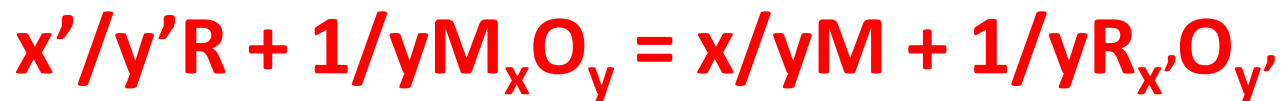


METALURGIA EXTRATIVA DOS NÃO FERROSOS

PMT 3409

TERMODINÂMICA DA REDUÇÃO

- Boa parte dos metais são produzidos através de matérias-primas óxidas
- Poucos metais podem ser convertidos pela simples decomposição térmica (Ag, Pt, Pd,...)
- Há a necessidade de um agente redutor

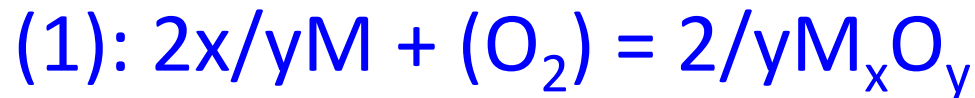


R = redutor (sólido, liquido ou gasoso)

$R_{x'}O_{y'}$ = produto de redução (sólido, liquido ou gasoso)

TERMODINÂMICA DA REDUÇÃO

- A possibilidade da utilização de um redutor dependerá sempre das condições termodinâmicas do sistema $\longrightarrow$ estabilidade relativa dos óxidos

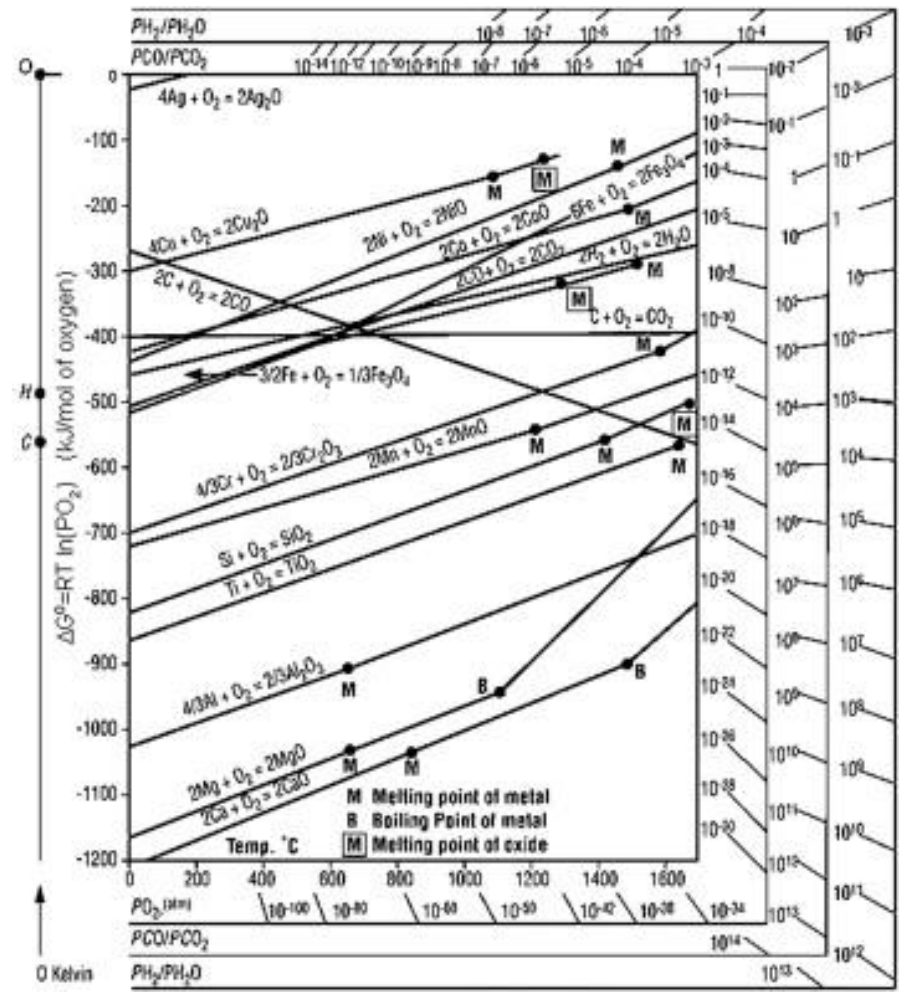


Se $\Delta G_1 > \Delta G_2 \Rightarrow R_{x'}O_{y'}$ é mais estável que M_xO_y e R é redutor de M_xO_y

