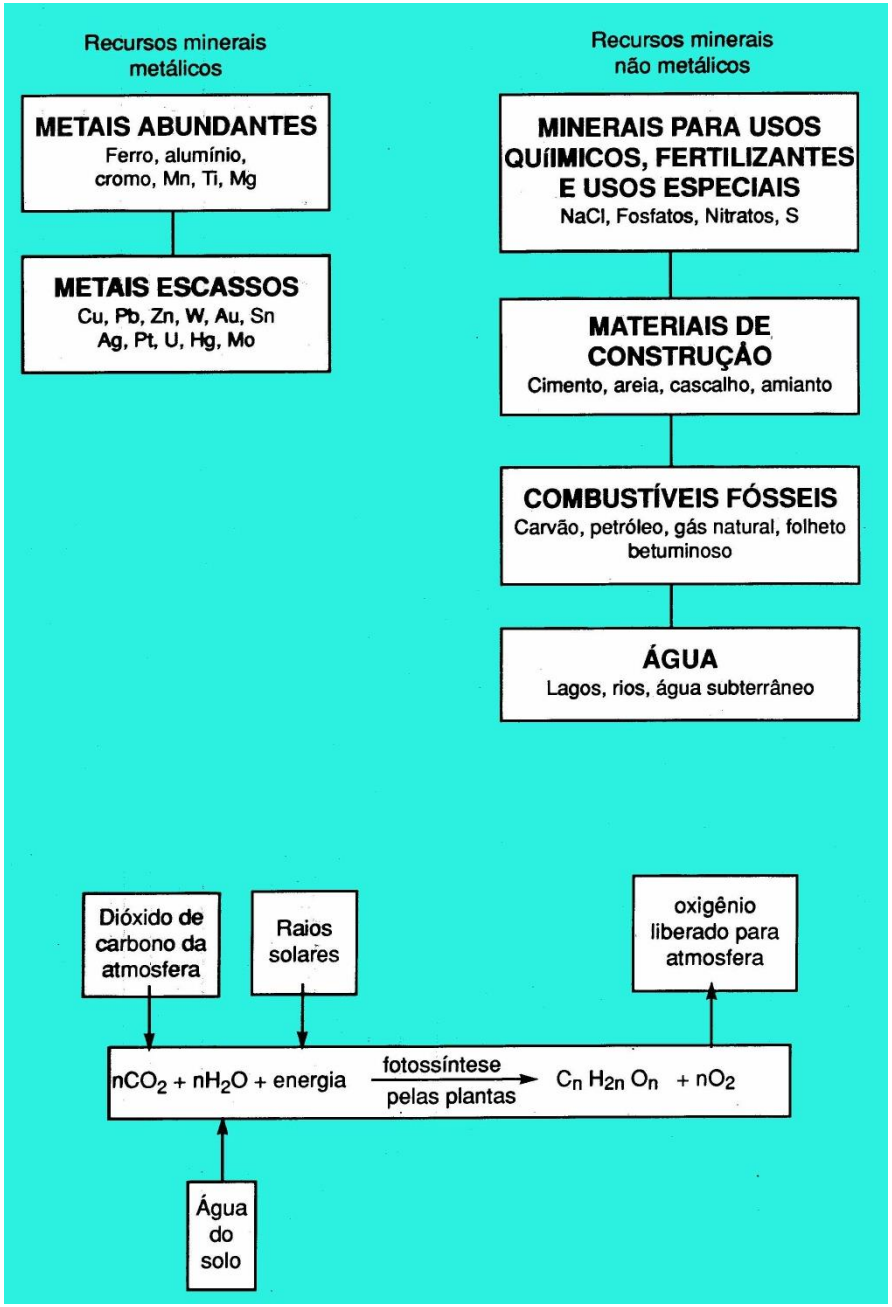
PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE FERRO E AÇO

