

# **METALURGIA EXTRATIVA DOS NÃO FERROSOS**

## **PMT 3409**

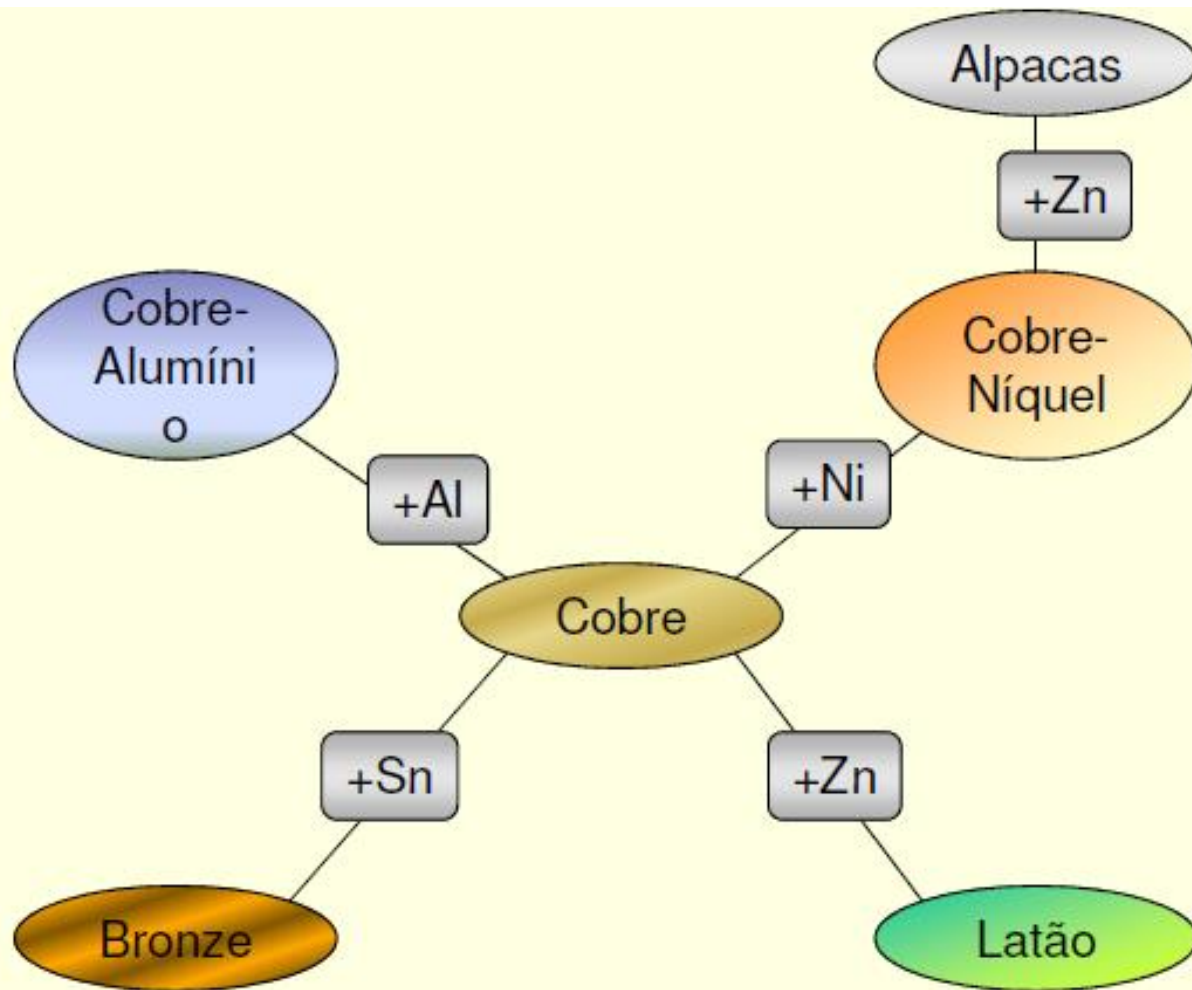
# **PRODUÇÃO DE Cu PRIMÁRIO**

# Cobre e suas ligas

<b>Exploited property</b>	<b>% of total use</b>
Electrical conductivity	61
Corrosion resistance	20
Thermal conductivity	11
Mechanical and structural properties	6
Aesthetics	2

<b>Application</b>	<b>% of total use</b>
Building construction	40
Electrical and electronic products	25
Industrial machinery and equipment	14
Transportation equipment	11
Consumer goods	10

# Ligas de Cu



# Minério de Cu

- Calcopirita  $\text{CuFeS}_2$
- Calcocita  $\text{Cu}_2\text{S}$
- Bornita  $\text{Cu}_2\text{FeS}_4$
- Pirita ( $\text{FeS}_2$ )
- Pirrotita ( $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$ )
- Minérios oxidados: carbonatos, óxidos, sulfatos (20% da produção)
- Concentração de Cu: 0,5% (minas abertas) até 1-2% (minas subterrâneas)
  - Vale – 0,85 a 1% (Salobo, Sossego, Alemão,...)
- Reciclagem: 10-15%

Os minerais de minério de Cu constituem-se de calcocita e bornita, com calcopirita.

Mina do Salobo  
(Cobre) / Vale

Reserva  
Biológica  
do Tapirapé

Floresta  
Nacional do  
Tapirapéaquiri

Projeto Alemão - Vale SA

Vila Paulo  
Fonteles

Serra Pelada

Igarape Bahia Airport

Mina do Azul Parauapebas

Eldorado  
dos Carajás

XIKRIN DO  
RIO CATETE

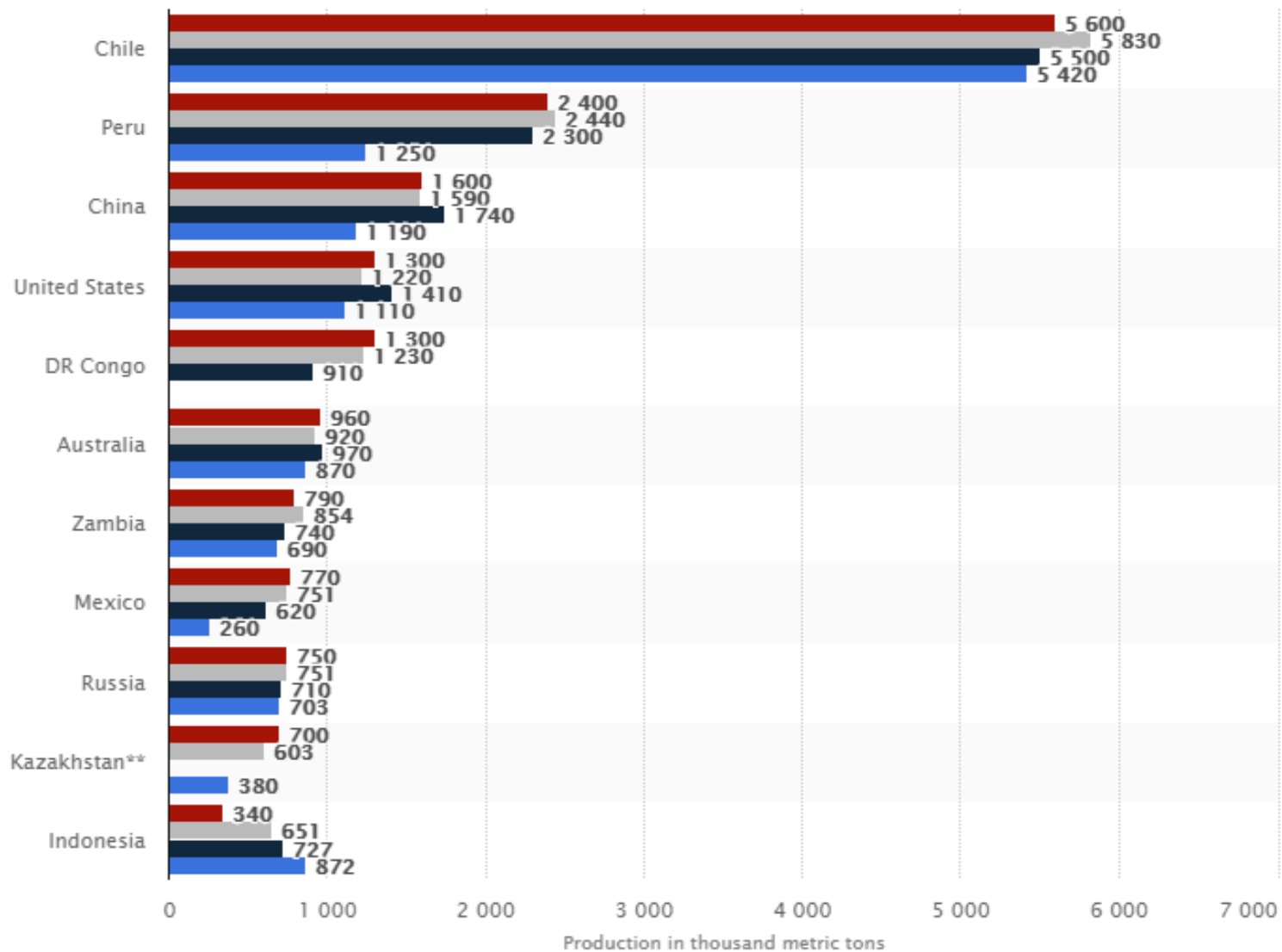
Serra dos Carajás

Os minerais de minério de Cu constituem-se de calcopirita com pirita e calcocita.

Os minerais de minério de Cu constituem-se de calcopirita com pirita e magnetita.