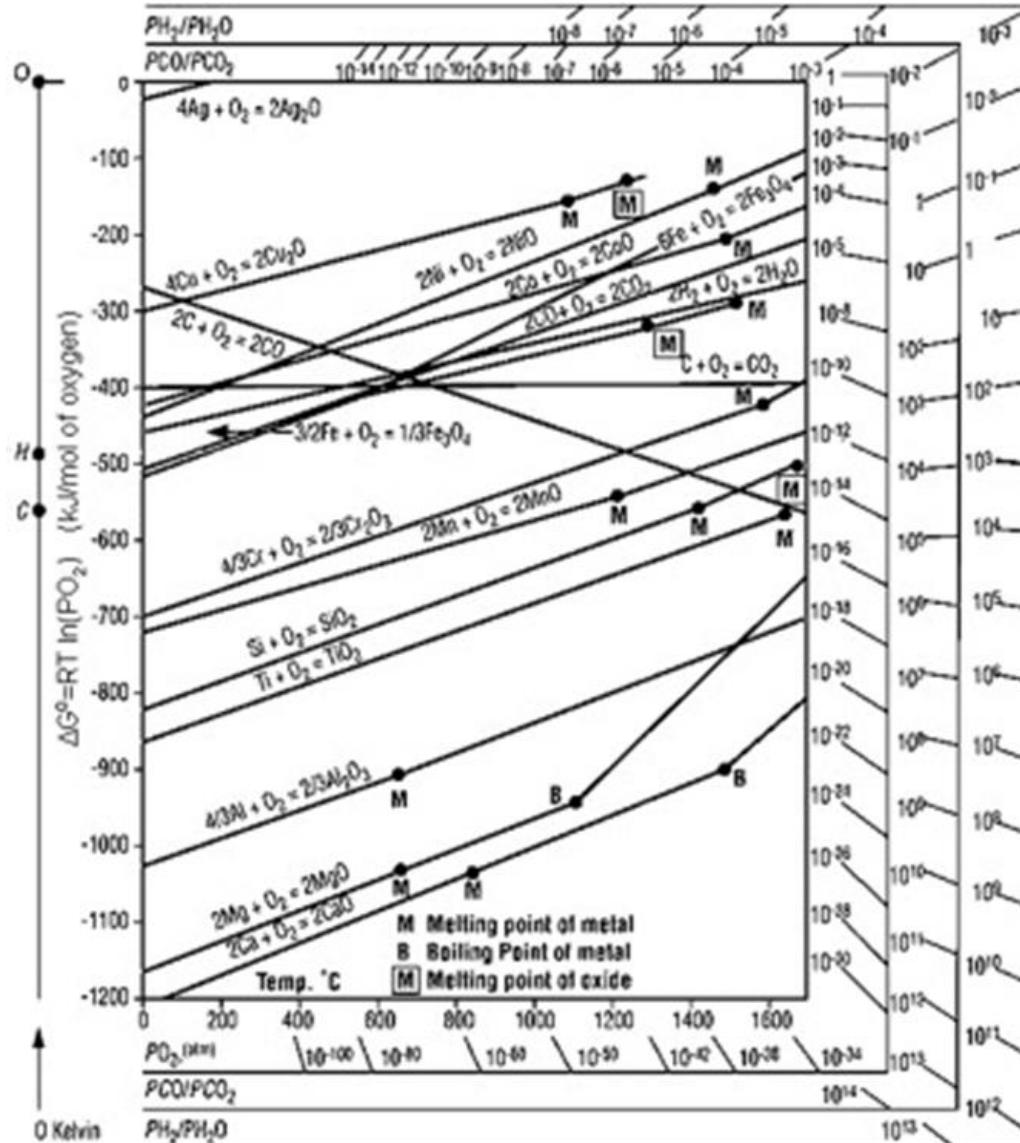
TERMODINÂMICA DA REDUÇÃO

- Graficamente: Diagrama de Ellingham

- Equilíbrio
- $p_{O_2} = 1 \text{ atm}$



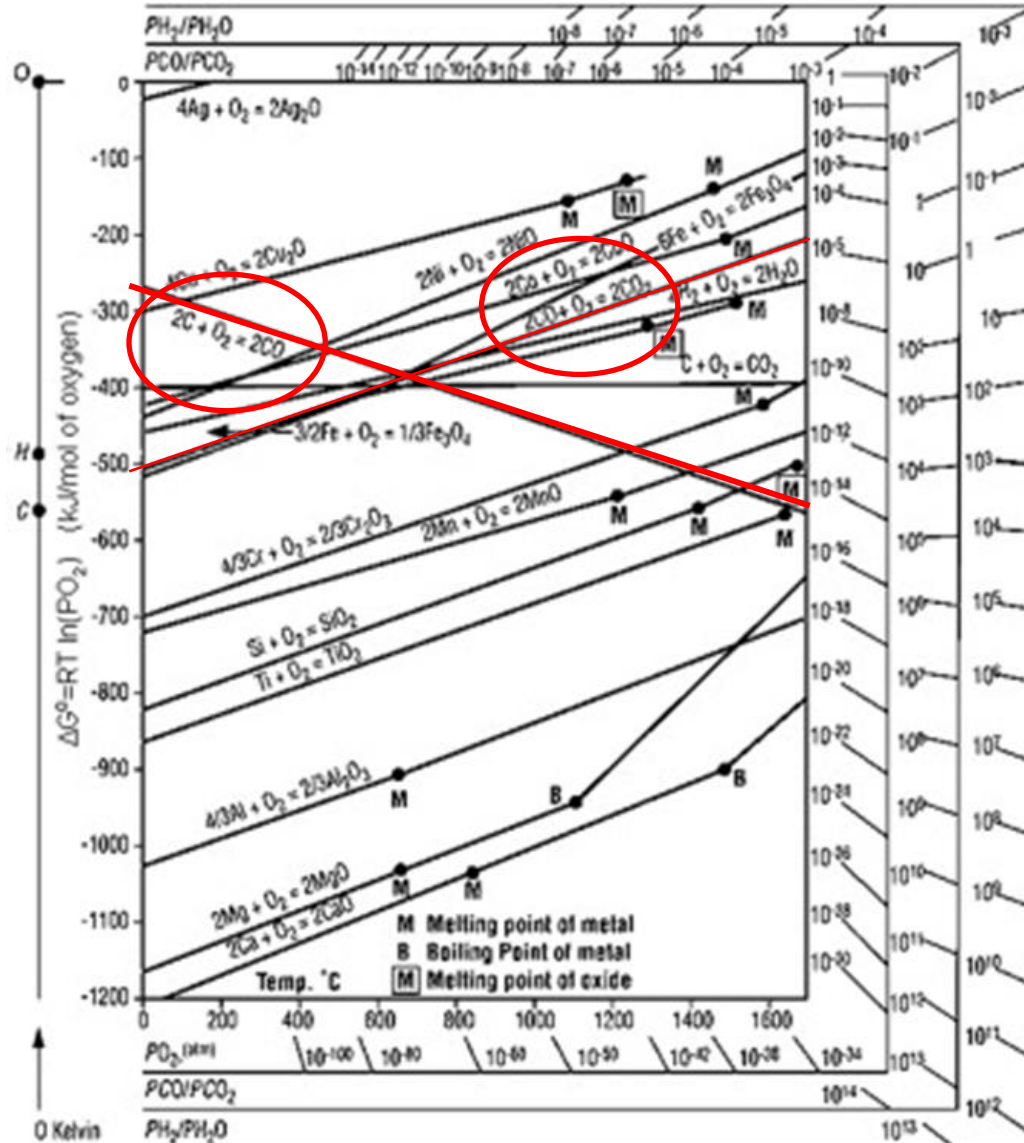
TERMODINÂMICA DA REDUÇÃO



Estabilidade

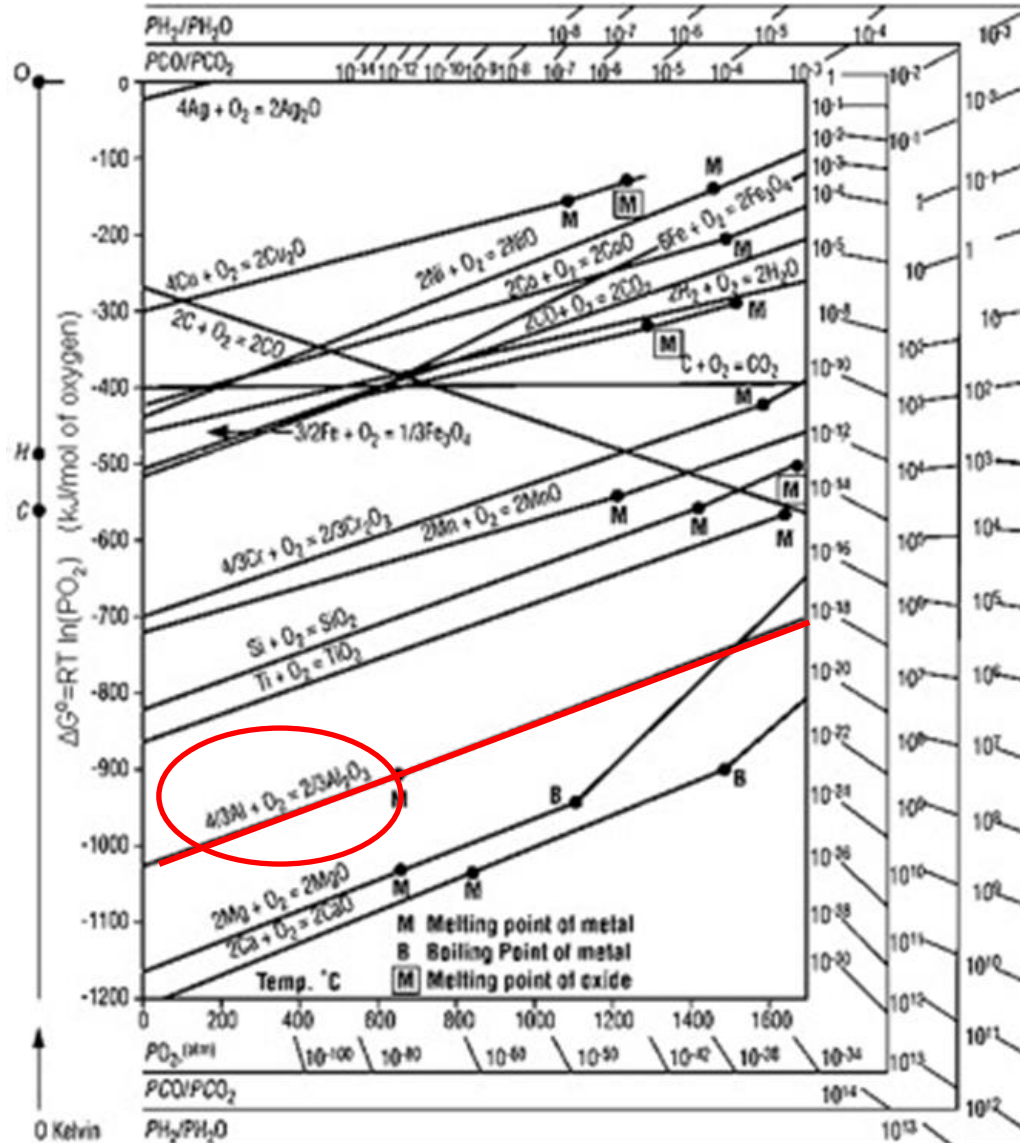


TERMODINÂMICA DA REDUÇÃO



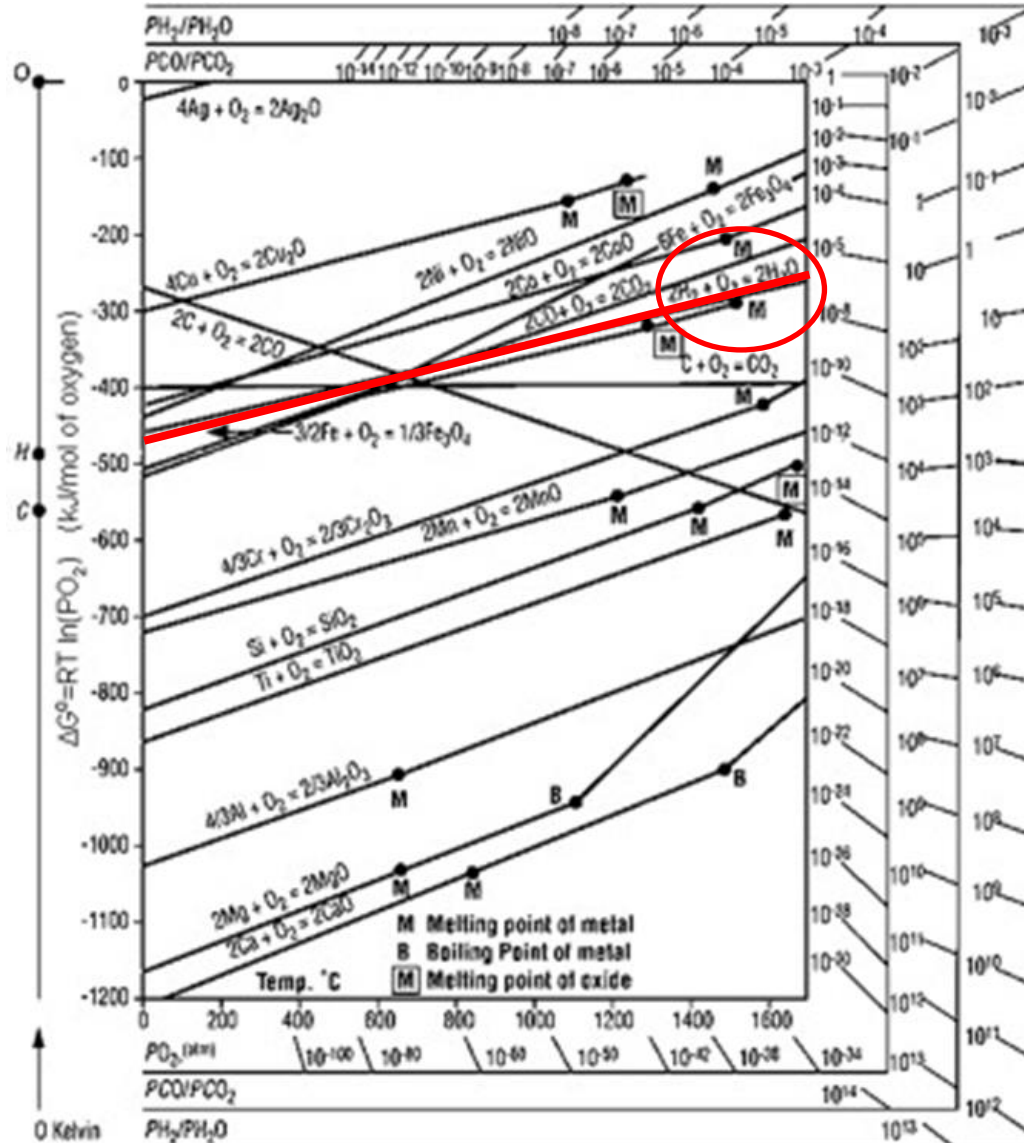
Estabilidade

TERMODINÂMICA DA REDUÇÃO



Estabilidade

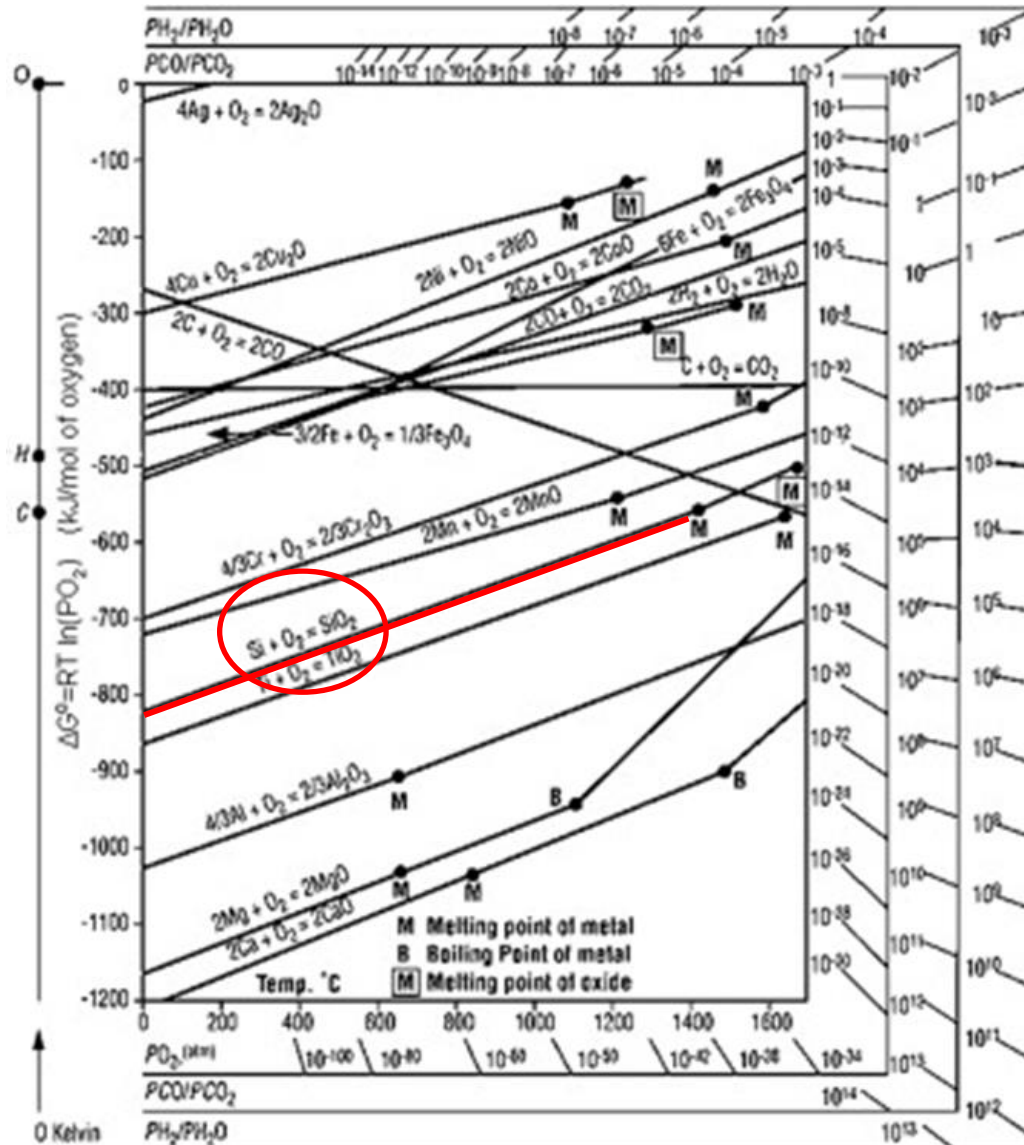
TERMODINÂMICA DA REDUÇÃO



Estabilidade



TERMODINÂMICA DA REDUÇÃO



Estabilidade

TERMODINÂMICA DA REDUÇÃO

- Outras condições:

$$x'/y'R + 1/yM_xO_y = x/yM + 1/yR_{x'}O_{y'}$$

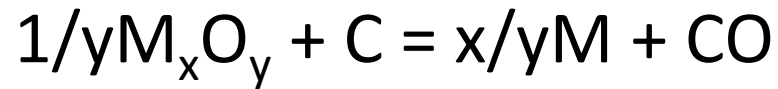