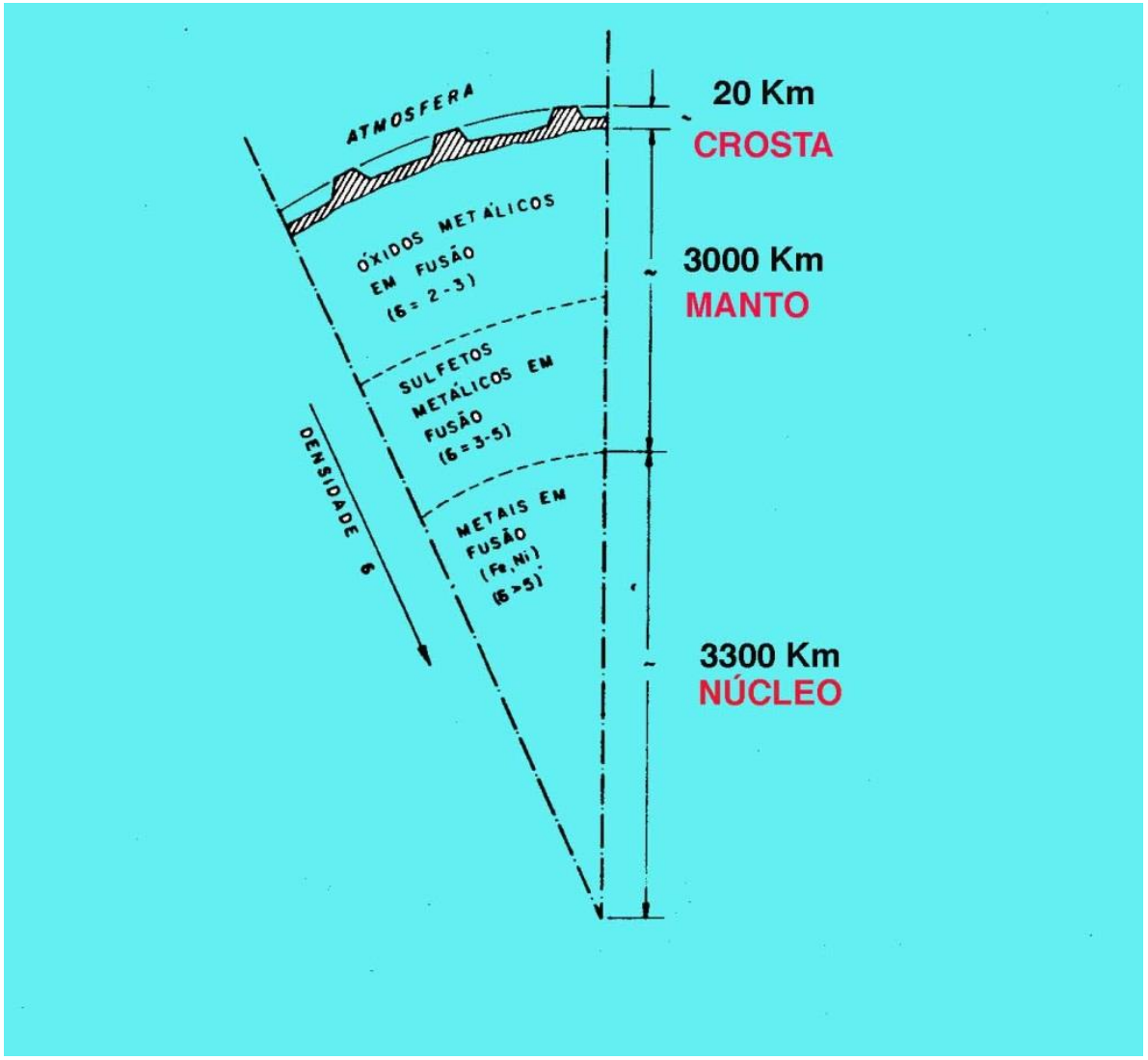
Materiais Metálicos

Profa.Dra. Lauralice Canale

Introdução


Recursos minerais metálicos
METAIS ABUNDANTES
Ferro, alumínio, cromo, Mn, Ti, Mg
METAIS ESCASSOS
Cu, Pb, Zn, W, Au, Sn Ag, Pt, U, Hg, Mo
Recursos minerais não metálicos
MINERAIS PARA USOS QUíIMICOS, FERTILIZANTES E USOS ESPECIAIS
NaCl, Fosfatos, Nitratos, S
MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO
Cimento, areia, cascalho, amianto
COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS
Carvão, petróleo, gás natural, folheto betuminoso
ÁGUA
Lagos, rios, água subterrâneo
Dióxido de carbono da atmosfera
Raios solares
oxigênio liberado para atmosfera
$nCO_2 + nH_2O$ + energia
fotossíntese
pelas plantas
$C_n H_{2n} O_n + nO_2$
Água do solo

Introdução


ATMOSFERA
ÓXIDOS METÁLICOS EM FUSÃO (δ = 2-3)
SULFETOS METÁLICOS EM FUSÃO (δ = 3-5)
METAIS EM FUSÃO (Fe, Ni) (δ > 5)
DENSIDADE δ
20 Km
CROSTA
3000 Km
MANTO
3300 Km
NÚCLEO

Recursos - Minerais

Abundância Relativa	*Elemento*	*Símbolo*	*Ocorrência (% peso)*	
1	Oxigênio	O	47	
2	Silício	Si	27	74%
3	ALUMÍNIO	Al	8	
4	FERRO	Fe	5	
5	Cálcio	Ca	4	
6	Sódio	Na	3	
7	Potássio	K	2,5	
8	MAGNÉSIO	Mg	2,0	
9	TITÂNIO	Ti	0,5	99%
10	Hidrogênio	H	0,15	