Mina de Cobre  
do Sossego

Canaã dos  
Carajás



● 2010 ● 2016 ● 2018 ● 2019\*

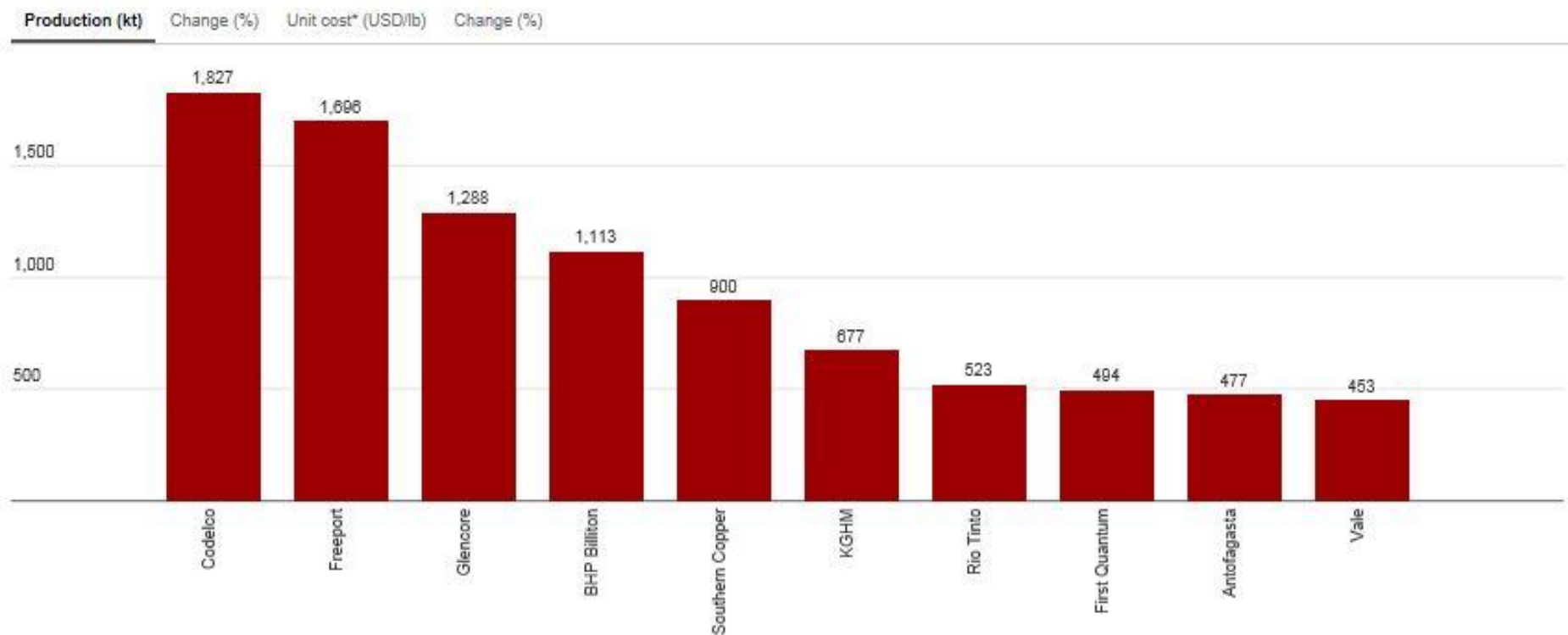
2017<sup>[2]</sup>

Rank <span>↕</span>	Country/region <span>↕</span>	Production (thousand tons of) <span>↕</span>
	World	19,939
1	 Chile	5,503
2	 Peru	2,445
3	 China	1,656
4	 United States	1,260
5	 Congo, Democratic Republic of the	1,094
6	 Australia	859
7	 Zambia	797
8	 Mexico	742
9	 Russia	705
10	 Indonesia	622
11	 Poland	620
12	 Canada	605
13	 Kazakhstan	540
14	 Brazil	419
15	 Mongolia	384
16	 Iran	314
17	 Spain	204
18	 Laos	153



## Top 10 copper producers

2016 calendar year attributable production (kt)



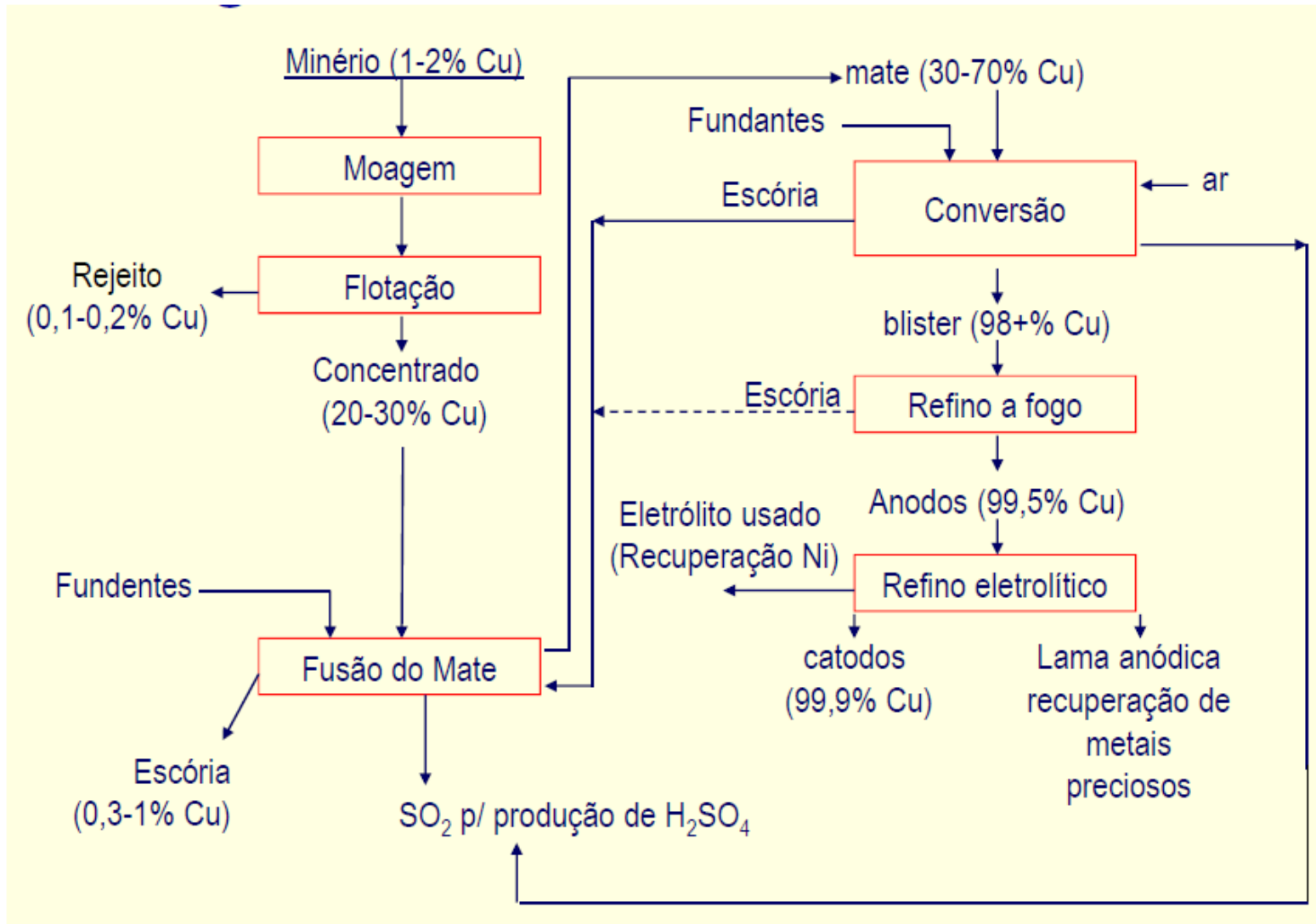
\* Unit copper cash costs are shown not for comparison, but for information purposes only. Including by-products. \*\* BHP Billiton copper cash costs are for the half-year ended December 31, 2016 vs. December 31, 2015.

# Metalurgia Extrativa do Cu

- O tipo de processamento depende do tipo de minério. Há dois processos tradicionais
  - Pirometalúrgico: tipicamente utiliza calcopirita e pirita
  - Hidrometalúrgico: os demais

