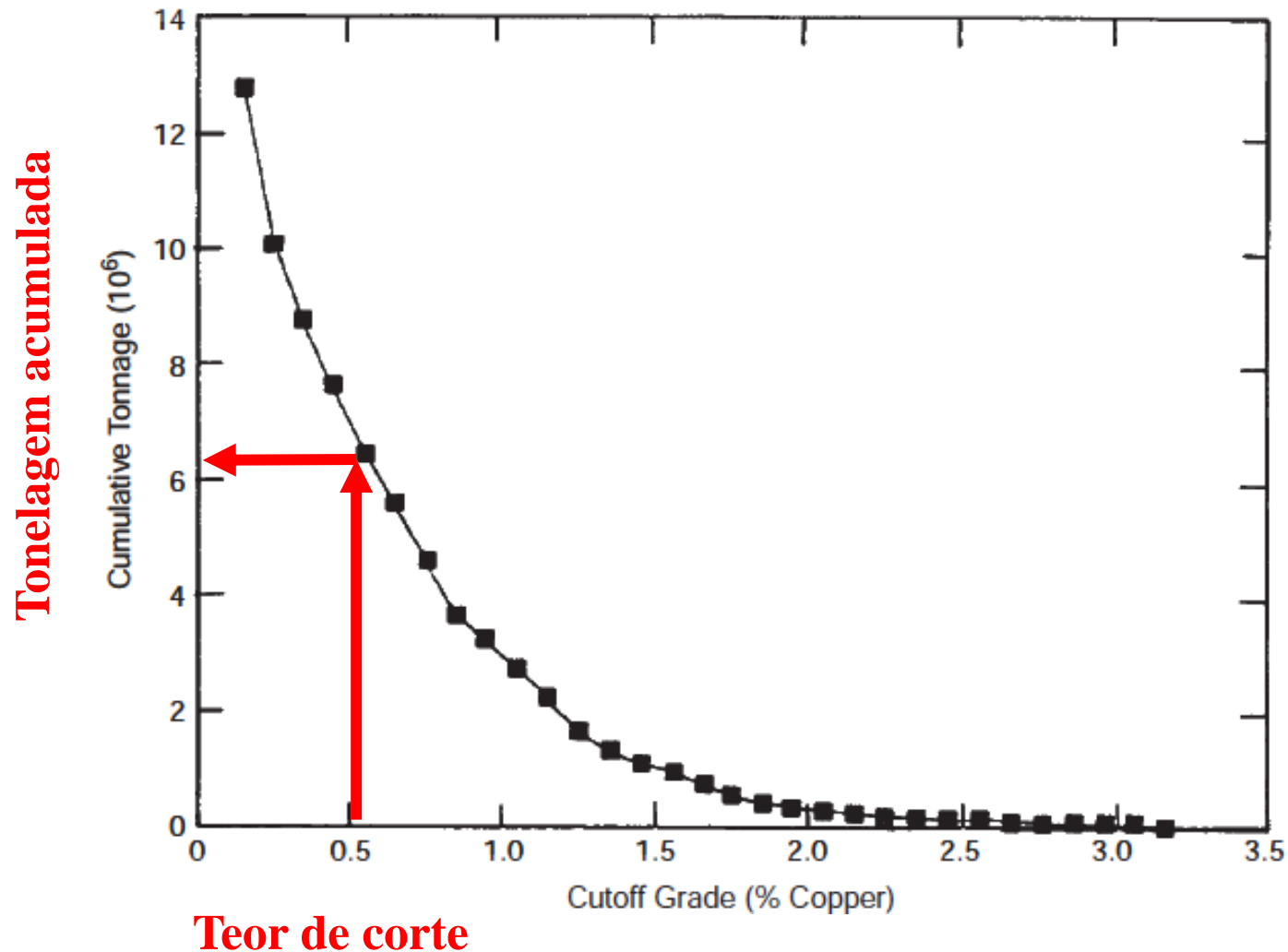
Planejamento de Lavra

Conceitos Básicos



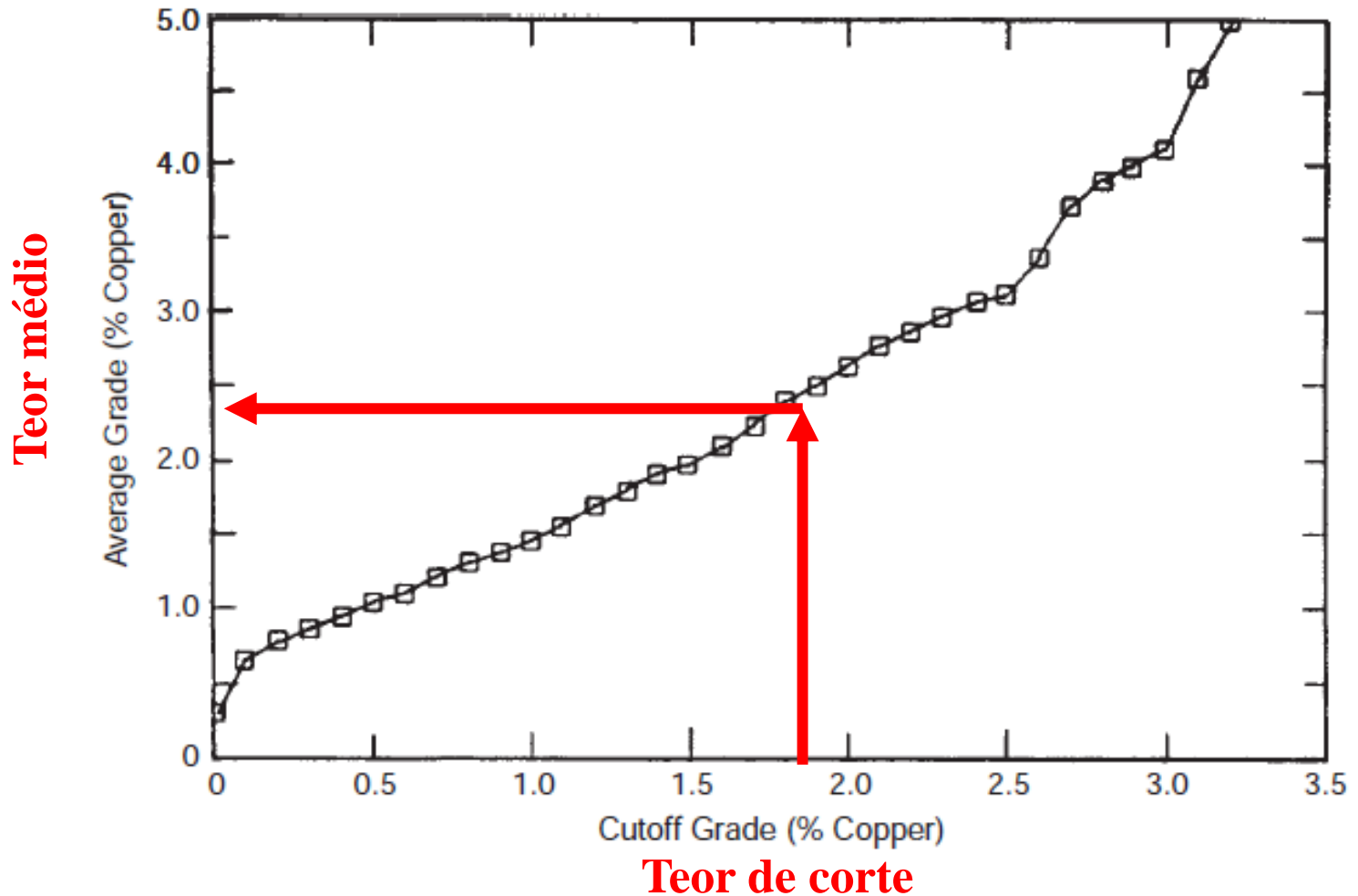
Planejamento de Lavra

Conceitos Básicos



Planejamento de Lavra

Conceitos Básicos



Planejamento de Lavra

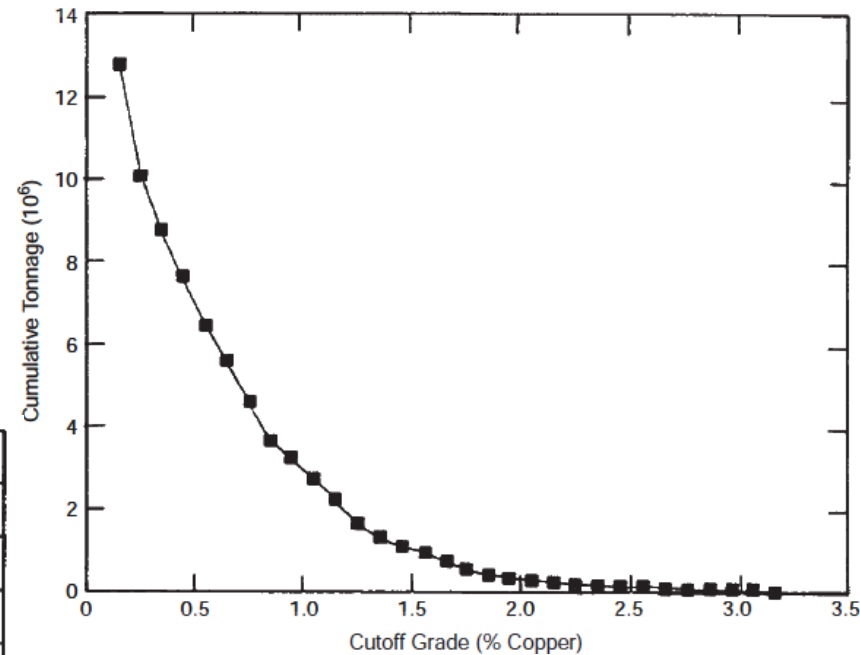
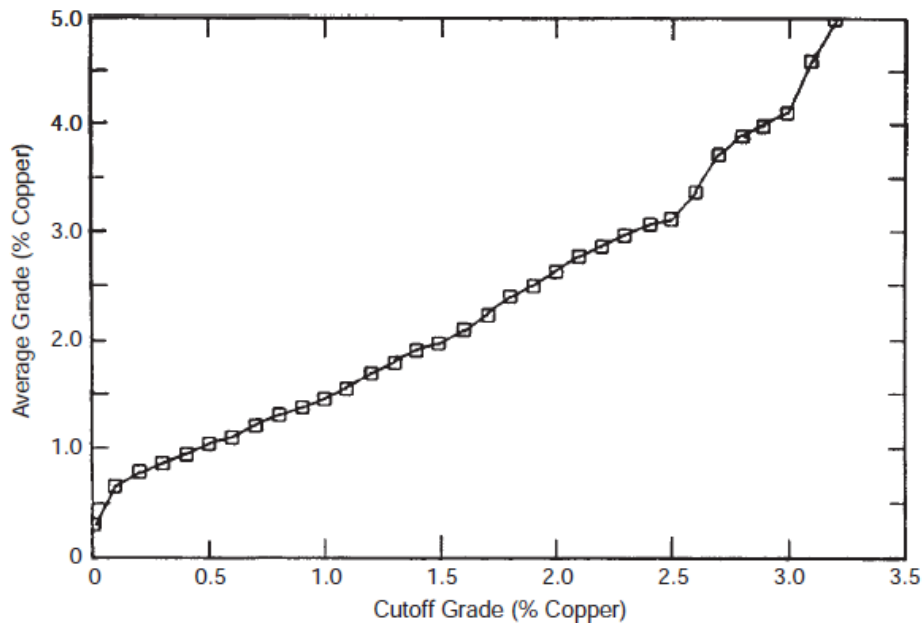
Conceitos Básicos

- Premissa 3:
 - Opções de destino:
 - Usina
 - Estéril

Planejamento de Lavra

Conceitos Básicos

- Premissa 4:
 - Teor de corte
 - 0.40% (Cu)



7.8 x 10⁶ t de minério
0.92% de teor médio

Planejamento de Lavra

Conceitos Básicos

- Premissa 5:
 - Produção anual:
 - 5000 t de cobre

Table 6.1. Costs used to generate the economic block model.