- A redução é facilitada:
 - Se as atividades de M e de $R_{x'}O_{y'}$ forem inferiores a 1
 - Com a diminuição da pressão se M e $R_{x'}O_{y'}$ forem gasosos
- A redução é dificultada:
 - Se as atividades de R e M_xO_y forem inferiores a 1

REDUÇÃO COM C

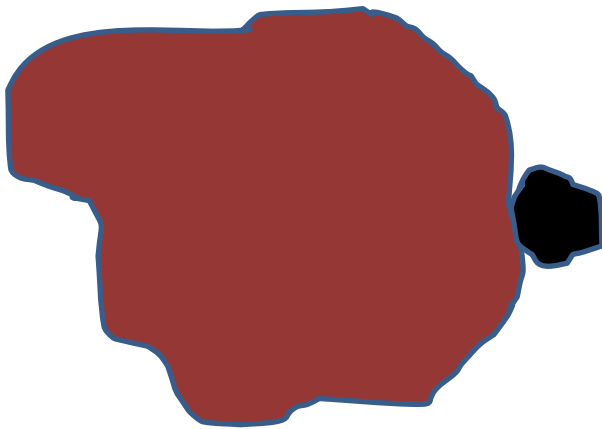
- Definição: redução de óxidos por um produto carbonoso – redução carbotérmica
 - Carvão
 - Coque
 - Grafite
 - Gás natural
 - Resíduos (pneus, madeira,...)
 - outros

REDUÇÃO COM C

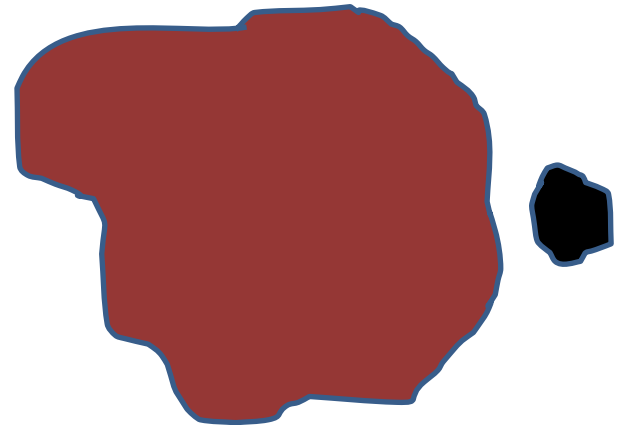
- Carbono



- É considerado o redutor universal ($\Delta S > 0$)
- Perde o contato físico: reação cessaria