11	Fósforo	P	0,10	
12	MANGANÊS	Mn	0,09	
13	Fluor	F	0,06	
14	Bário	Ba	0,04	
15	Estrôncio	Sr	0,03	
16	Enxofre	S	0,025	
17	Carbono	C	0,020	
18	ZIRCÔNIO	Zr	0,015	
19	VANÁDIO	V	0,014	
20	Cloro	Cl	0,013	
21	CROMO	Cr	0,010	
22	Rubídio	Rb	0,009	
23	NÍQUEL	Ni	0,008	
24	ZINCO	Zn	0,007	
25	Cério	Ce	0,006	
26	COBRE	Cu	0,005	
27	Ítrio	Y	0,004	
28	Lantânio	Lt	0,003	
29	Neodímio	Ne	0,0028	
30	COBALTO	Co	0,0025	
31	Escândio	Sc	0,0023	
32	Lítio	Li	0,0022	
33	NIÓBIO	Nb	0,0021	
34	Nitrogênio	Ne	0,0020	
35	Gálio	Ga	0,0015	
36	CHUMBO	Pb	0,0013	
37	Rádio	Ra	0,0012	
38	Boro	B	0,0010	
39	Criptônio	Kp	0,0009	
40	Praseodímio	Pr	0,0008	

Recursos - Minerais

Metais normalmente extraídos de minérios à base de óxidos

Metal	Mineral	Composto
Berílio	Beril	$BeO.Al_2O_3.H_2O$
Cromo	Cromita	$Cr_2O_3.FeO$
Estanho	Cassiterita	SnO_2
Ferro	Hematita (vermelha)	Fe_2O_3
	Limonita(marrom)	$Fe_2O_3.H_2O$
	Magnetita (negra)	Fe_3O_4
Manganês	Pirosulita	MnO_2
Nióbio	Pirocloro	Nb_2O_5
Nióbio e Tântalo	Tantalita	$Nb_2O_5. Ta_2O_5$
Silício	Sílica/Quartzo	SiO_2
Titânio	Rutilio	TiO_2
	Ilmenita	$TiO_2.FeO$
Tungstênio	Volfranita	$WO_3.FeO$
	Xelita	$WO_3.CaO$
Urânio	Pichiblenda	U_3O_8
Zircônio	Badelita	ZrO_2
	Zirconita	$ZrO_2.SiO_2$