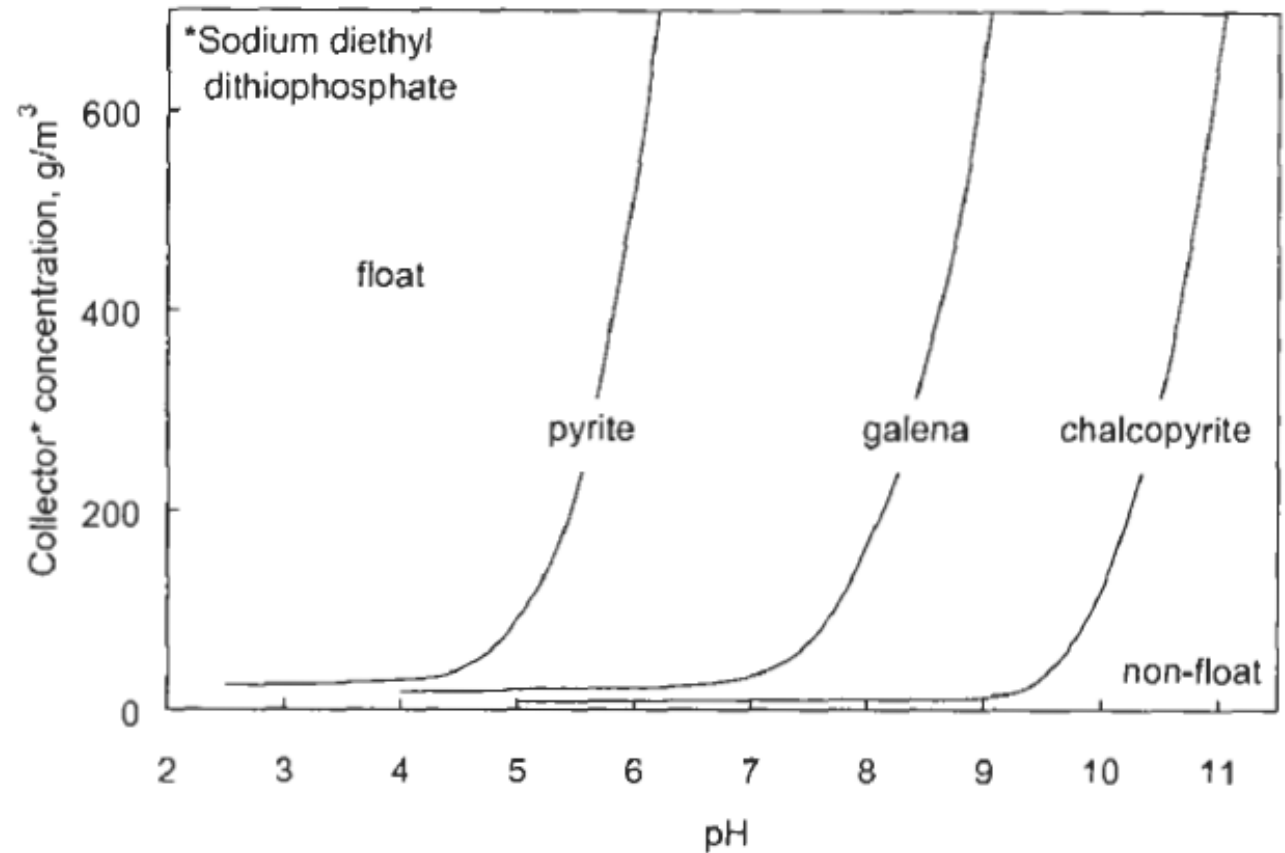
# Metalurgia Extrativa do Cu

## Rota Pirometalúrgica



# Rota Pirometalúrgica

- Flotação



# **Metalurgia Extrativa do Cu**

## **Rota Pirometalúrgica**

Processo pirometalúrgico de fusão-redução de concentrados de sulfetos metálicos

- Desenvolvido inicialmente para o Cu mas estendido para o Ni e Pb (só teste)
- Carga: concentrado seco, fluxante (silica), ar, oxigênio, combustível (pouco ou nada)
- Produtos: Matte (Fe, Cu, S) com 45-65%Cu, escória, gases e finos

# Metalurgia Extrativa do Cu

## Rota Pirometalúrgica

- Destino do matte: fornos de conversão, refino e comercialização
- Destino da escória: (0,5 a 2%Cu): recuperação do Cu e depois descartada
- Destino do  $\text{SO}_2$ :
  - Produção de  $\text{H}_2\text{SO}_4$
  - Produção de  $\text{SO}_2$  líquido (comprimido)
  - Redução a S elementar
  - Atmosfera: a princípio em lugares remotos com pouca umidade

# Metalurgia Extrativa do Cu

## Rota Pirometalúrgica

- Outras entradas:
  - Pó do forno flash e do forno de conversão
  - Escória do forno de conversão
- Concentrado:
  - Minério moído, flotado e seco (20-30%Cu, 25-35%Fe e 25-35%S)
  - Minerais: calcopirita( $\text{CuFeS}_2$  - 34,6%Cu, 30,4%Fe), pirita( $\text{FeS}_2$ ) entre outros menos importantes
  - 50-100 micra

# Metalurgia Extrativa do Cu

## Rota Pirometalúrgica

- Fluxante: sílica
  - Deve reagir com os óxidos de Fe formados criando uma escória que pode ser facilmente removida do sistema
  - imiscível no matte
  - pouca solubilidade de Cu
  - fluída
  - 30-35%  $\text{SiO}_2$



# Metalurgia Extrativa do Cu

## Rota Pirometalúrgica

- Areia, rejeito silicatado de minério, quartzo moído, silicatos contendo Au ou Ag para posterior recuperação no eletro-refino
- Oxigênio: 90-98%O<sub>2</sub> a 2 atm sem liquefação
- Poeiras:
  - gera 3-15% da carga
  - 25-30%Cu

# Metalurgia Extrativa do Cu

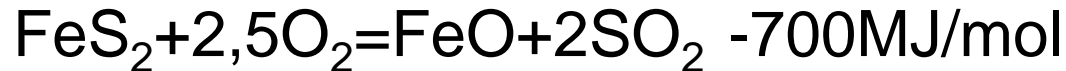
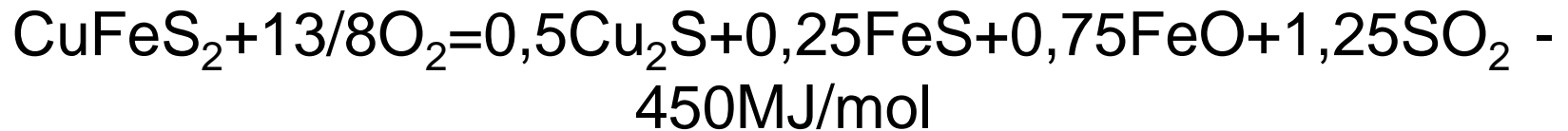
## Rota Pirometalúrgica

- Escória do forno de conversão:
  - 3-6%Cu
  - Pode ser fundida em FEA para recuperação do matte
  - Pode ser tratada num circuito de solidificação/flotação para produção de uma escoria com 30-40%Cu retornando ao flash
  - Pode ser carregada diretamente no flash

# Metalurgia Extrativa do Cu

## Rota Pirometalúrgica

- Reações químicas:



- O balanço térmico é favorável de maneira que quando o ar é enriquecido com  $\text{O}_2$  pouco ou nenhum combustível é necessário

# Metalurgia Extrativa do Cu

## Rota Pirometalúrgica

- Matte:
  - A extensão da oxidação do Fe e do S depende da relação Entrada de  $O_2$ /entrada de concentrado
  - Quanto maior a relação maior e a oxidação
  - Quanto maior a oxidação maior e o grau do matte

# Metalurgia Extrativa do Cu

## Rota Pirometalúrgica

- O grau é determinado por:
  - Maximizar o uso de energia química
  - Maximizar a captura de  $\text{SO}_2$
  - Deixar Fe e S suficiente para o balanço térmico da conversão



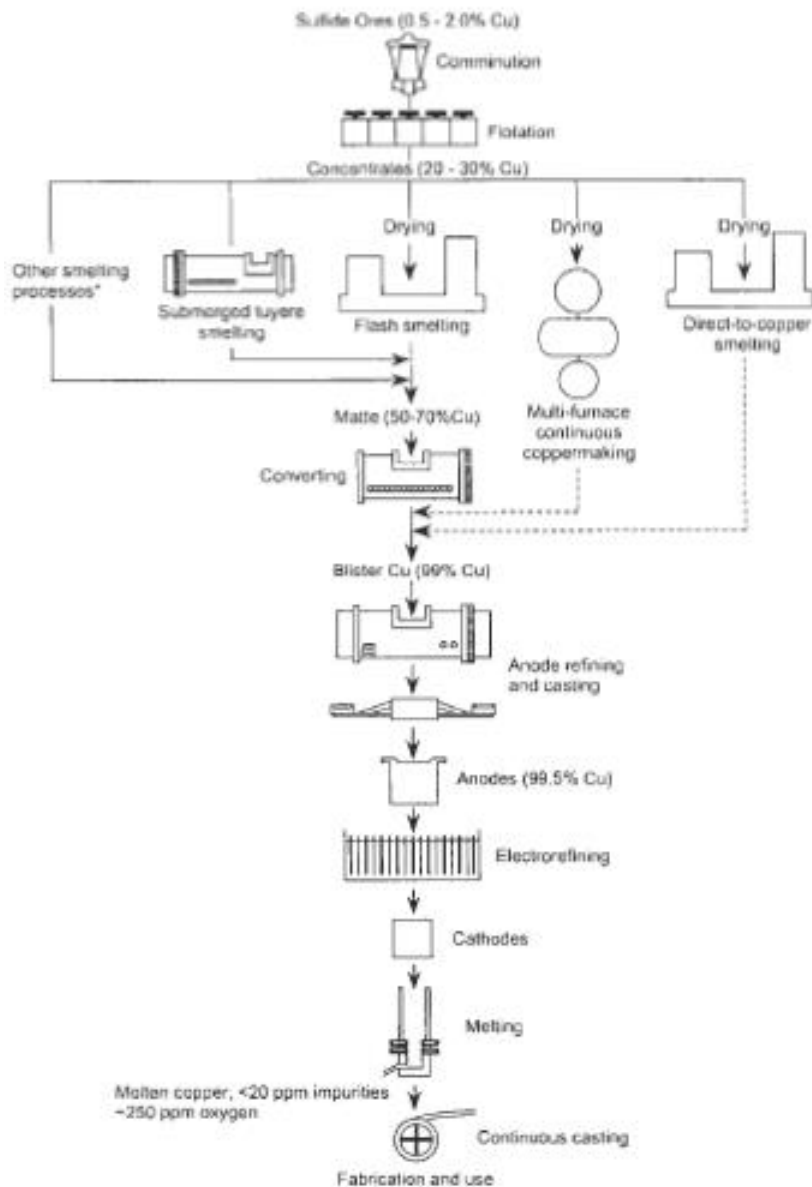
- Evitar a formação excessiva de  $\text{Cu}_2\text{O}$  e  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (alto ponto de fusão)