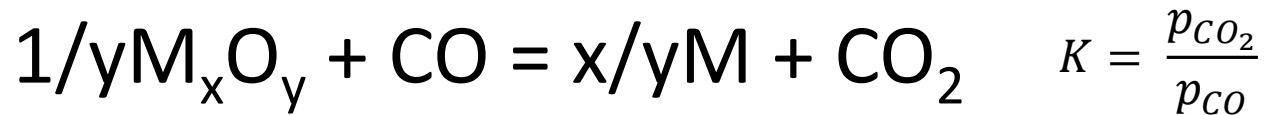


t=0



t>0

REDUÇÃO COM C



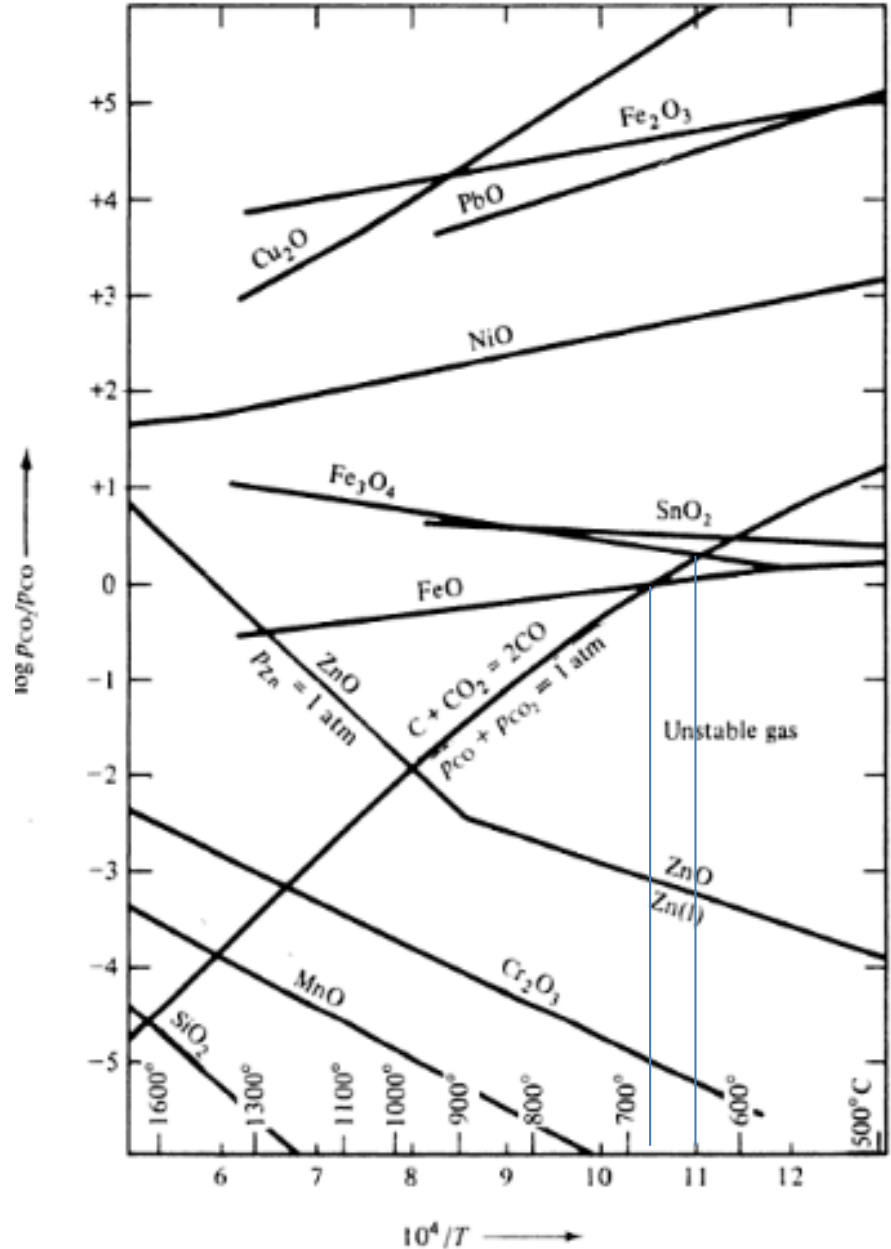
- Para que a reação de redução tenha continuidade: reação de Boudouard deve ocorrer:



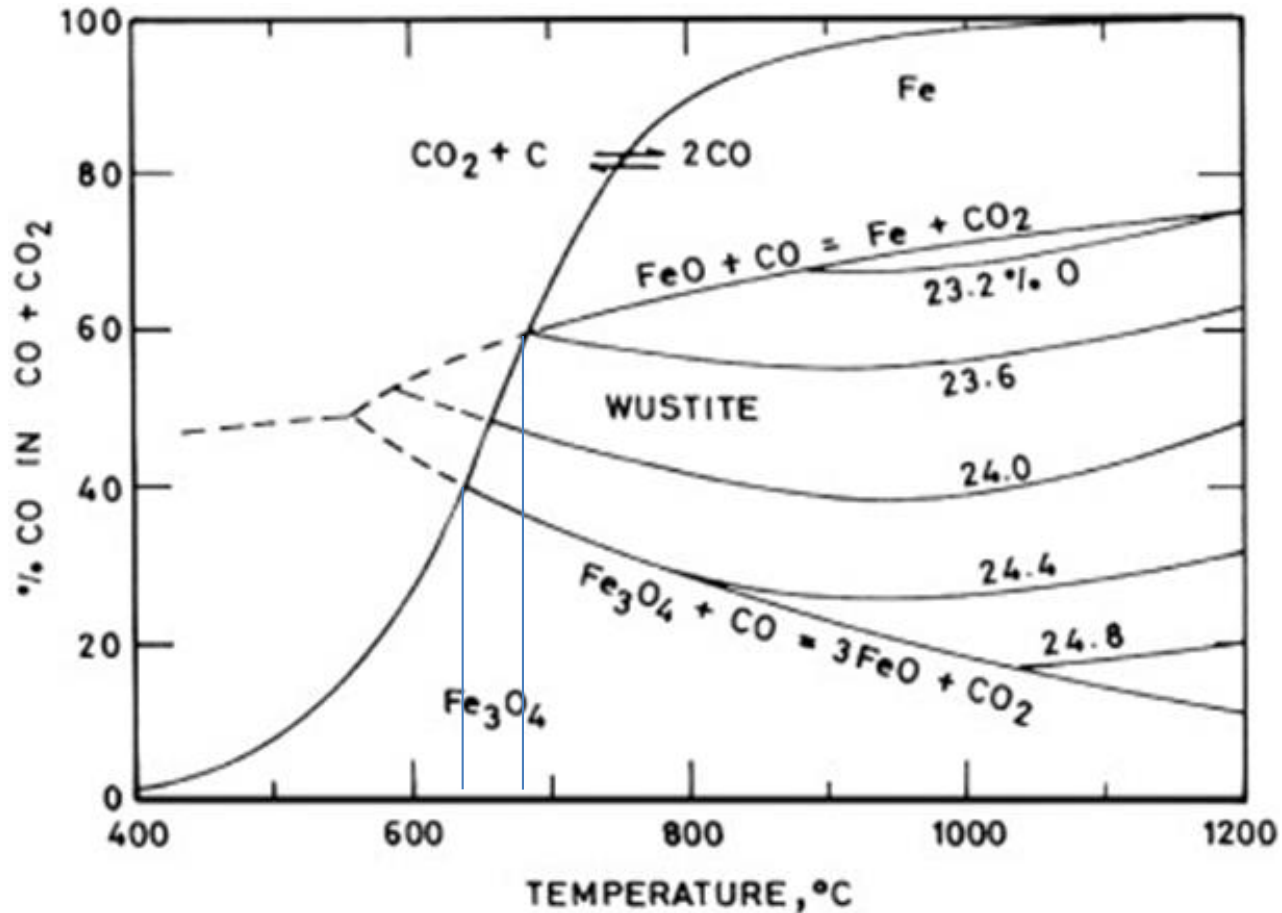
- A continuidade da redução dependerá da relação CO/CO_2 da reação de Boudouard
- Conclusão: reação prossegue através de intermediários gasosos

REDUÇÃO COM C

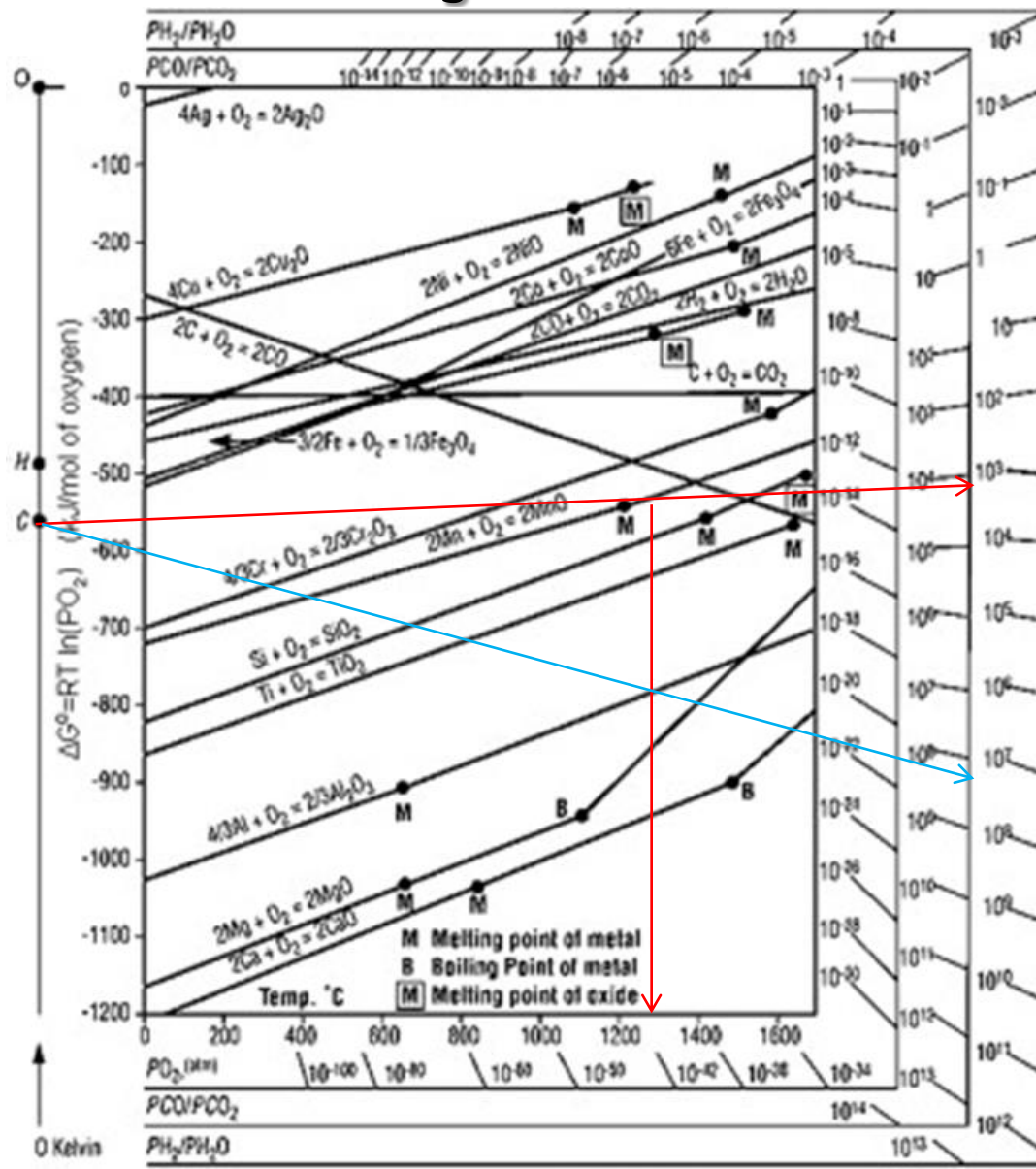
- Quanto menos estável o óxido
 - Menor a temperatura
 - Menor a relação CO/CO_2
- A diluição no minério afeta as condições de redução