Mining cost (ore)	= \$1.00/ton
Mining cost (waste)	= \$1.00/ton
Milling cost	= \$2.80/ton
G&A cost (mining)	= \$0.17/ton
G&A cost (milling)	= \$0.40/ton ore
Smelting, refining and sales	= \$0.30/lb Cu
Overall metal recovery	= 78%

250 dias/ano de operação

$$R_{\text{mine}} = \frac{\text{Mineral reserve (tons)}}{\text{Mine life (yrs)}}$$

$$= \frac{30,800,000}{11.1} = 2,775,000 \text{ tpy}$$

$$R_{\text{mine}} = 11,100 \text{ tpd}$$

$$\text{Mine life (yrs)} = \frac{\text{Ore reserves (tons)}}{\text{Ore production rate (tpy)}}$$

$$= \frac{7,800,000}{700,360}$$

$$= 11.1 \text{ years}$$

$$R_{\text{mill}} = \frac{5000 \text{ tpy} \times 2000 \text{ lbs/ton}}{\frac{0.92}{100} \times 0.80 \times 0.97 \times 2000 \text{ lbs/ton}}$$

$$= 700,360 \text{ tpy}$$

$$R_{\text{mill}} = 2801 \text{ tpd}$$

$$\text{Overall SR} = \frac{23,000,000}{7,800,000} = 2.95$$

Planejamento de Lavra

Conceitos Básicos

- Conclusão da Primeira iteração:
 - Cobre recuperado: 55500 t
 - REM: 2.95
 - Vida da mina: 11.1 anos
 - Produção da Usina: 2801 tpd
 - Produção da Mina: 11000 tpd

Planejamento de Lavra

Conceitos Básicos

- Próximos passos:
 - Voltar na Premissa 1 e melhorar os custos estimados
 - Recalcular o modelo de blocos econômicos
 - Refazer a cava final, toneladas-teor, etc.
 - Definir a Usina
 - Calcular CAPEX
 - Fazer o Fluxo de Caixa e o VPL
 - Voltar na Premissa 2 e melhorar as estimativas
 - Voltar na Premissa 4 e avaliar outros teores de corte

Planejamento de Lavra

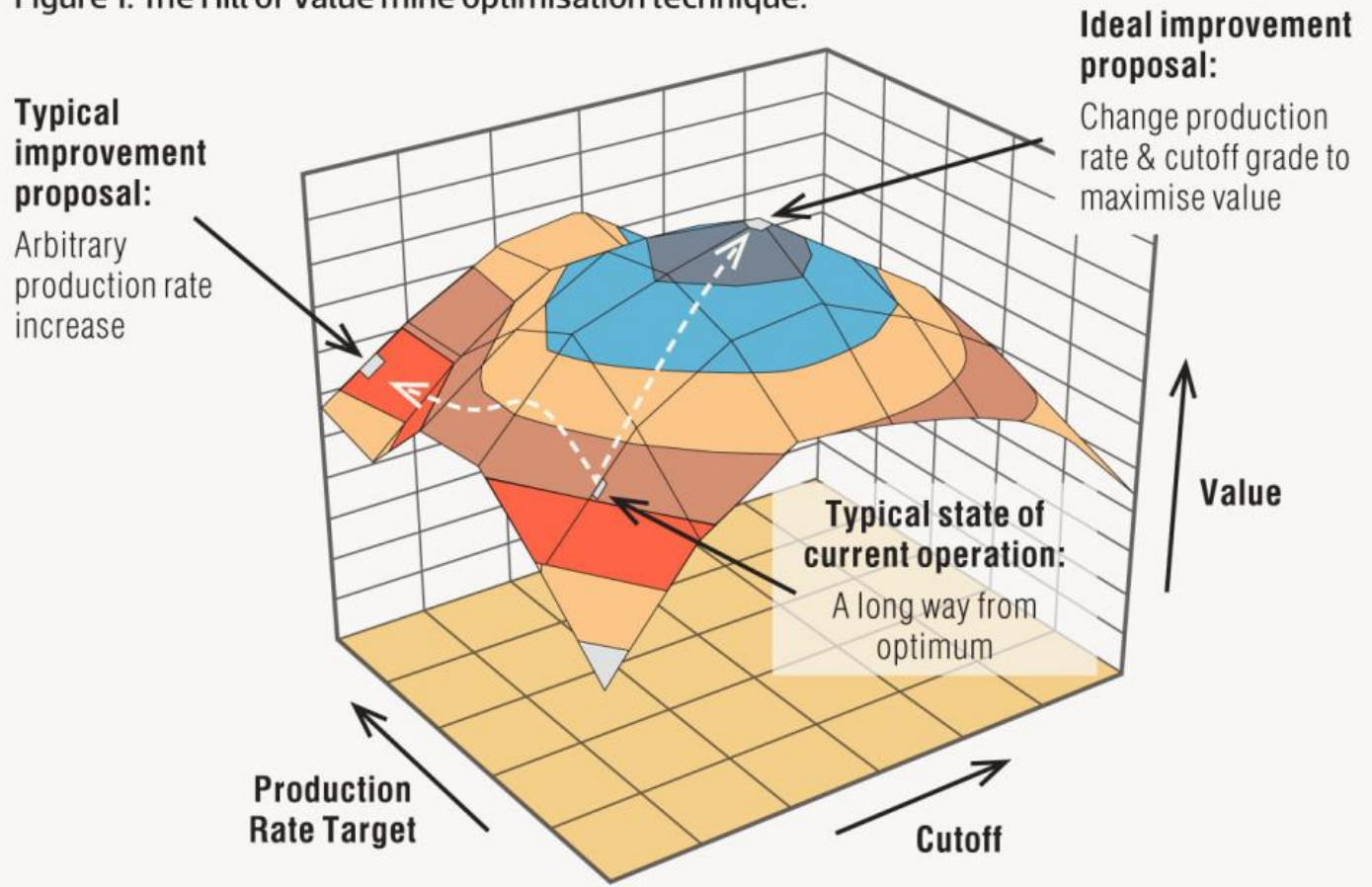
Conceitos Básicos

- Premissas:
 - Custo e recuperações
 - Preço do produto
 - Opções de destino
 - Teor de corte da usina
 - Produção anual