# Metalurgia Extrativa do Cu

## Rota Pirometalúrgica

- Impurezas:
  - A maior parte ou vai para a escória ou vai para os fumos
  - Exceção: metais preciosos que são recuperados no eletro-refino
- Há dois tipos básicos de reatores: Outokumpo e INCO
  - Ambos são revestidos com tijolos de MgO ou  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -MgO

# Fluxograma de Produção



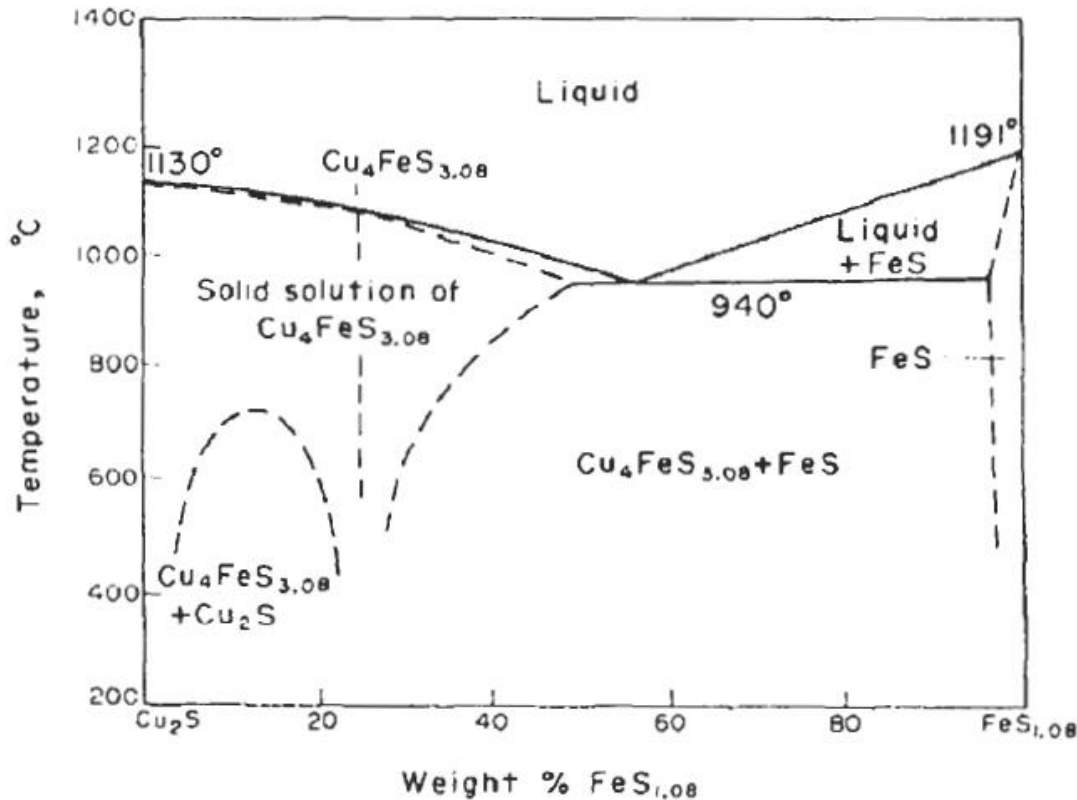
## Rota Pirometalúrgica

# Fusão do Mate

- $2\text{CuFeS}_2 + 13/2\text{O}_2 = \text{Cu}_2\text{S}.0,5\text{FeS} + 3/2\text{FeO} + 5/2\text{SO}_2$ 
  - Ar enriquecido em  $\text{O}_2$
  - $1220^\circ\text{C}$
  - $\Delta H^\circ = -450 \text{ MJ/kmol CuFeS}_2$
- $2\text{FeO} + \text{SiO}_2 = 2\text{FeO.SiO}_2$ 
  - Silica adicionada à escória
  - $1250^\circ\text{C}$
  - $\Delta H^\circ = -20 \text{ MJ/kmol FeO}$
- $\text{CuFeS}_2 + \text{O}_2 + \text{SiO}_2 = \underset{\text{Matte}}{\text{Cu-Fe-S}} + \underset{\text{Escória}}{\text{FeO.SiO}_2} + \text{SO}_2$