REDUÇÃO COM C

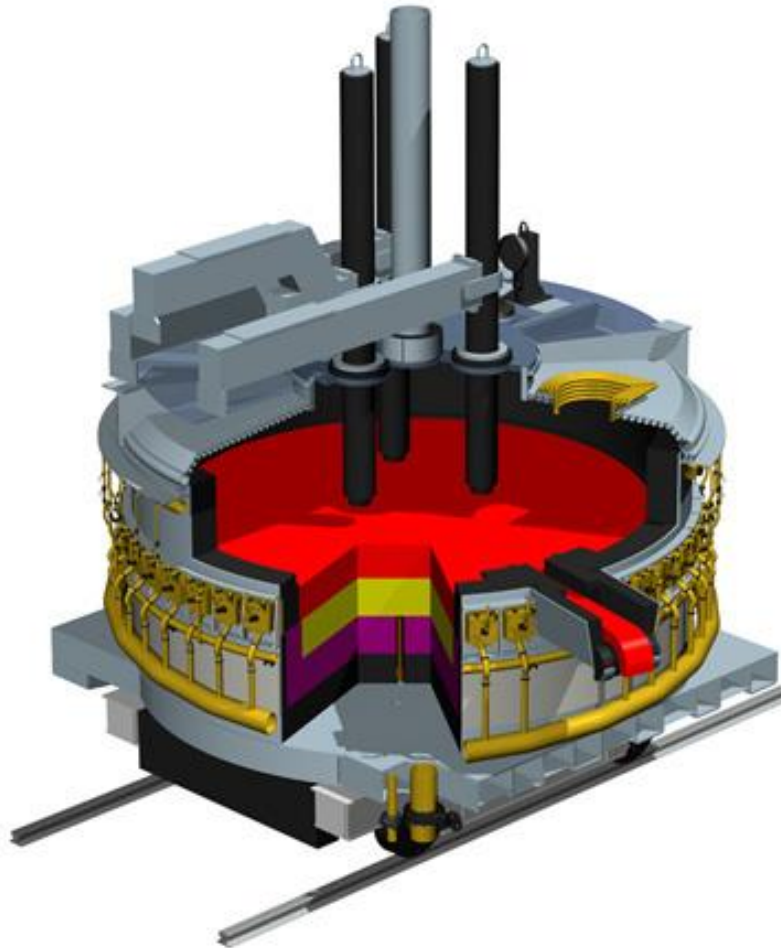


REDUÇÃO COM C



FORNO ELÉTRICO DE REDUÇÃO

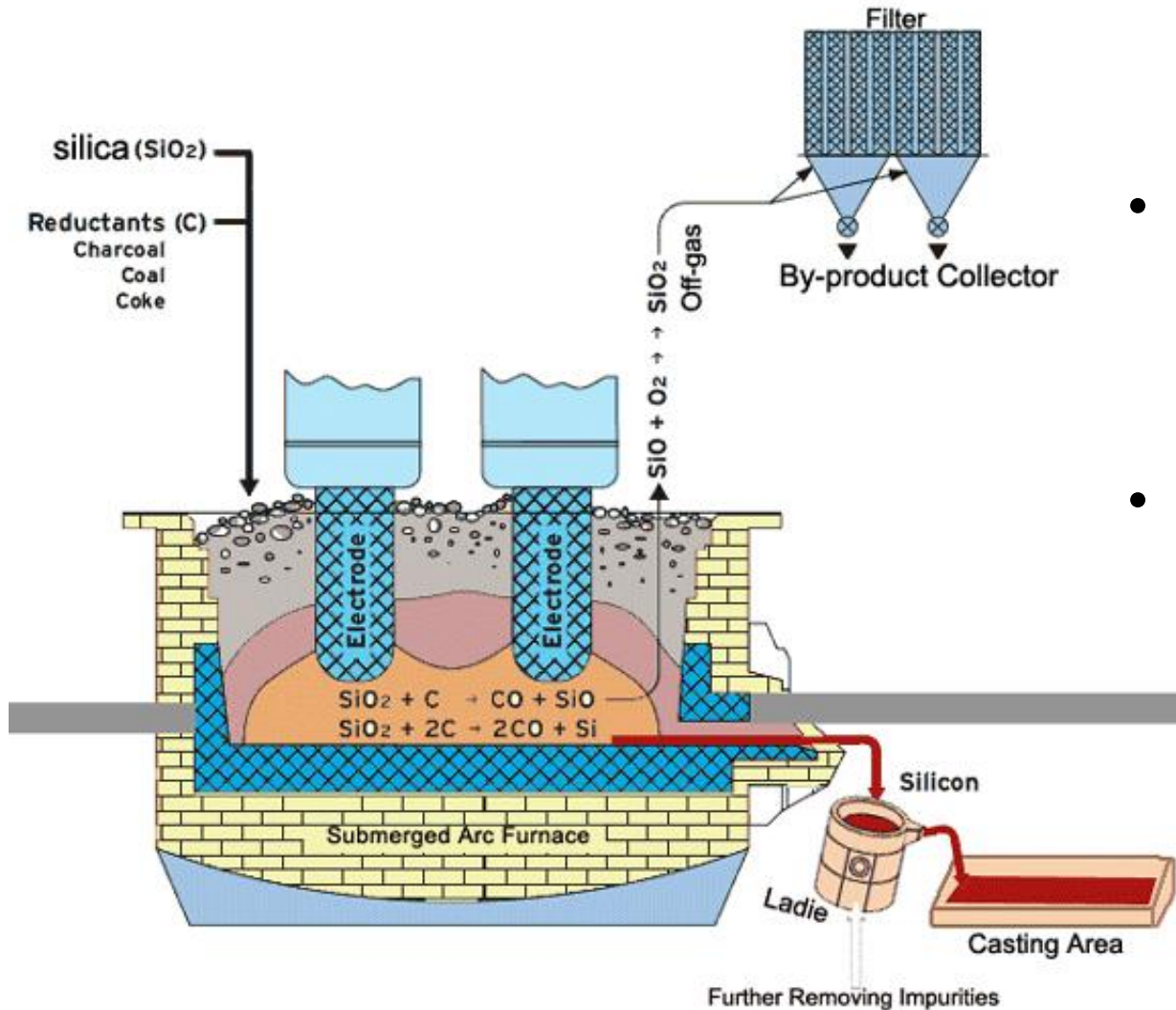
- Muito utilizado para a produção de ferro-ligas
 - FeMn
 - FeCr
 - FeSi
 - Si