Planejamento de Lavra

Conceitos Básicos

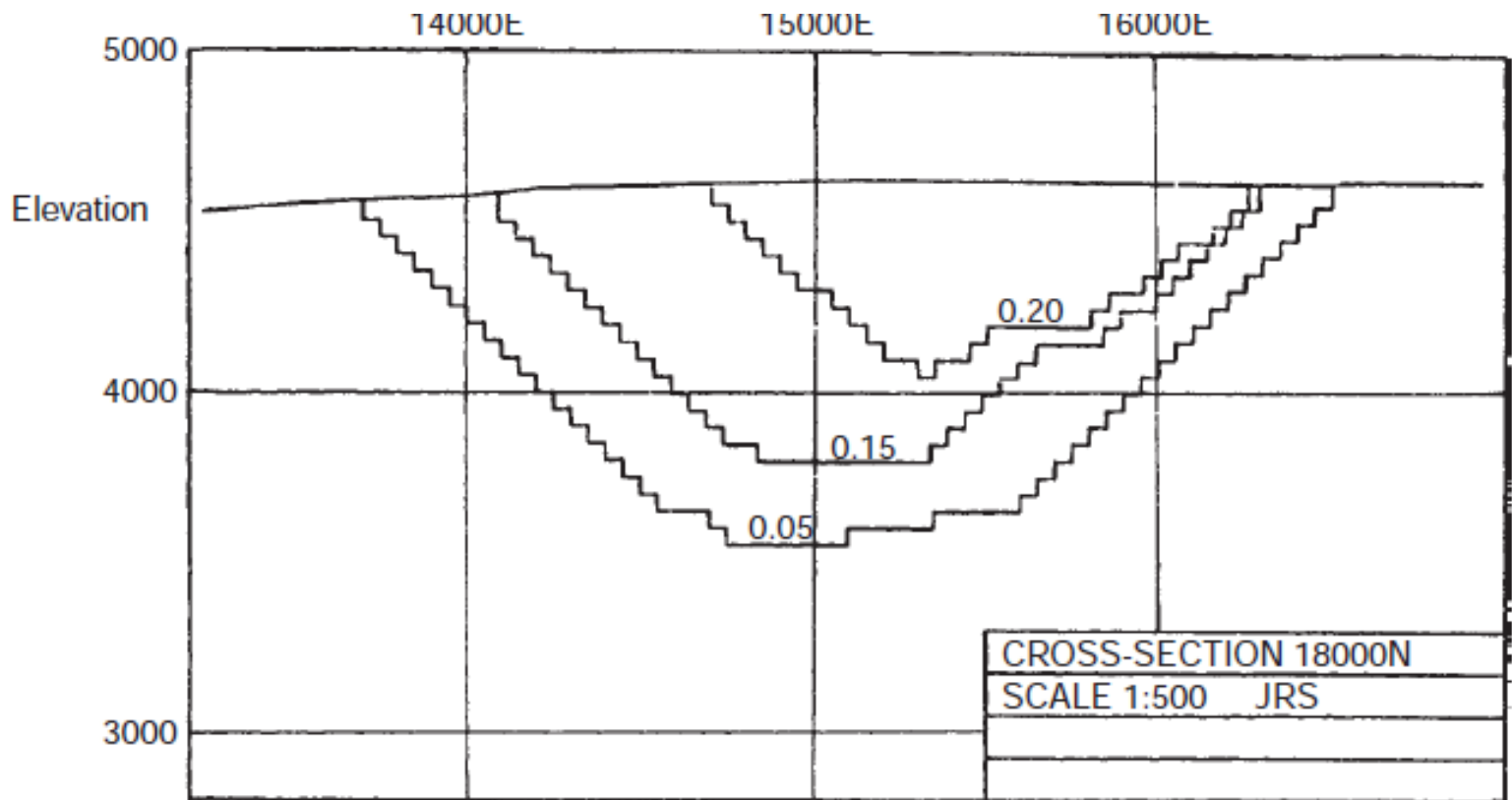
Figure 1. The Hill of Value mine optimisation technique.



Planejamento de Lavra

Conceitos Básicos

- Sequenciamento por “Nested Pits”
 - Variando o preço do minério (teor de corte)



Planejamento de Lavra

Conceitos Básicos

- Fluxo de Caixa
 - Pré-Produção
 - Produção
 - Pós-Produção



Planejamento de Lavra

Conceitos Básicos

- Pré-Produção

Table 6.10. Pre-production cash flow table (\$1,000).

1. Project year	1	2	3	4	5	6	7	
2. Calendar year	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	
3. Capital expenditures:								Total
4. Property acquisition	0	2000	0	0	0	0	0	2000
5. Royalties	0	0	0	0	0	0	0	
6. Exploration	1500	1000	0	0	0	0	0	2500
7. Development	0	0	3330	9842	9842	9842	9842	42,698
8. Mine/mill buildings	0	0	0	4836	13,057	1711	9948	29,552
9. Mine/mill equipment	0	0	10,000	0	9981	25,295	2999	48,275
10. Property tax	0	0	255	378	965	1654	1985	5237
11. Working capital	0	0	0	0	0	0	8353	8353
12. Total capital expenditures	1500	3000	13,585	15,005	33,744	38,349	33,127	138,310
13. Cash generated due to tax savings								
14. Exploration	690	460	0	0	0	0	0	1150
15. Development	0	0	1532	4527	4527	4527	4527	19,640
16. Depreciation	0	0	0	920	920	920	920	3680
17. Property tax	0	0	117	150	397	690	819	2173
18. Total cash generated	690	460	1649	5597	5844	6137	6266	26,643
19. Net cash flow	-810	-2540	-11,936	-9408	-27,900	-32,212	-26,861	-111,667

Planejamento de Lavra

Conceitos Básicos

- Produção

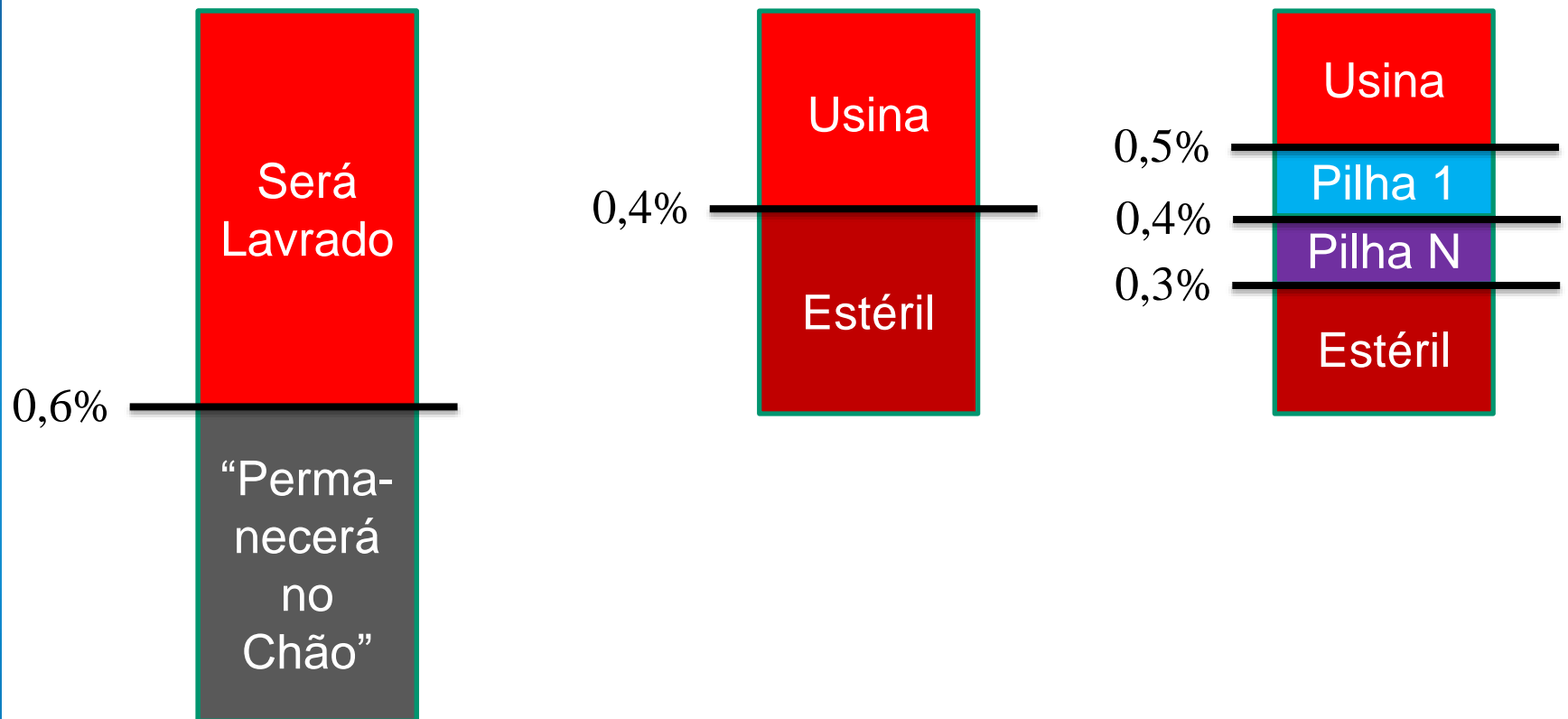
Table 6.14. Cash flow during mine production life (\$1000).