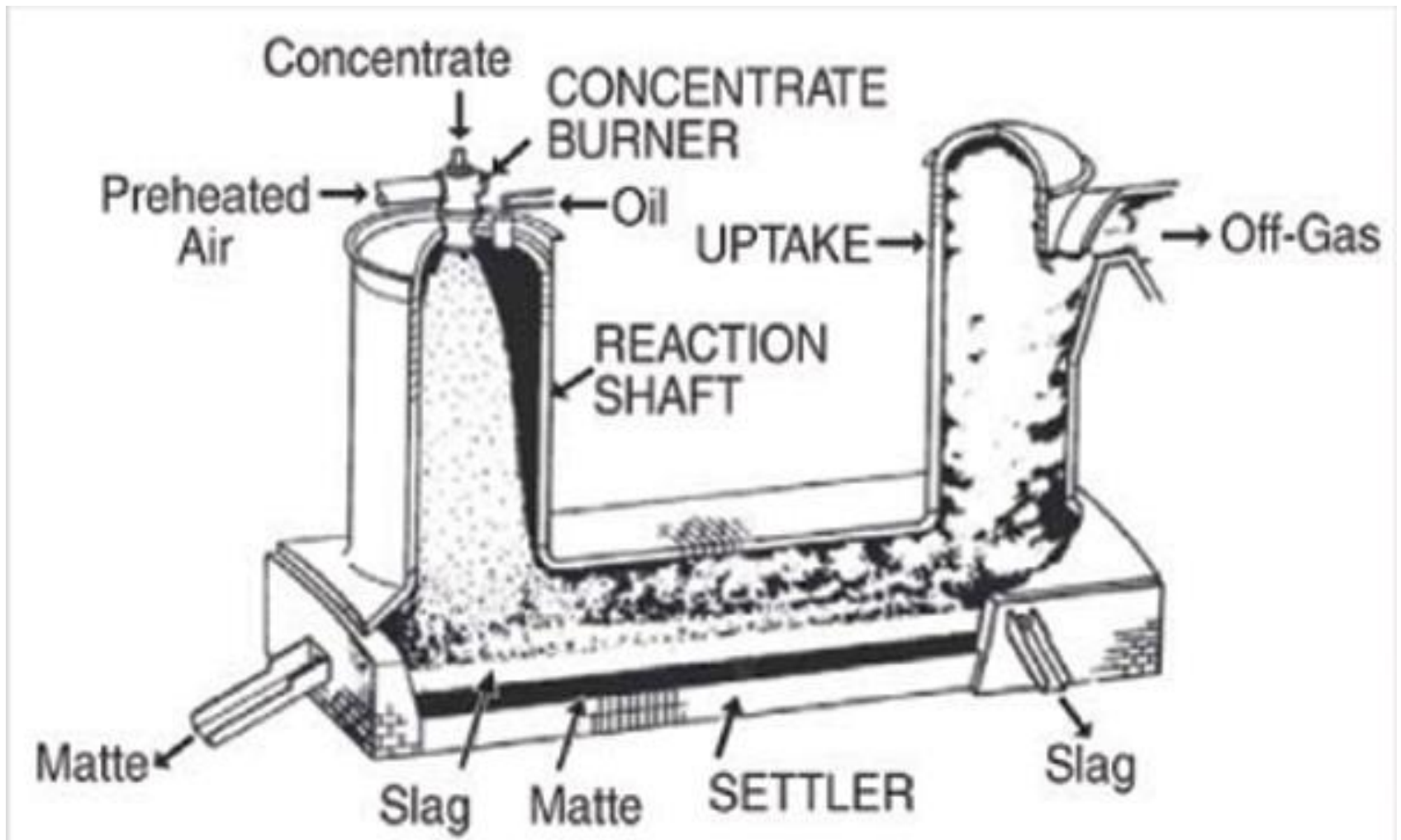


# Fusão do Mate

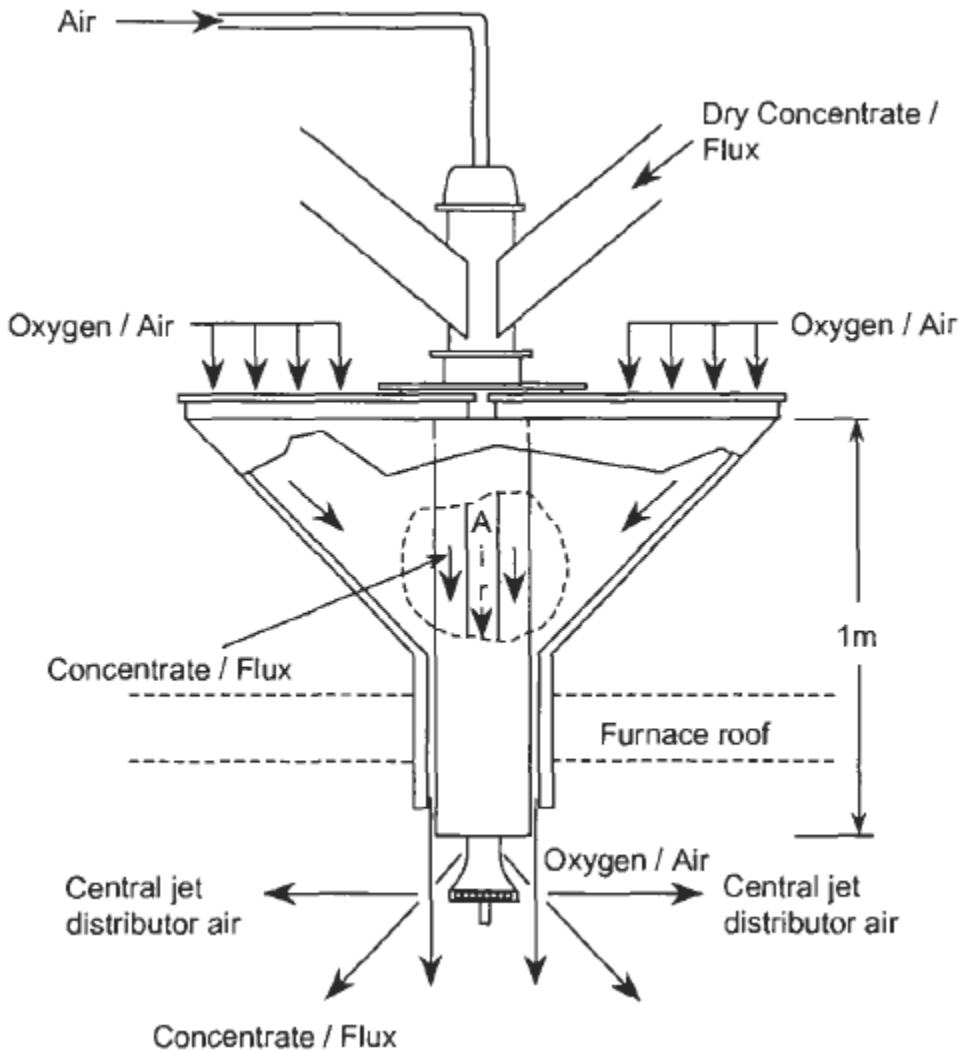


- Imiscibilidade da escória aumenta com o % $\text{SiO}_2$
- %O decresce com o aumento da % $\text{Cu}_2\text{S}$
- Liquidus é menor que a maioria das escórias
- A densidade é maior que a da escória
- $T \sim 1250^\circ\text{C}$
- Contato com o  $\text{O}_2$  é fundamental: tamanho de partícula e enriquecimento com  $\text{O}_2$  (aproveitamento do gás)

# Outokumpu Flash Smelting



# Outokumpu Flash Smelting

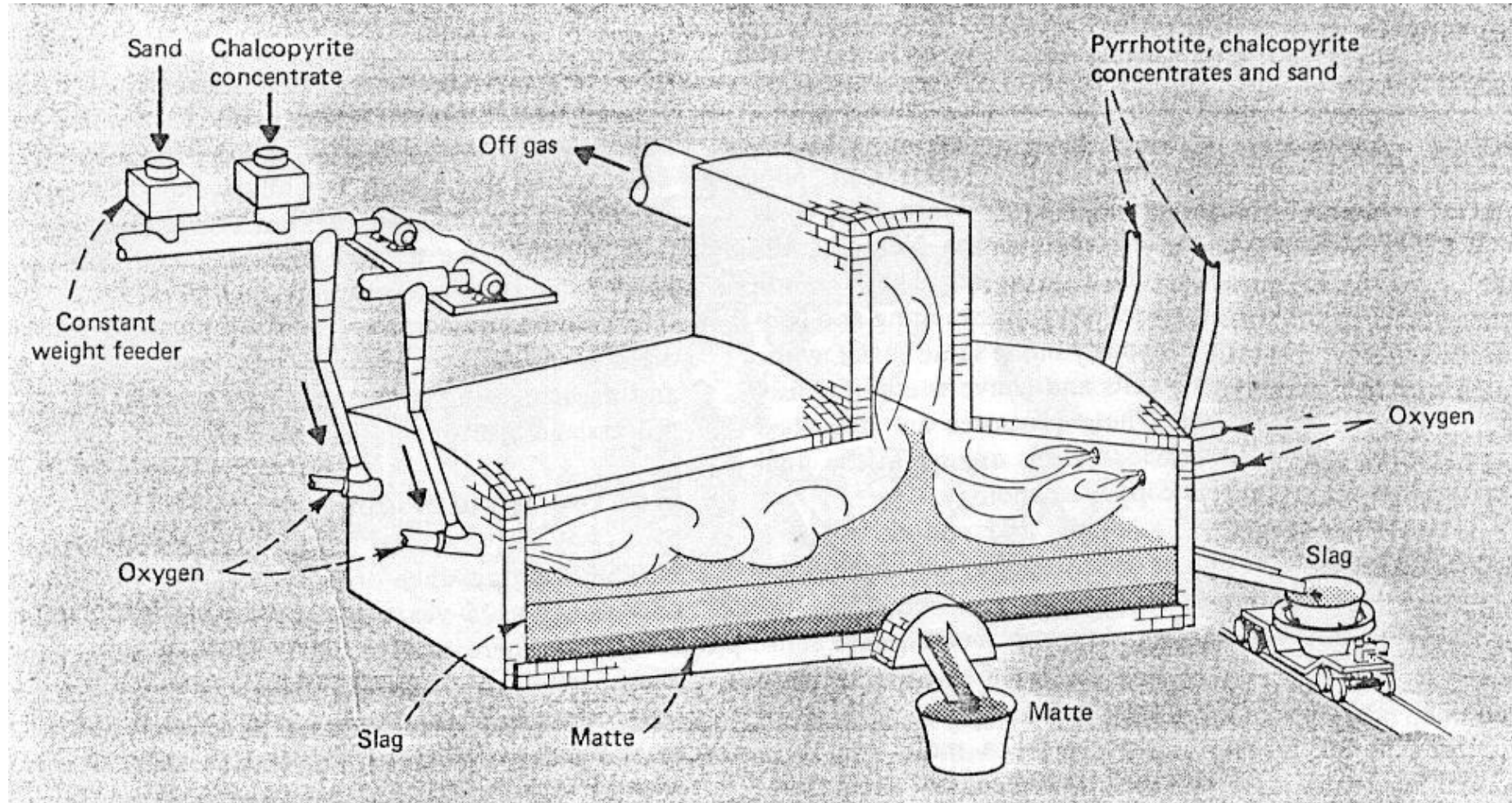


- Comprimento: 18 m
- Largura: 6 m
- Altura: 2 m
- Diâm. da zona de reação : 4.5 m
- Altura da zona de reação: 6 m
- Diâm. da saída de gases: 5m
- Altura da saída de gases: 8 m
- Produção: 1000 t/dia de conc
- %O<sub>2</sub>: 50-80%
- T<sub>ar</sub>: 25-450°C
- Refratário: MgO-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

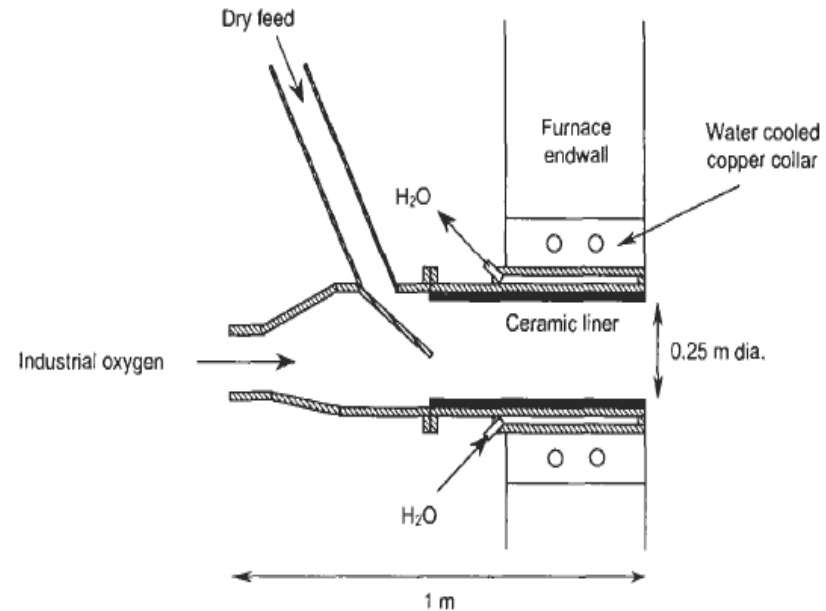
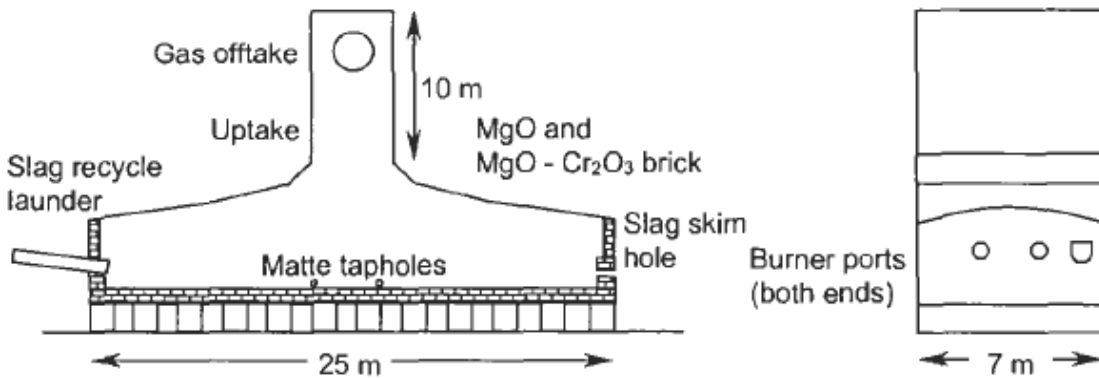
# Outokumpu Flash Smelting