FORNO ELÉTRICO DE REDUÇÃO

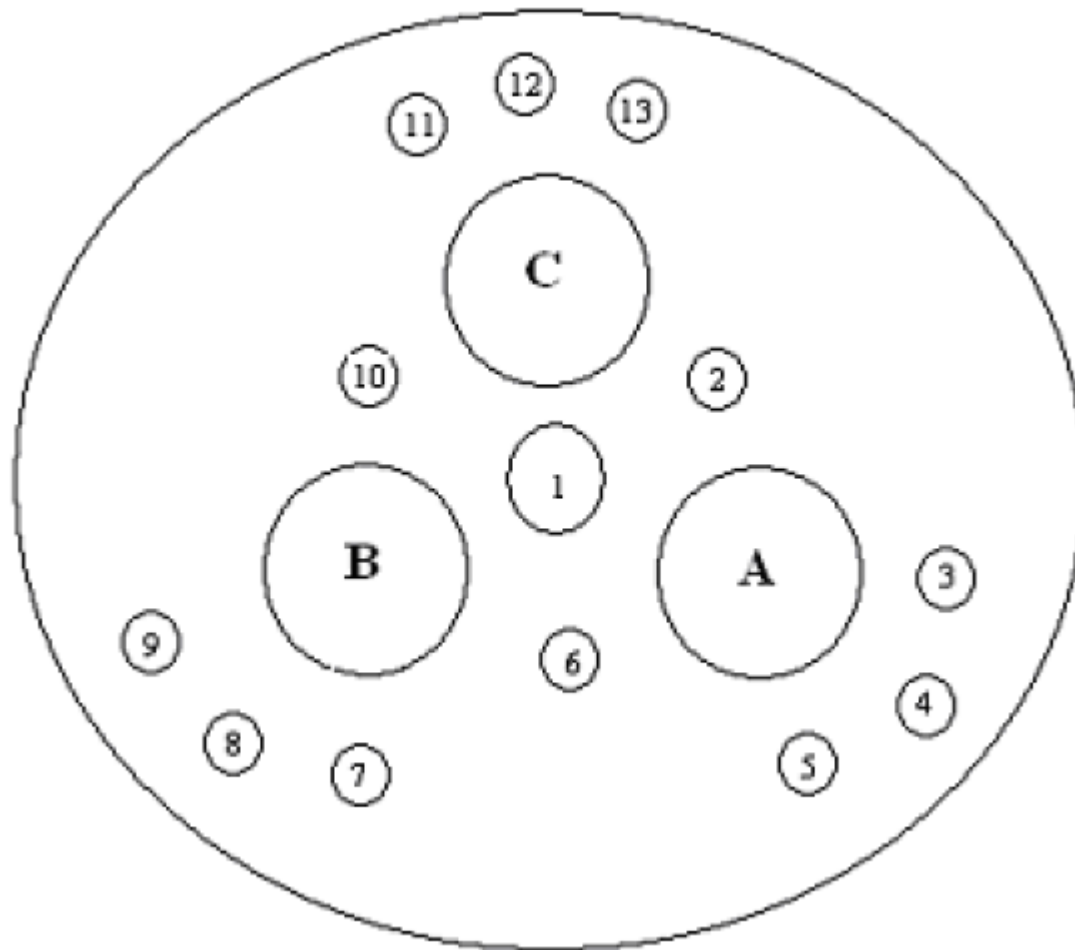


FORNO ELÉTRICO DE REDUÇÃO



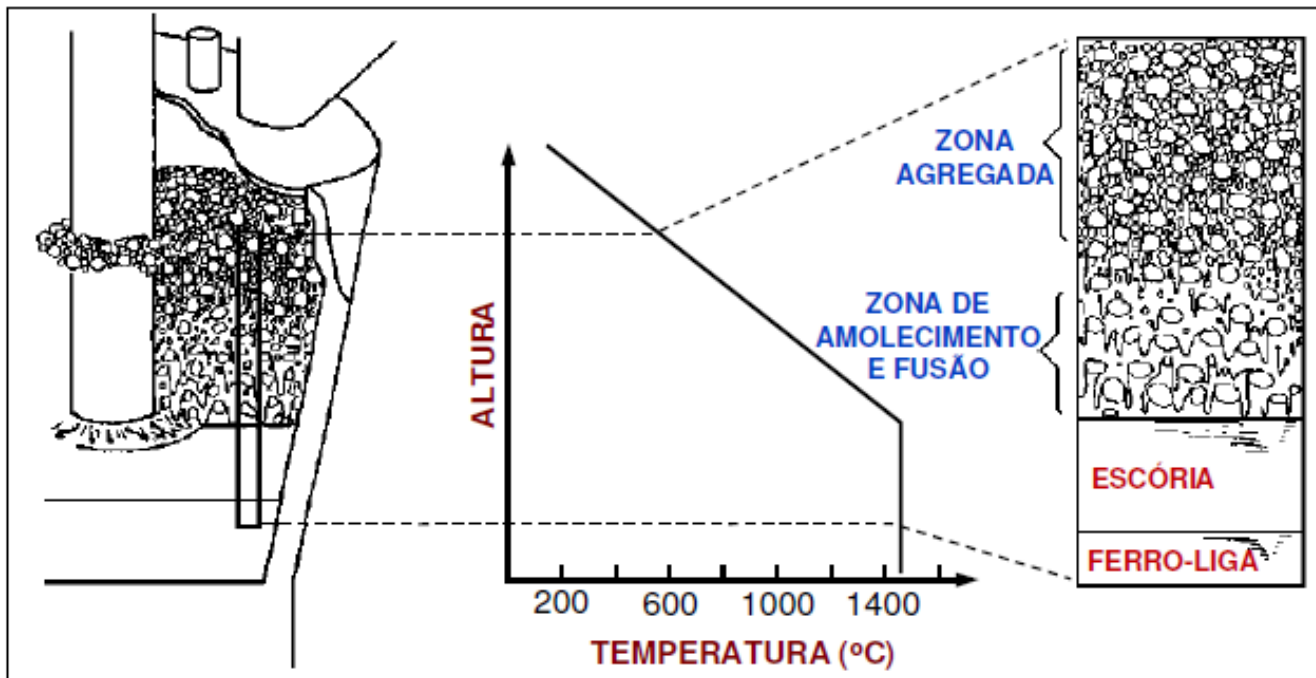
- Devido à alta resistividade da carga o arco é submerso
- Fornos de baixa tensão

FORNO ELÉTRICO DE REDUÇÃO



- Pontos de alimentação

FORNO ELÉTRICO DE REDUÇÃO



Perfil de
temperatura

PRODUÇÃO DE AÇO

FEA

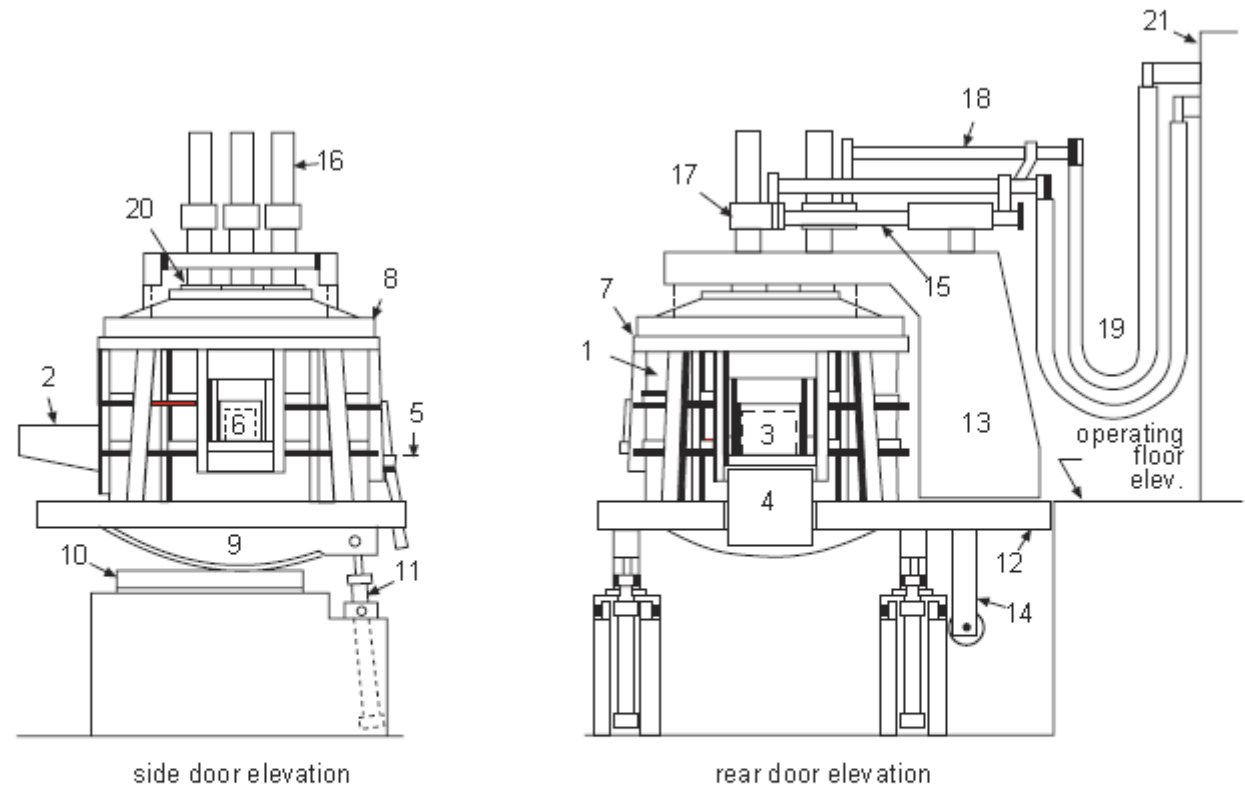
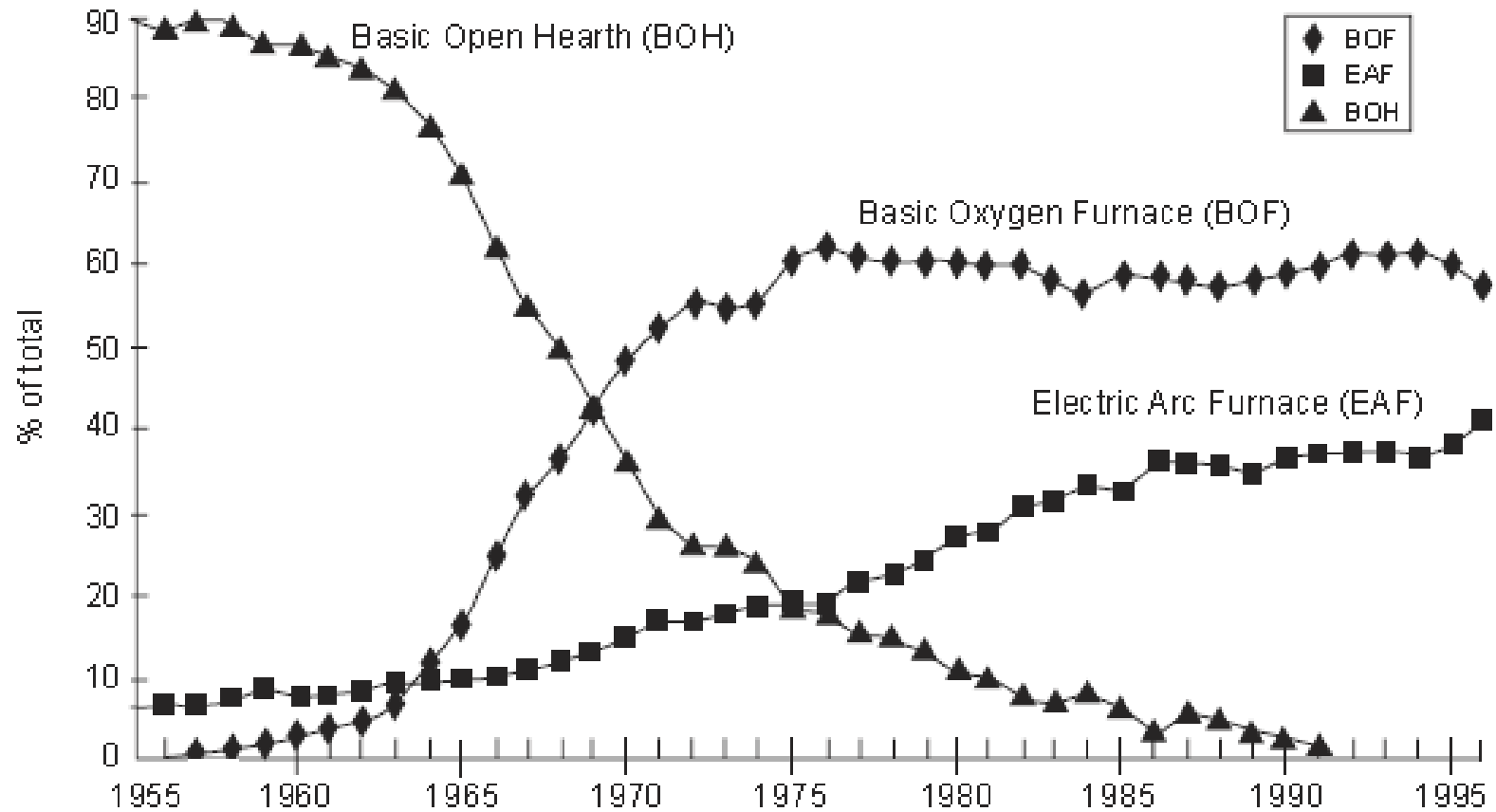