1. Production year	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
2. Project year	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
3. Calendar year	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	Total
4. Revenue	82,742	82,742	82,742	82,742	82,742	82,742	82,742	82,742	82,742	82,742	82,742	82,742	82,742	82,742	82,742	1,241,130
5. Royalty	4137	4137	4137	4137	4137	4137	4137	4137	4137	4137	4137	4137	4137	4137	4137	62,055
6. Net revenue	78,605	78,605	78,605	78,605	78,605	78,605	78,605	78,605	78,605	78,605	78,605	78,605	78,605	78,605	78,605	1,179,075
7. Mining cost	9363	9363	9363	9363	9363	9363	9363	9363	9363	9363	9363	9363	9363	9363	9363	140,445
8. Processing cost	13,249	13,249	13,249	13,249	13,249	13,249	13,249	13,249	13,249	13,249	13,249	13,249	13,249	13,249	13,249	198,735
9. General cost	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	69,000
10. Property tax	6888	6888	6888	6888	6888	6888	6888	6888	6888	6888	6888	6888	6888	6888	6888	103,320
11. Severance tax	1030	1030	1030	1030	1030	1030	1030	1030	1030	1030	1030	1030	1030	1030	1030	15,450
12. Depreciation	8346	8346	8346	8346	8346	8346	8346	8346	2878	2878	2878	2878	2878	2878	2878	81,446
13. State income tax	1756	1756	1756	1756	1756	1756	1756	2030	2030	2030	2030	2030	2030	2030	2030	28,532
14. Net income after costs	33,373	33,373	33,373	33,373	33,373	33,373	33,373	33,373	38,567	38,567	38,567	38,567	38,567	38,567	38,567	542,147
15. Depletion	14,793	17,293	17,293	17,293	17,293	17,293	17,293	17,293	17,293	17,293	17,293	17,293	17,293	17,293	17,293	256,895
16. Taxable income	18,580	16,080	16,080	16,080	16,080	16,080	16,080	21,274	21,274	21,274	21,274	21,274	21,274	21,274	21,274	285,252
17. Federal income tax	8547	7397	7397	7397	7397	7397	7397	9786	9786	9786	9786	9786	9786	9786	9786	131,217
18. Profit	10,033	8683	8683	8683	8683	8683	8683	11,488	11,488	11,488	11,488	11,488	11,488	11,488	11,488	154,035
19. Depreciation	8346	8346	8346	8346	8346	8346	8346	2878	2878	2878	2878	2878	2878	2878	2878	81,446
20. Depletion	14,793	17,293	17,293	17,293	17,293	17,293	17,293	17,293	17,293	17,293	17,293	17,293	17,293	17,293	17,293	256,895
21. Cash flow	33,172	34,322	34,322	34,322	34,322	34,322	34,322	31,659	31,659	31,659	31,659	31,659	31,659	31,659	31,659	492,376
22. Capital expenditures	7000	0	0	0	0	7000	0	0	0	0	7000	0	0	0	0	21,000
23. Working capital	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8353	8353
24. Net cash flow	26,172	34,322	34,322	34,322	34,322	27,322	34,322	31,659	31,659	31,659	24,659	31,659	31,659	31,659	23,306	463,023