- Outokumpo:
  - entrada vertical do concentrado e queima numa grande seção do reator localizada em uma das extremidades
  - uso de ar pré-aquecido ou ar enriquecido pré-aquecido
  - combustão de uma pequena quantidade de combustível fóssil
  - tendência com o enriquecimento em  $O_2$ 
    - decresce a quantidade de  $N_2$
    - economiza combustível (não precisa aquecer o  $N_2$ )
    - fumos mais ricos em  $SO_2$  assim com fixação facilitada
    - volume de fumos menor diminuindo o custo de manipulação

# Inco Flash Smelting



# Inco Flash Smelting



# Inco Flash Smelting

- INCO (1952)
  - entrada horizontal de concentrado em ambos os lados do reator
  - uso de oxigênio a temperatura ambiente
  - sem combustível
  - é mais simples
  - os fumos são ricos em  $\text{SO}_2$  (75% em volume), conseqüentemente, mais fácil e o aproveitamento

# Metalurgia Extrativa do Cu

## Rota Pirometalúrgica

- Concorrentes

FEA:

- concentrado funde com pouca oxidação
- funde outros tipos de carga, inclusive concentrado úmido
- produz uma escória pobre em Cu podendo ser descartada em tratamento
- tem um grande consumo de energia elétrica (cara)



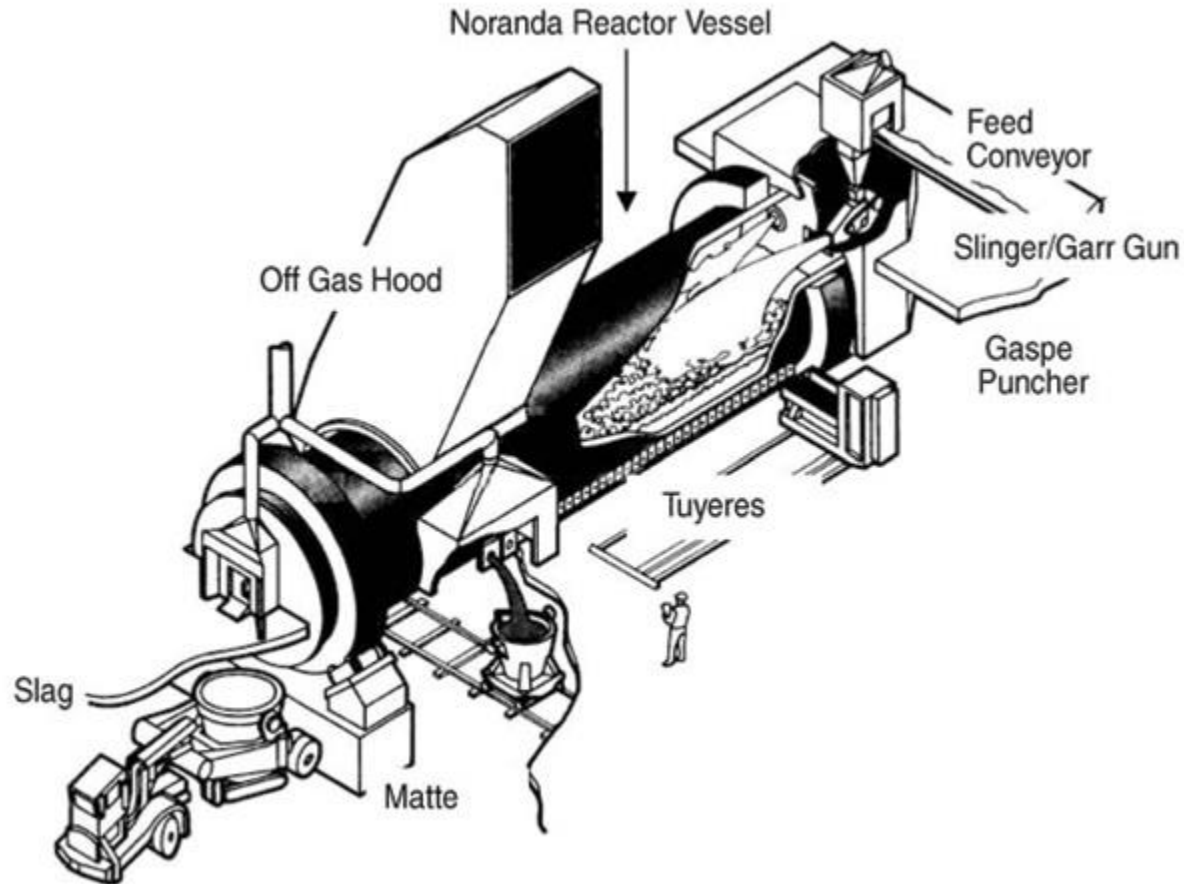
# Metalurgia Extrativa do Cu

## Rota Pirometalúrgica

### Noranda:

- Carga: concentrado úmido, fluxantes, sucata e finos de carvão. Ar enriquecido e injetado nas ventaneiras
- Já foi usado para produzir Cu blister diretamente mas está sendo usado para produzir matte de ultra alto grau com 73%Cu
- O processo mantém o sistema vigorosamente agitado mantendo todo  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  formado suspenso no líquido
- É possível processar cargas de grande tamanho (10 cm) incluindo sucata
- A campanha do reator é curta (~1 ano)

# NORANDA



**Fig. 1.5.** Noranda submerged tuyere smelting furnace. Noranda furnaces are typically 20 to 25 m long and 5 m diameter. They smelt 1500 to 3000 tonnes of concentrate per day. Teniente smelting furnaces are similar.

# **Metalurgia Extrativa do Cu**

## **Rota Pirometalúrgica**

### Mitsubishi

- Carga: concentrado seco, fluxante, ar enriquecido. É soprada no banho
- É um processo contínuo e tem uma eficiente captação dos fumos

# mitsubishi

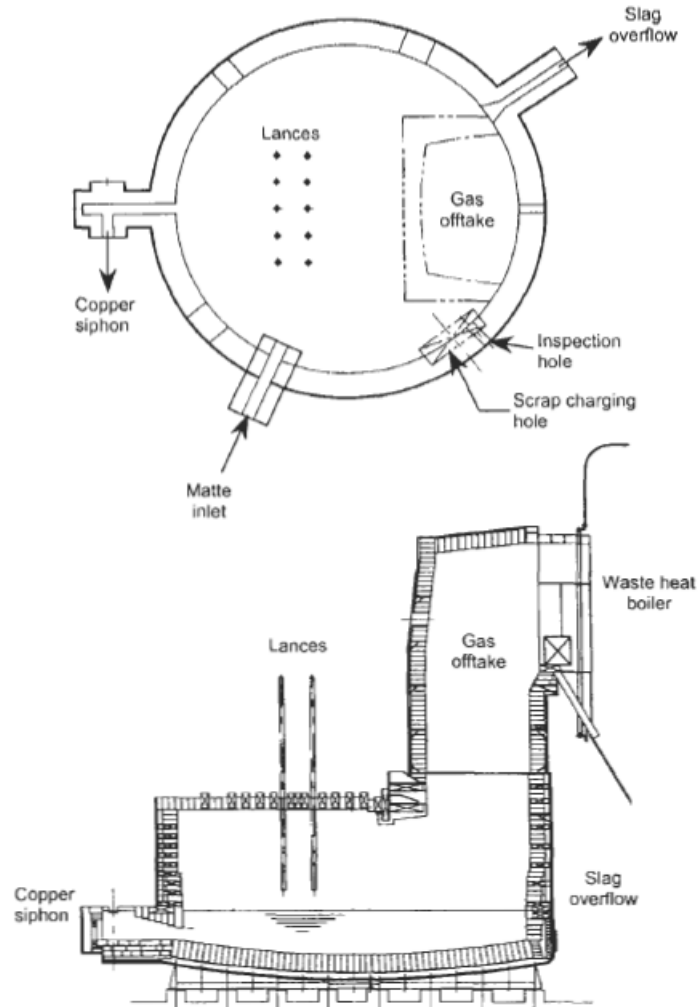
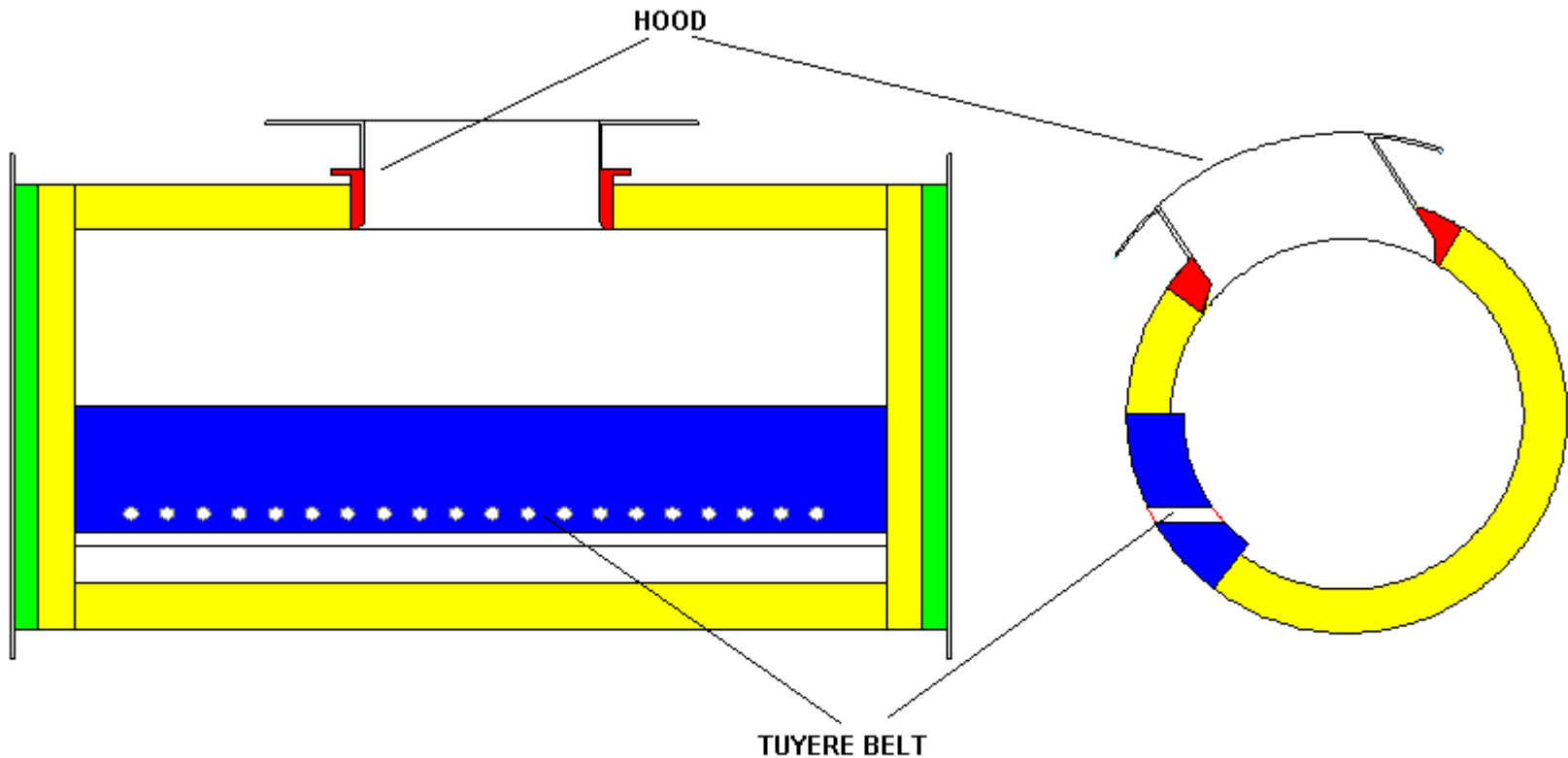