Fig. 1.5 Schematic of a typical AC electric arc furnace. Elements are identified as follows:

- | | | |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 1. shell | 8. roof ring | 15. electrode mast arm |
| 2. pouring spout | 9. rocker | 16. electrode |
| 3. rear door | 10. rocker rail | 17. electrode holder |
| 4. slag apron | 11. tilt cylinder | 18. bus tube |
| 5. sill line | 12. main (tilting) platform | 19. secondary power cables |
| 6. side door | 13. roof removal jib structure | 20. electrode gland |
| 7. bezel ring | 14. electrode mast stem | 21. electrical equipment vault |

PRODUÇÃO DE AÇO



PRODUÇÃO DE AÇO



Carregamento

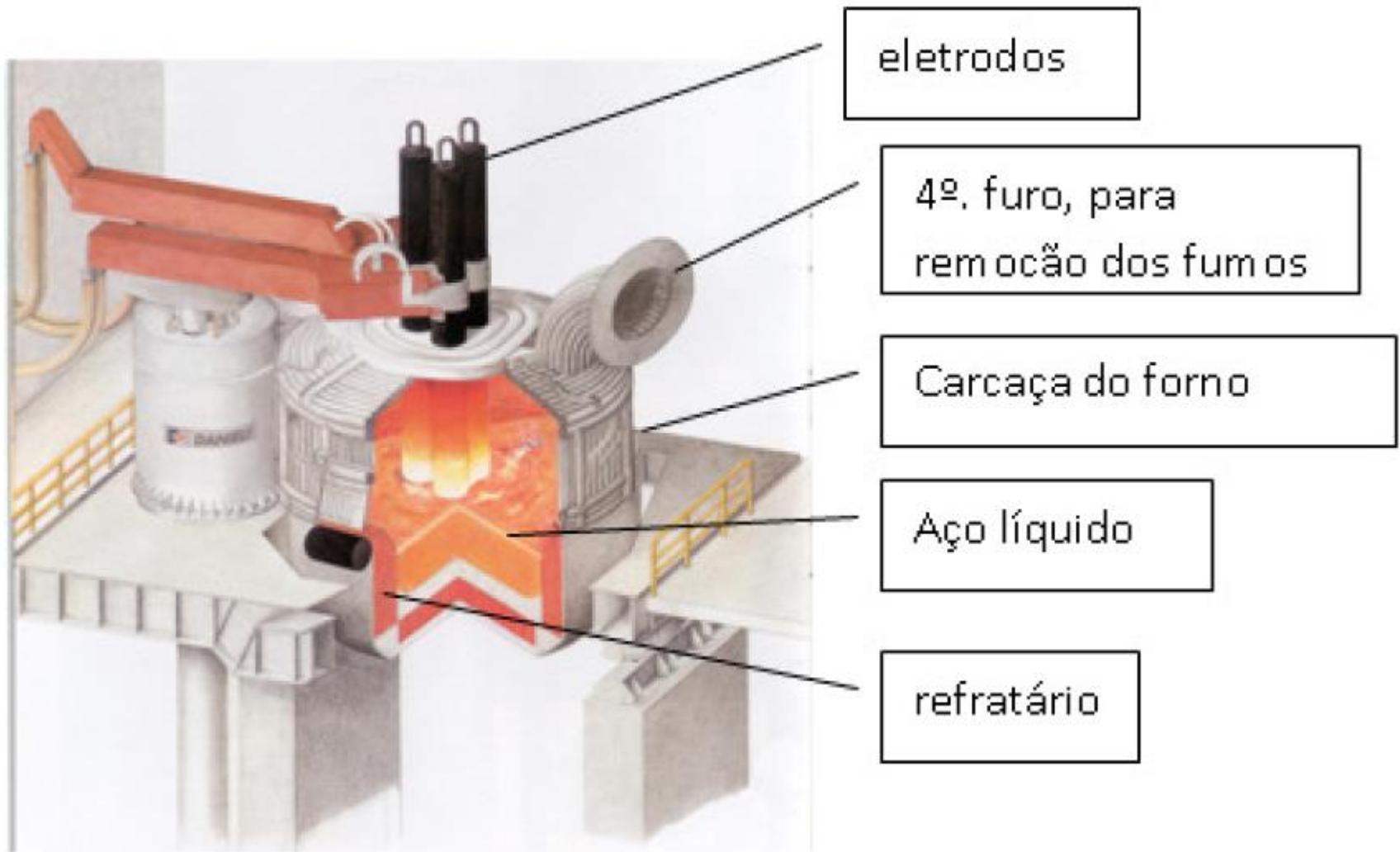
- Baixa densidade aparente da sucata: é necessário carregar de 2 a 4 “cestas” de sucata para atender a necessidade total da carga do forno.
- Quanto maior o número de cestas, maiores são o tempo de fusão e o consumo específico de energia
- Por esta razão, a geometria da sucata é também um dos fatores determinantes do seu preço.

PRODUÇÃO DE AÇO

Carga

- a) metálicos: sucata de aço, gusa sólido, gusa líquido, HBI, ferro esponja, carbetto de ferro, etc.
- b) escorificantes: cal calcítica, cal dolomítica, calcário, calcário dolomítico.
- c) fundentes: fluorita, sodalita, etc.
- d) ferroligas: FeMnAC, FeMnMC, FeSiMn, FeSi, FeCrAC, FeCrBC, Alumínio, FeNi, FeNb, FeB, FeW, FeMo, FeV, Co, Ni, FeTi, CaSi, SiC, etc.
- e) carburantes: grafite, coque mineral, coque de petróleo, etc.

PRODUÇÃO DE AÇO



PÓ DE ACIARIA

- Material particulado coletado pelo exaustor é retido normalmente num filtro manga
 - Poeiras: FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , SiO_2 , Al_2O_3
 - Gases oxidados: Zn, Sn, Pb,...
- O retorno ao FEA afeta grandemente sua marcha
- Não é possível o descarte pelos teores de metais pesados
- Solução: processamento em forno Waelz com o reaproveitamento do Zn e a neutralização do pó

PÓ DE ACIARIA

Fe ₂ O ₃	50,2	42,6	69,7
SiO ₂	2,40	0,11	1,42
Al ₂ O ₃	0,11	0,05	0,06
CaO	1,42	0,90	2,11
MgO	1,16	1,03	0,86
MnO	3,18	2,38	4,57
Cr ₂ O ₃	0,58	0,43	0,49
ZnO	24,6	33,7	13,5
PbO	3,25	2,75	1,01
Na ₂ O	1,17	1,28	0,61
K ₂ O	1,71	2,38	0,88
C	1,67	1,09	2,30
S	0,46	0,36	0,43
P.F.	8,75	9,77	2,42