Planejamento de Lavra

Conceitos Básicos

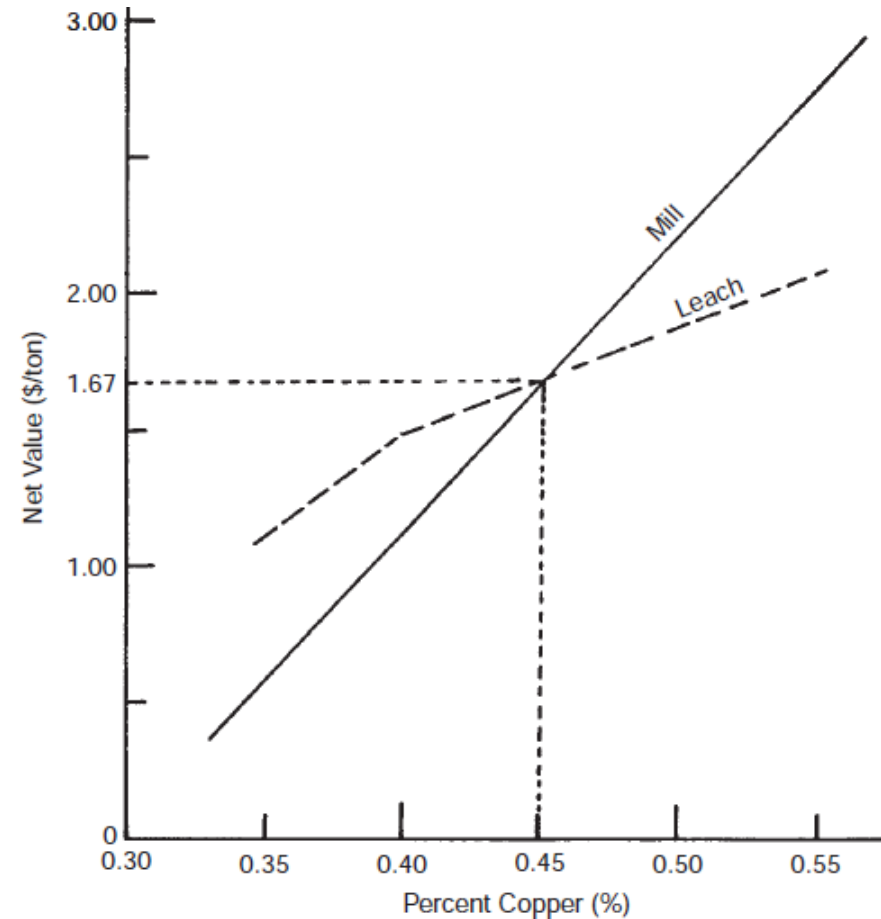
- Destino do material lavado



Planejamento de Lavra

Conceitos Básicos

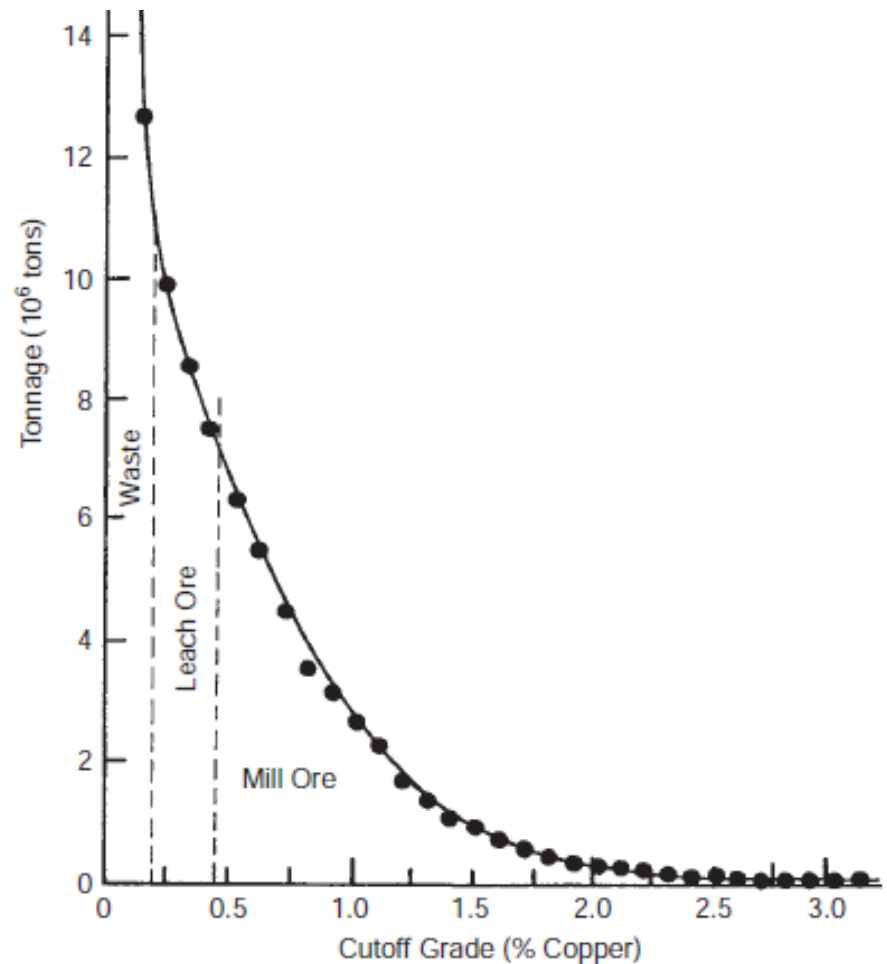
- Destino do material lavrado
 - E como definir isso?