Fig. 10.1. Mitsubishi downward lance continuous converter, 12.5 m diameter. It converts up to 1500 tonnes of matte per day. The 10 rotating vertical lances are notable.

# Conversão

## Conversor Pierce-Smith



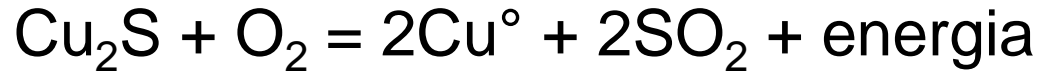
# Conversão

## ETAPAS

1. Eliminação do FeS ou a formação de escória



2. Formação do Cu blister



3. Produtos:

a) Cu blister: refino a fogo ou eletro-refino

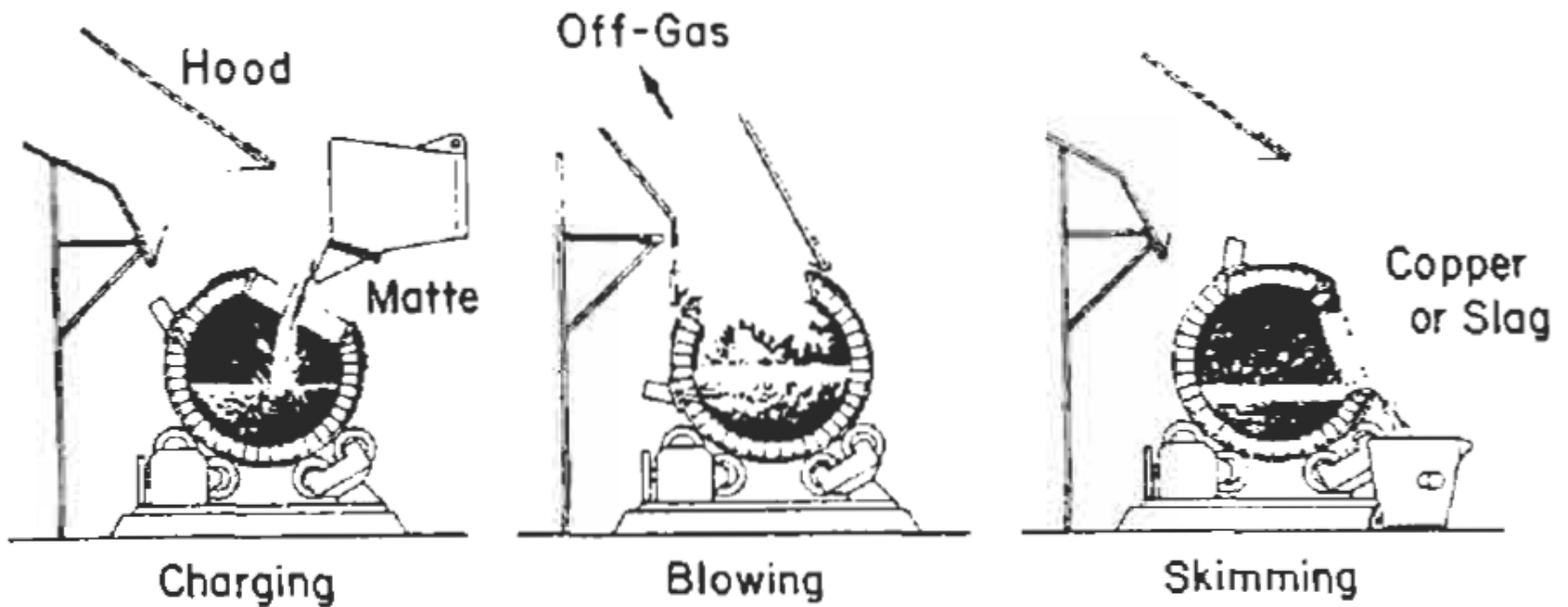
b) Escória de silicato de Fe: enviada à recuperação de Cu e então descartada

c) Gás rico em  $\text{SO}_2$ : resfriado, despoeirado e enviado para a fabricação de  $\text{H}_2\text{SO}_4$