Pó BR

PÓ DE ACIARIA

	Dust from carbon/low alloyed steel production [weight-%]			Dust from high alloyed/ stainless steel production [weight-%]		
Fe _{tot}	25	-	50	30	-	40
SiO ₂	1.5	-	5	7	-	10
CaO	4	-	15	5	-	17
Al ₂ O ₃	0.3	-	0.7	1	-	4
MgO	1	-	5	2	-	5
P ₂ O ₅	0.2	-	0.6	0.01	-	0.1
MnO	2.5	-	5.5	3	-	6
Cr ₂ O ₃	0.2	-	1	10	-	20
Na ₂ O	1.5	-	1.9	n/a	-	
K ₂ O	1.2	-	1.5	n/a	-	
Zn	10	-	35	2	-	10
Pb	0.8	-	6	0.5	-	2
Cd	0.02	-	0.1	0.01	-	0.08
Cu	0.15	-	0.4	0.01	-	0.3
Ni	0.02	-	0.04	2	-	4
V	0.02	-	0.05	0.1	-	0.3
Co	0.001	-	0.002	n/a	-	
As	0.003	-	0.08	n/a	-	
Hg	0.0001	-	0.001	n/a	-	
Cl	1.5	-	4	n/a	-	
F	0.02	-	0.9	0.01	-	0.05
S	0.5	-	1	0.1	-	0.3
C	0.5	-	2	0.5	-	1

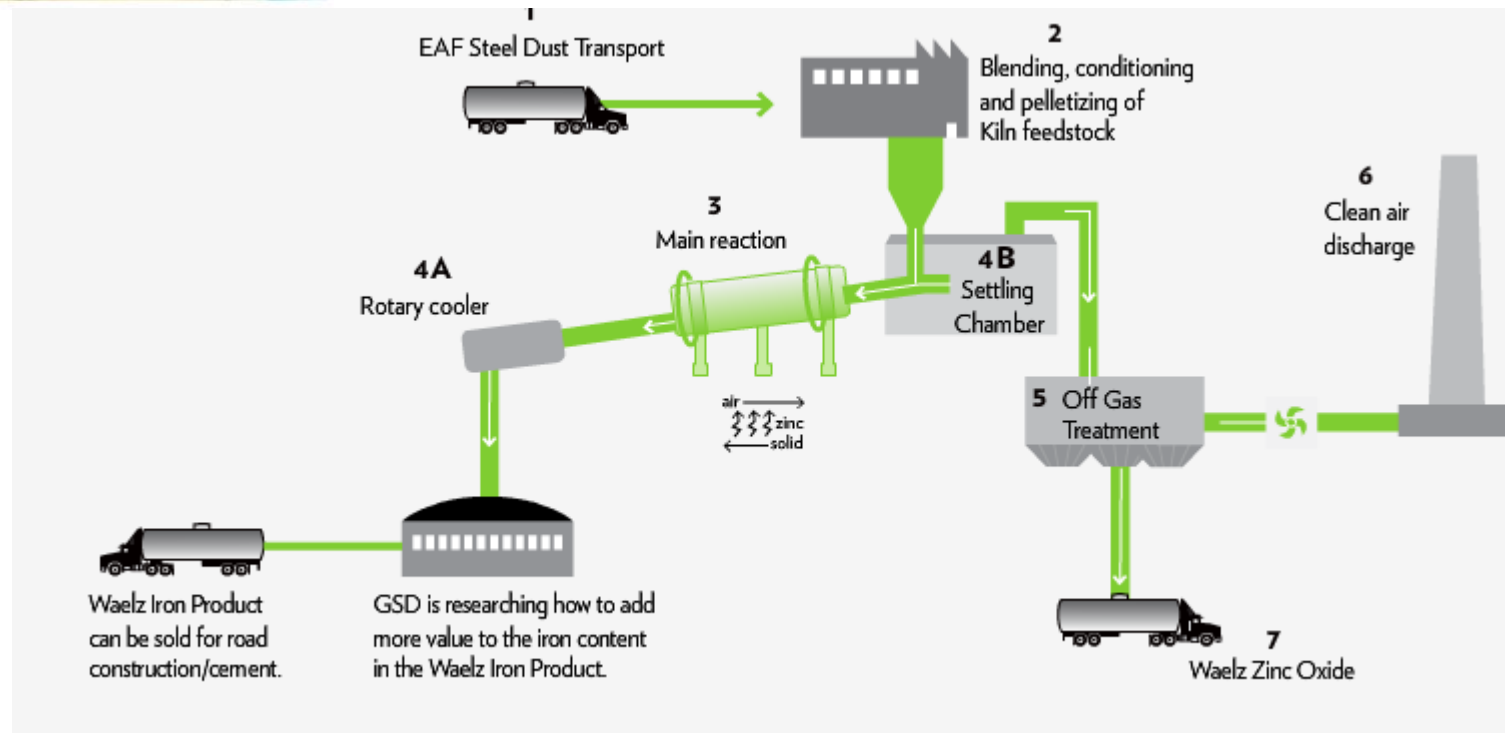
Pó europeu

[based on I&S BREF, 2001; EUROFER EAF, 1997; Hoffmann, 1997; Strohmeier, 1996]

PÓ DE ACIARIA

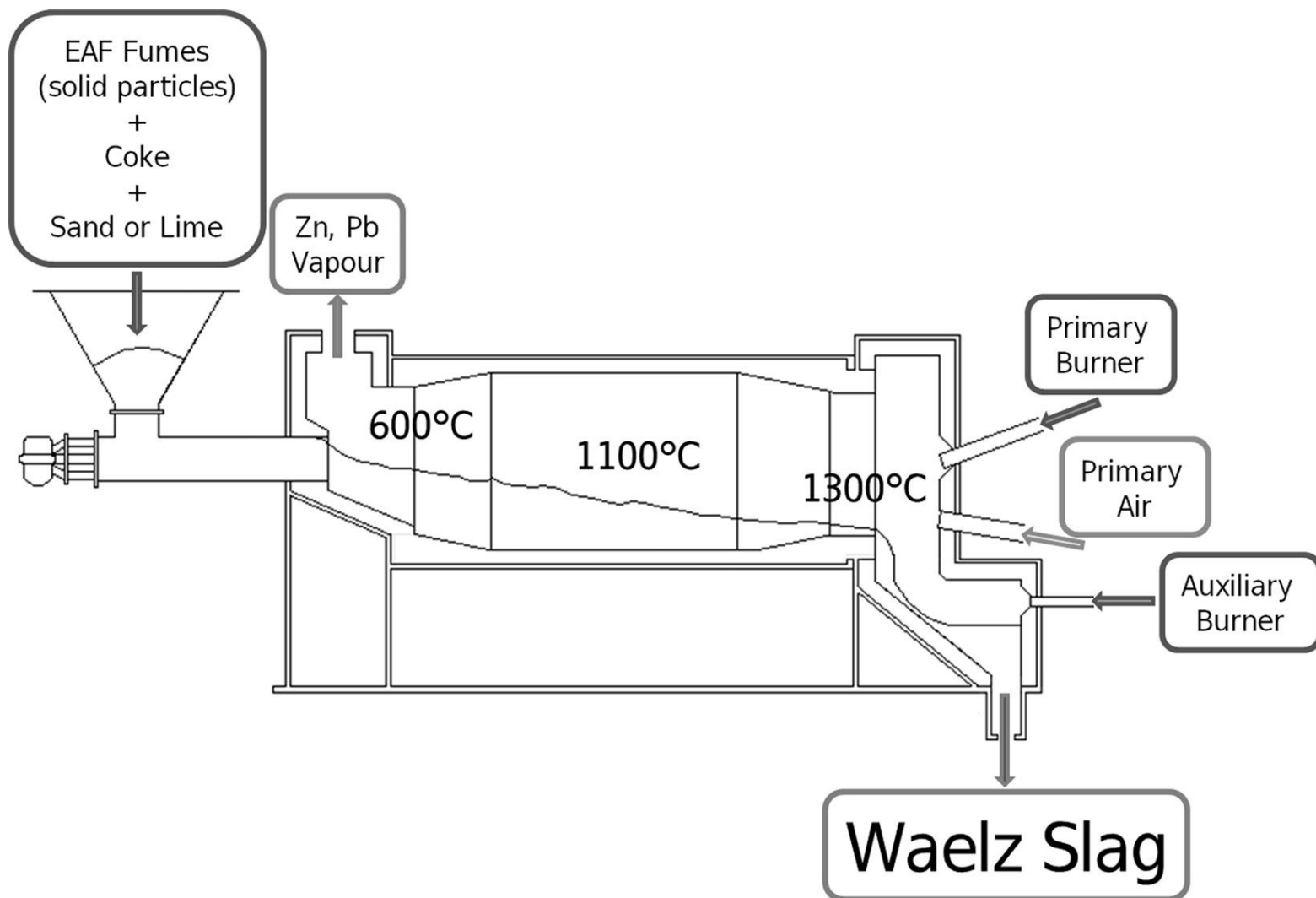


- Carga:
 - Areia: 20%; 0,15-2 mm
 - Coque: 30%; 1-7 mm
 - PAE: 50%; 2mm



FORNO WAEELZ





- 
- **61.4% zinc (min: 56 / max 66)**
 - 7.2% lead
 - 4.2% Chlorine
 - 2.3% Iron
 - Traces of Cd, F, Na, K, Si and Ca

~83%ZnO

PÓ DE ACIARIA

State(s)	Total amount of dust [t/a]	Amount of dust processed in the Waelz process [t/a]	Percentage	Fate of the residual amount of dust
Austria and Switzerland	30,000	25,000	83%	landfill
Benelux	65,000	55,000	85%	landfill
Denmark	12,000	-	100%	-
France	90,000	30,000	33%	landfill
Germany	150,000	105,000	70%	landfill, filling of mines
Italy	180,000	80,000	44%	landfill and recycling in a plant in Enirisorse
Scandinavia	30,000	10,000	33%	landfill and storage for recycling in the future
Spain and Portugal	120,000	25,000	20%	landfill
UK	65,000	0	0%	landfill
Total	730,000	330,000	45%	