Planejamento de Lavra

Conceitos Básicos

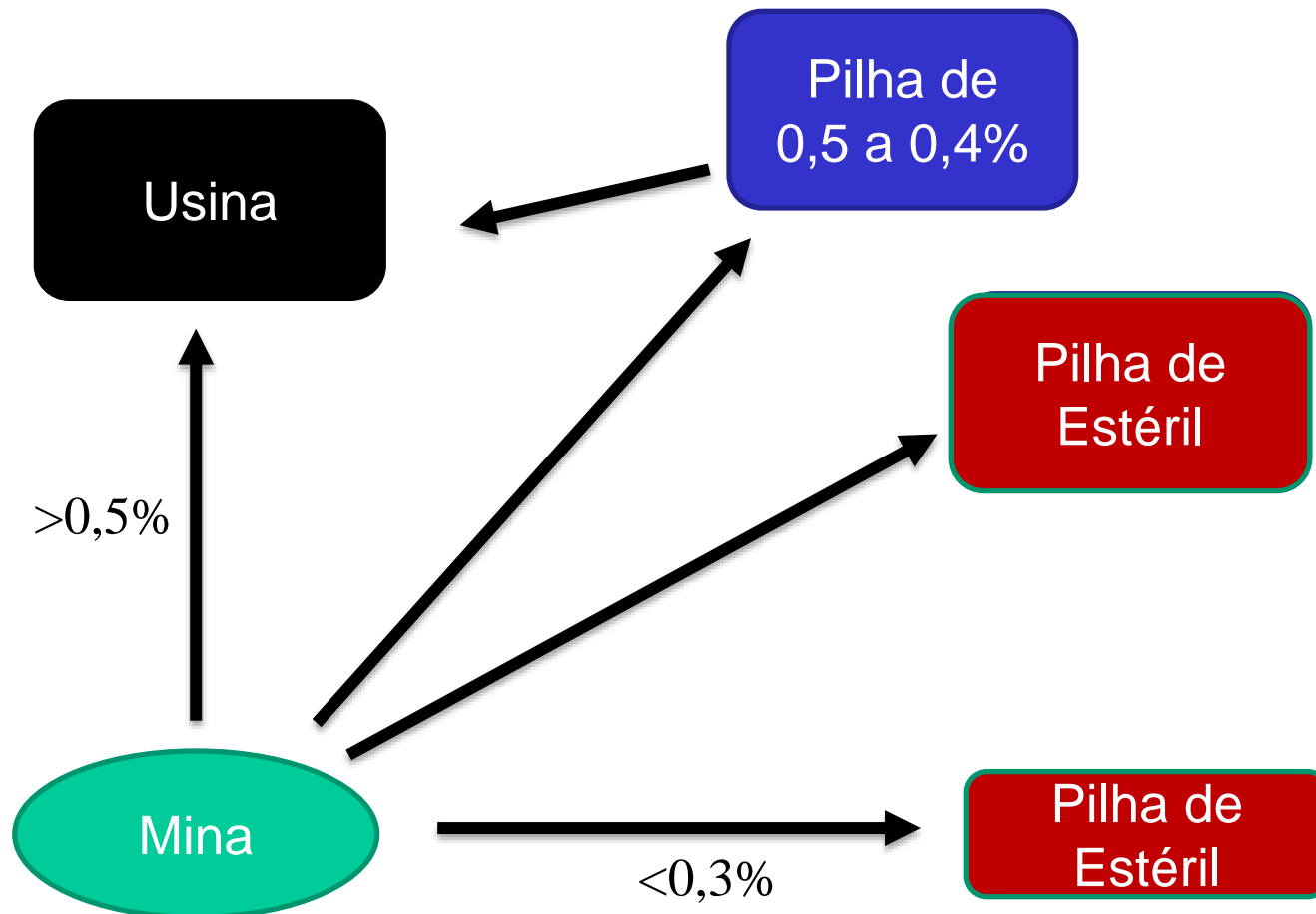
- Destino do material lavrado



Planejamento de Lavra

Conceitos Básicos

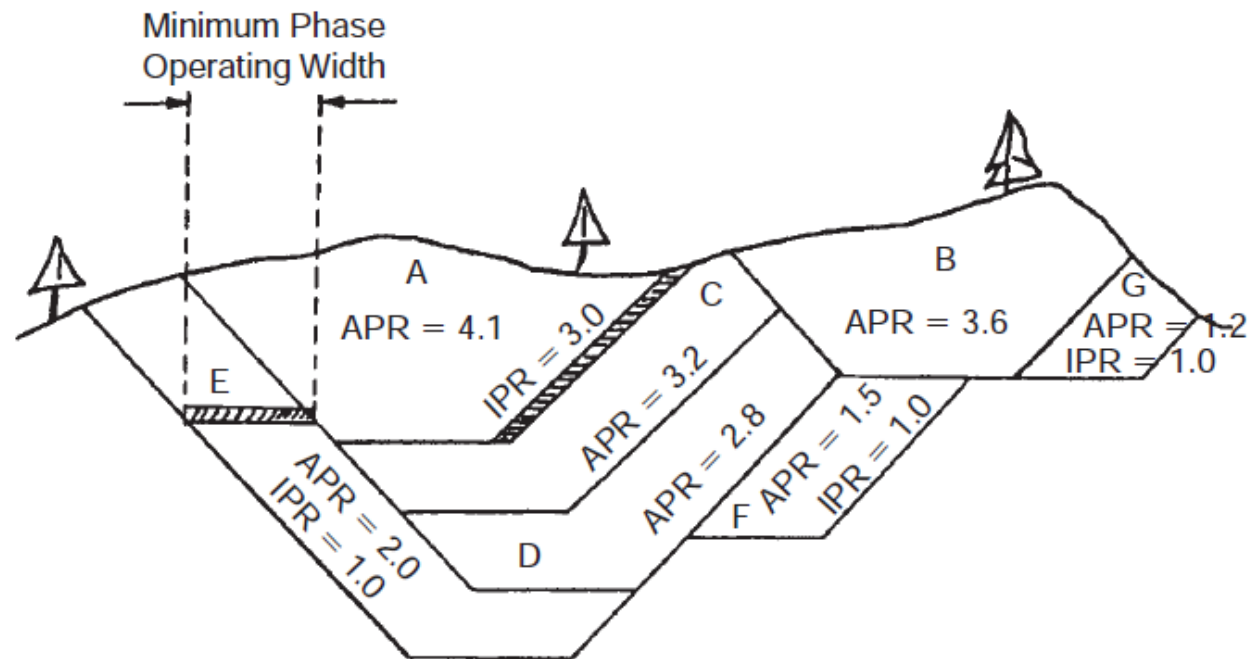
- Destino do material lavrado



Planejamento de Lavra

Conceitos Básicos

- Cronograma de Produção



APR = Average Profit Ratio

IPR = Incremental Profit Ratio

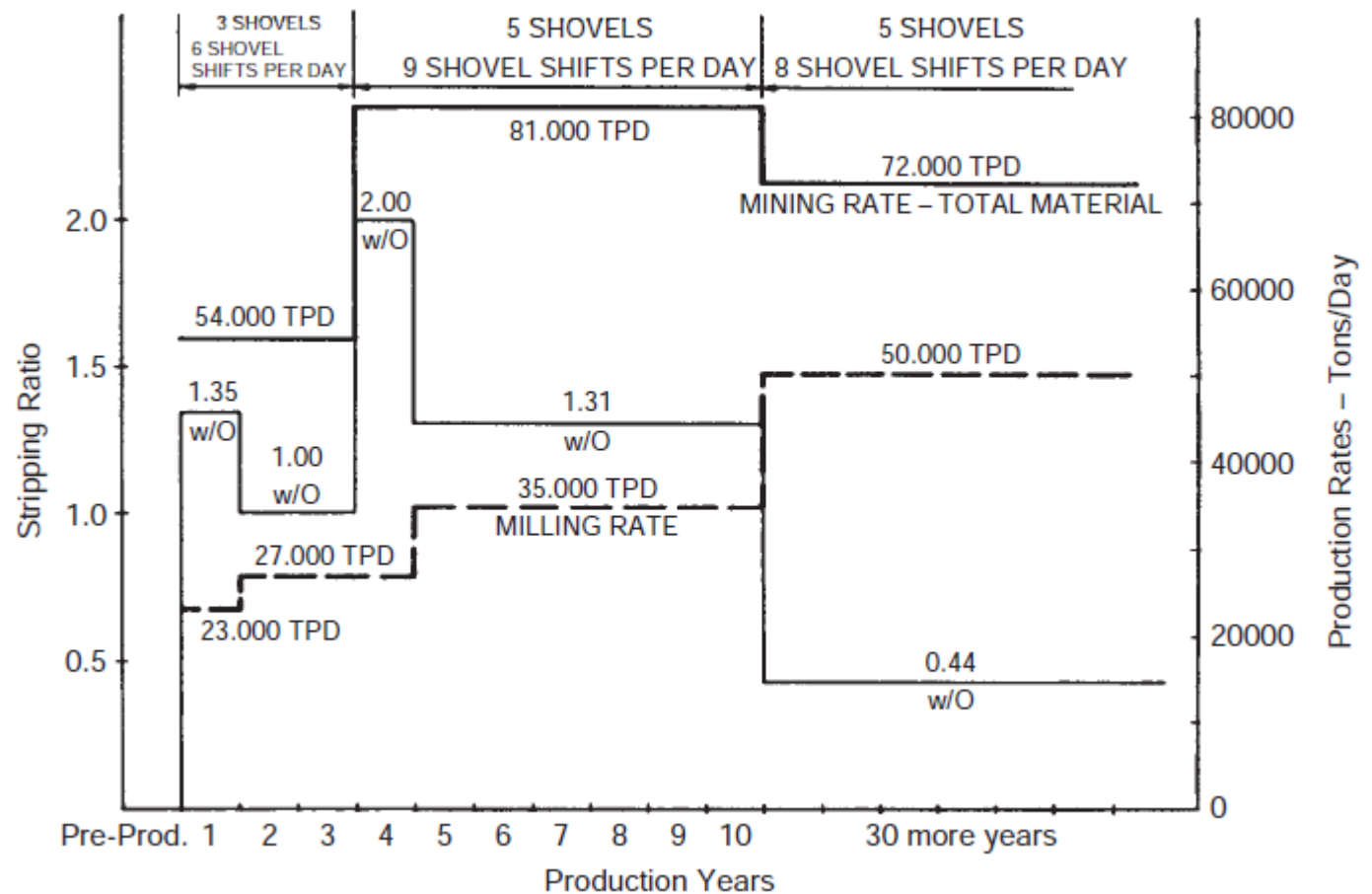
$$\text{Profit ratio} = \frac{\text{revenue}}{\text{all costs}}$$