Recursos - Minerais

Metais normalmente extraídos de minérios à base de SULFETOS

Metal	Mineral	Composto
Antimônio	Estibina	Sb_2S_3
Bismuto	Bismutita	Bi_2S_3
Cádmio	Greenoquita	CdS
Cobre	Calcocita	Cu_2S
	Calcopirita	CuS.FeS
Chumbo	Galena	PbS
Mercúrio	Cinabar	HgS
Molibdênio	Molibdenita	MoS_2
Níquel	Pirrotita	NiS.FeS
Prata	Argentita	Ag_2S
Vanádio	Patronita	V_2S_3
Zinco	Esfalerita	ZnS

Recursos - Minerais

Metais normalmente extraídos de minérios à base de outros sais (não sulfetos)

Metal	Mineral	Composto
Magnésio	Magnesita	$MgCO_3$
	Dolomita	$MgCO_3.CaCO_3$
Níquel	Garnierita	$NiSiO_3.MgSiO_3.H_2O$
Cobalto	Esmaltita	$CoAs_2$
	Cobalita	$CoAs_2.AsS$
Prata	Cerargita	$AgCl$

Recursos - Minerais

Principais minerais para extração de metais com metais associados

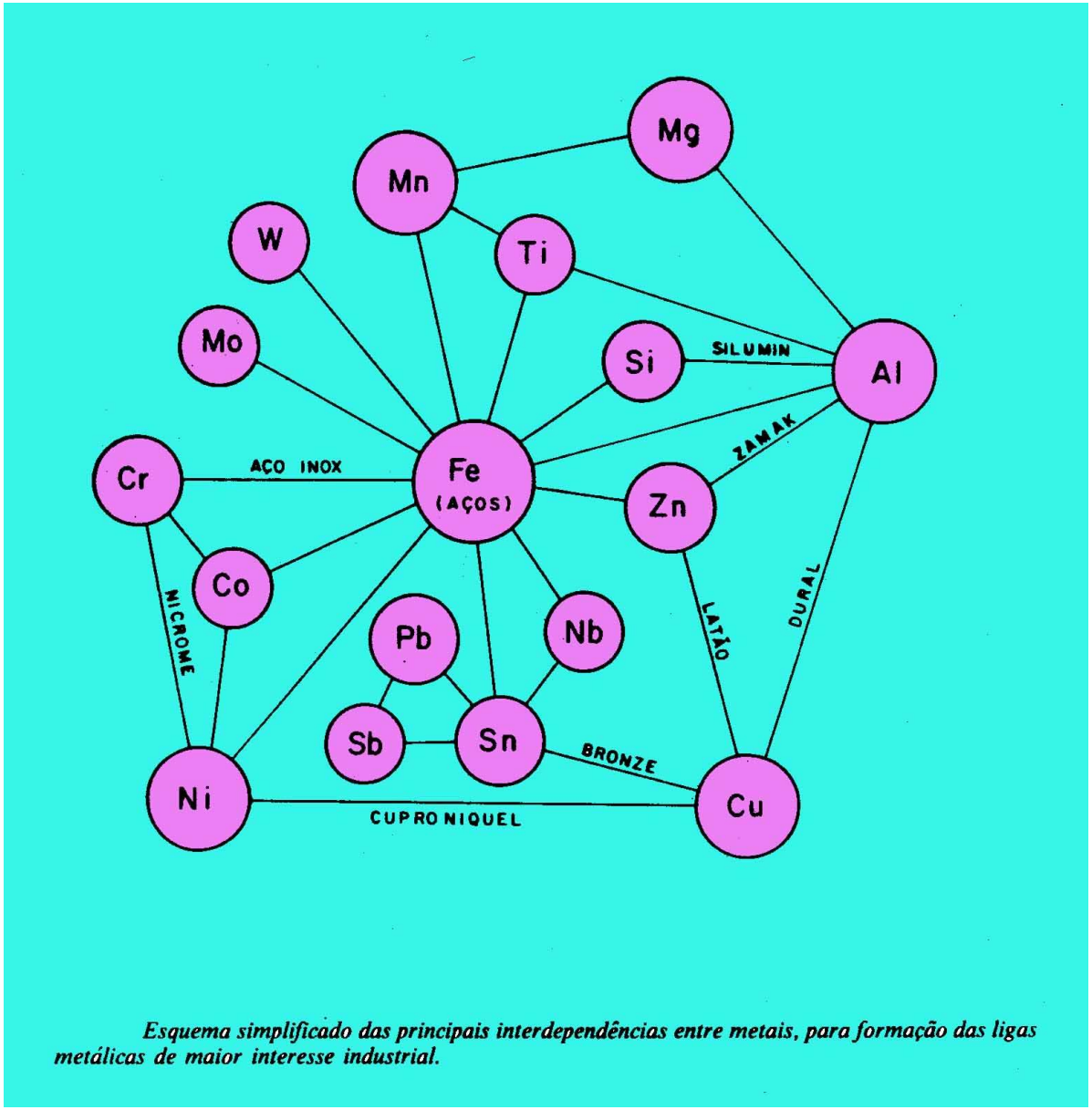
Metal	Principais Minérios	Metais Associados
Al	Bauxita: $Al_2O_3.2H_2O$	Ti, Fe, Ga
Cr	Cromita: $FeCr_2O_4$	
Cu	Calcopirita: $(CuFe)S_2$	Ag, Au, Ni
	Calcocita: Cu_2S	Pt, Pd, Re
	Bornita: Cu_5FeS_4	As, Bi, Se