# Conversor Pierce-Smith

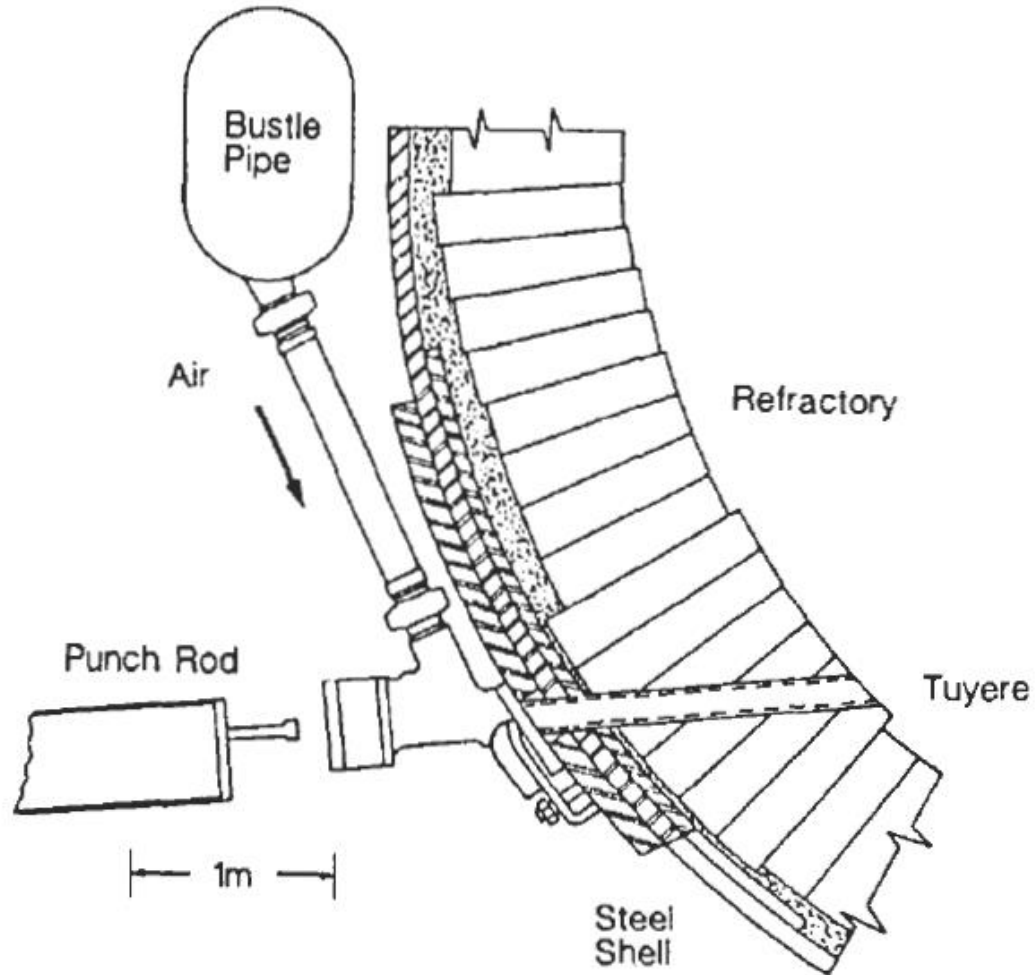


# Conversor Pierce-Smith

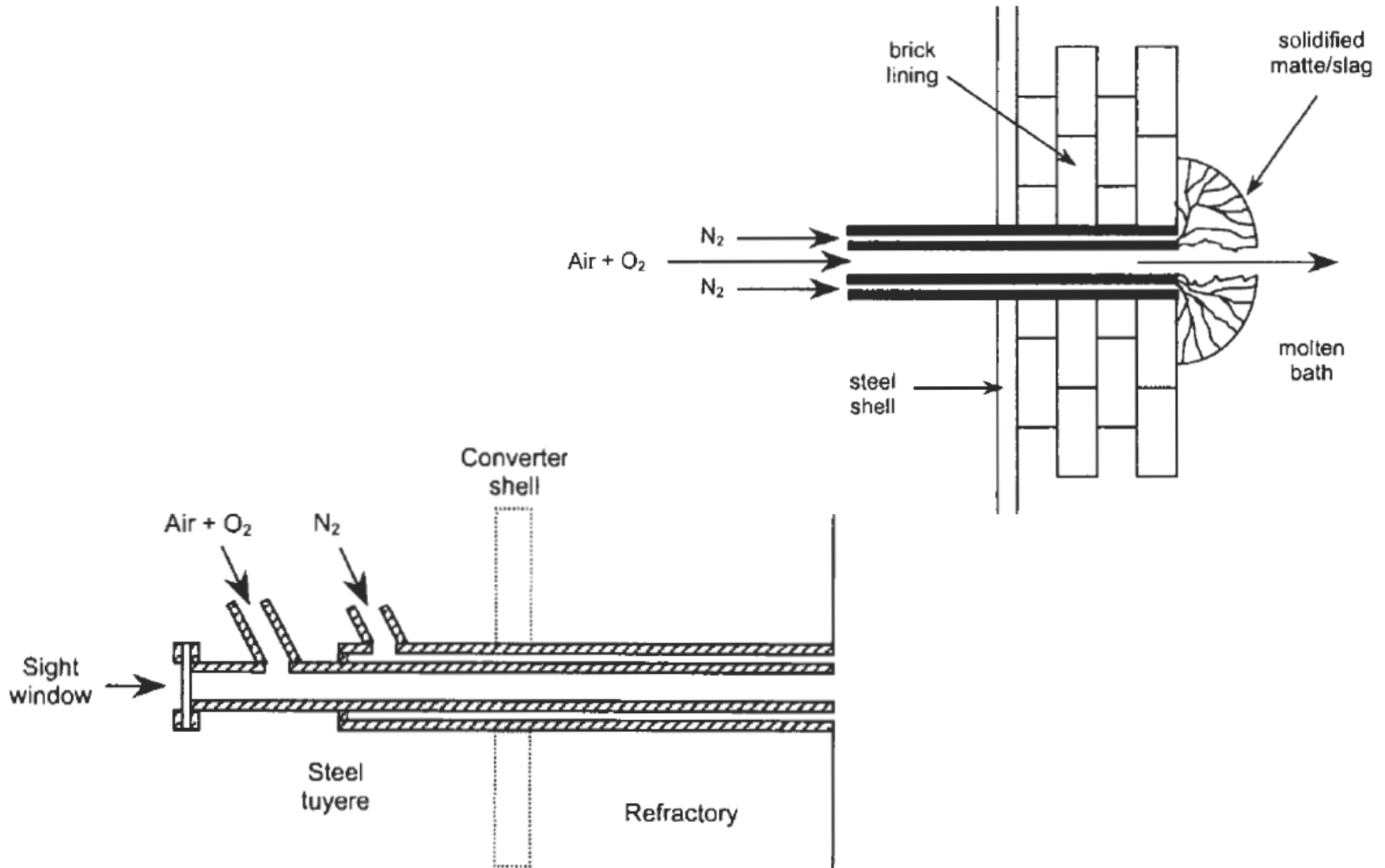




# Converter Pierce-Smith



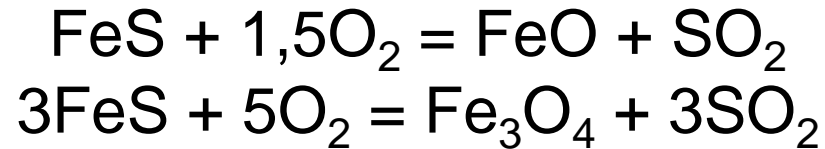
# Converter Pierce-Smith



# Conversor Pierce-Smith

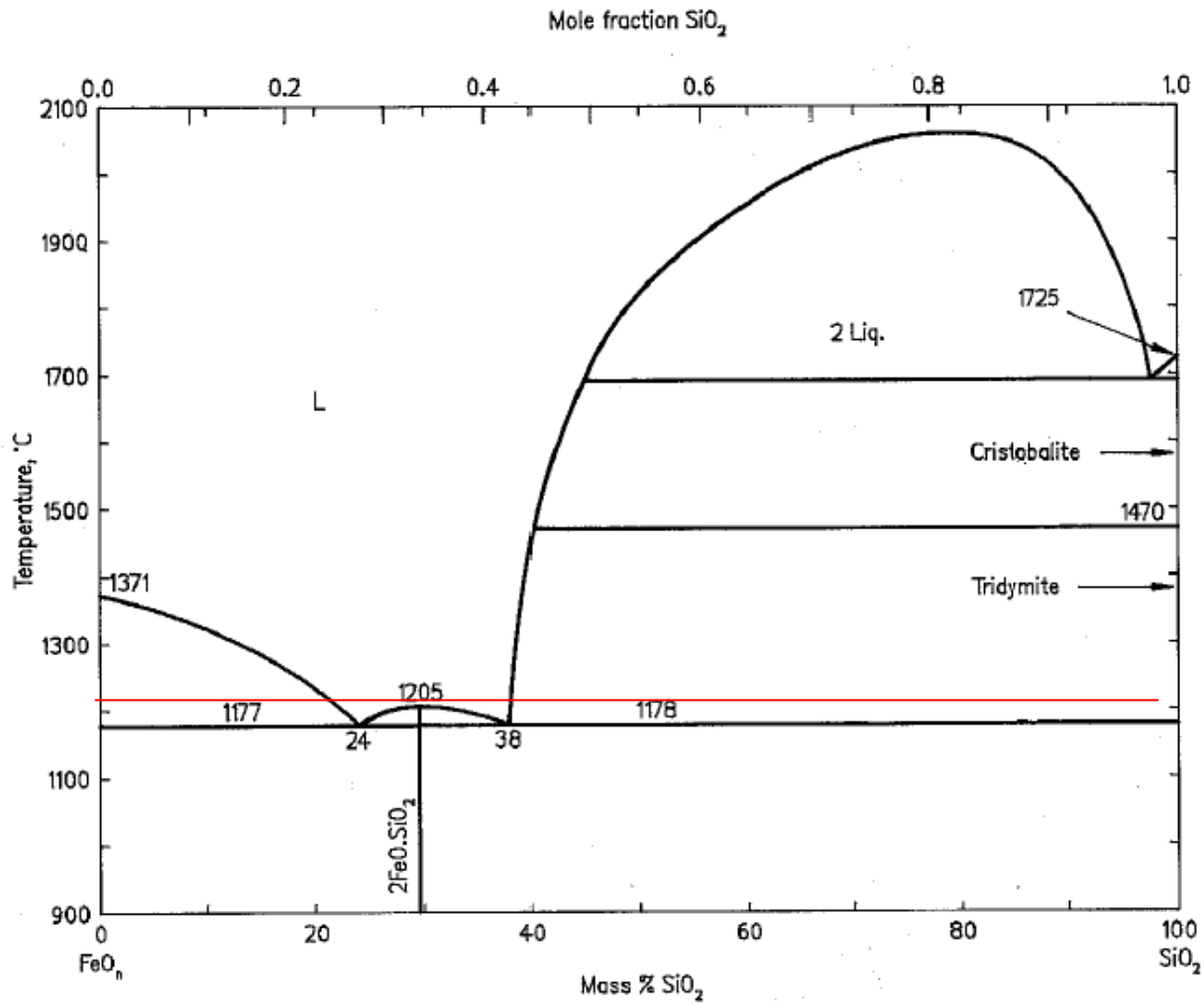
Etapas da conversão:

## 1. Formação da escória



- Sílica é adicionada para formar uma escória líquida
- Esta etapa termina quando o teor de Fe é menor que 1%
- Abaixo de 1% Fe e 19,5% S: formação de Cu metálico
- O principal produto é um  $\text{Cu}_2\text{S}$  impuro a  $\sim 1200^\circ\text{C}$  (metal branco)

# Conversor Pierce-Smith

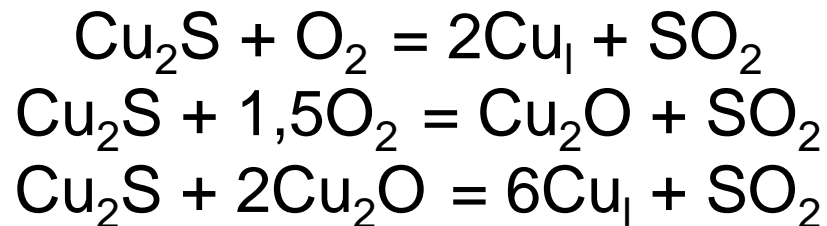


# Conversor Pierce-Smith

Etapas da conversão:

## 2. Formação do Cobre

- O S do  $\text{Cu}_2\text{S}$  é oxidado a  $\text{SO}_2$
- O Cu não é oxidado até ficar quase sem S
- O Cu blister formado tem baixo S e O (0.001-0.03% S, 0.1-0.8% O)



- Durante a solidificação o S e o O formariam bolhas de  $\text{SO}_2$  pela diminuição da solubilidade de ambos

# Conversão



Bolhas de  $\text{SO}_2$

# Conversão