Figure 6.57. Pit sequencing in order of decreasing value (Mathieson, 1982).

Planejamento de Lavra

Conceitos Básicos

- Cronograma de Produção



Conclusão

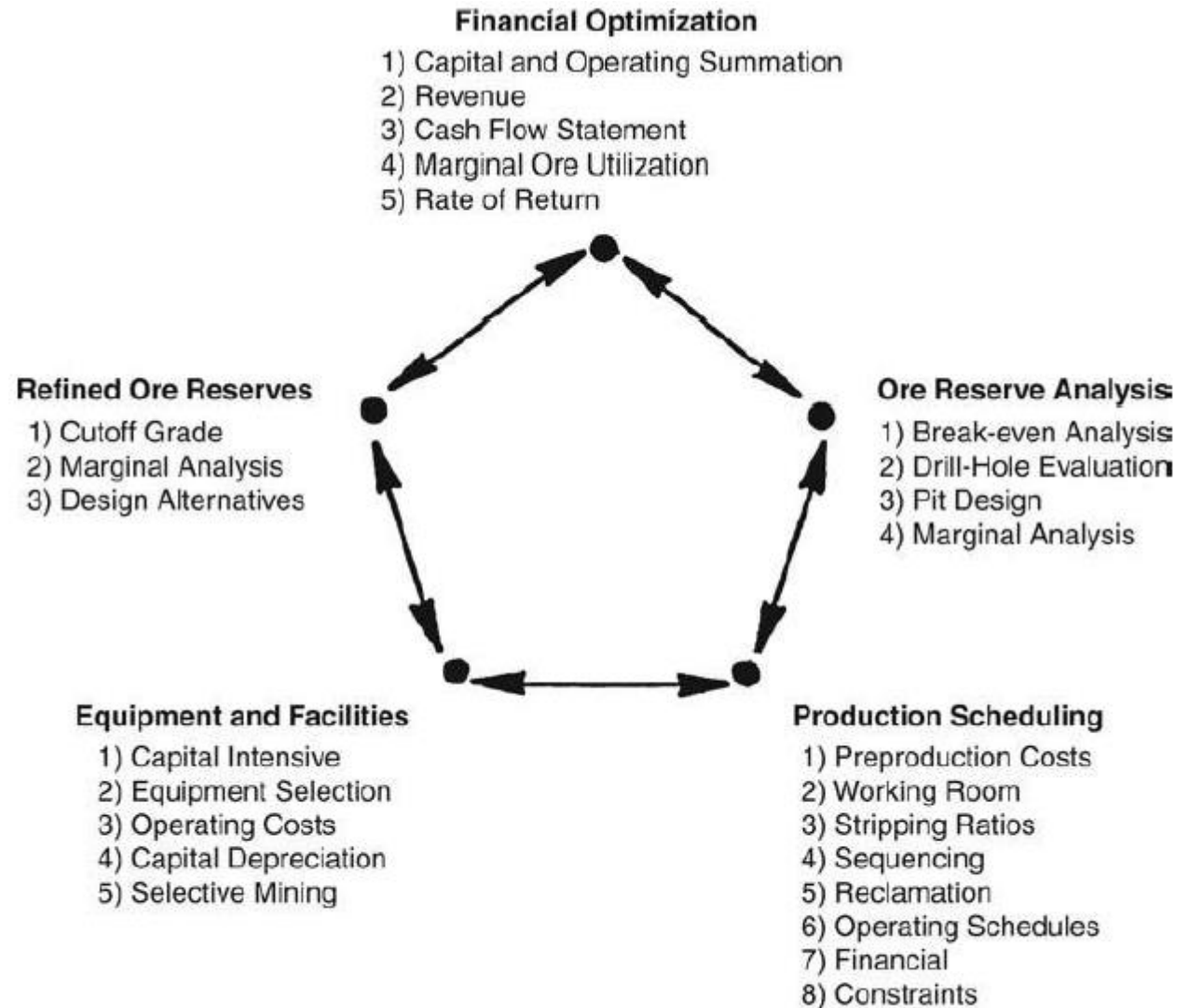


Figure 6.82. Circular analysis (Dohm, 1979).

Próxima aula

- Aula Prática – Planejamento real de uma mineração

Referencias

Gertsch, Richard E., Bullock, Richard. L. Techniques in underground mining: Selections From Underground Mining Methods Handbook. SME. **1998.**

Hustrulid, W., Kuchta, M. Open Pit Mine Planning & Design. Rotterdam; Brookfield, VT: A.A. Balkema. **1998.**

Flores, Belisario Ascarza, & Cabral, Ivo Eyer. (2008). Análise de sensibilidade na otimização econômica de uma cava. Analysis of sensitivity of the pit economic optimization. *Rem: Revista Escola de Minas*, 61(4), 449-454. <https://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672008000400007>.