Recursos - Minerais

MINÉRIOS DE FERRO

Mineral	Fórmula química	Conteúdo teórico em ferro	Conteúdo teórico em ferro após calcinação
hematita	Fe_2O_3	69,96	69,96
magnetita	Fe_3O_4	72,4	72,4
magnesioferrita	$MgO \cdot Fe_2O_3$	56-65	56-65
goethita	$Fe_2O_3 \cdot H_2O$	62,9	70
hidrogoethita	$3Fe_2O_3 \cdot 4H_2O$	60,9	70
limonita	$2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$	60	70
siderita	$FeCO_3$	48,3	70
pirita	FeS_2	46,6	70
pirrotita	$Fe_{1-x}S$	61,5	70
ilmenita	$FeTiO_3$	36,8	36,8

Recursos - Minerais



Esquema simplificado das principais interdependências entre metais, para formação das ligas metálicas de maior interesse industrial.

Recursos - Minerais

PRAZOS A PARTIR DE 1980 (ANOS)				
10 a 20	*20 a 50*	*50 a 200*	*200 a 400*	*400 a 600*
Estanho Prata Mercúrio Ouro	Cobre Zinco Chumbo Platina	Tungstênio Molibdênio Vanádio Antimônio	Cromo Níquel Cobalto Alumínio	Ferro Manganês Titânio Nióbio

Para refletir:

- Estamos em 2011. Acabaram? Por que?

- Há solução para o problema de falta? Qual?

Recursos - Minerais

DISTRIBUIÇÃO REGIONAL
DAS RESERVAS MEDIDAS E INDICADAS EM 1977

Matéria-Prima	Parte dos três primeiros países (em %)	Parte dos cinco primeiros países (em %)	Parte de alguns países (em %)
Ferro	59,4	76,7	URSS (30,2), Brasil (17,5), Canadá (11,7), Austrália (11,05), Índia (5.8)
Cobre	44,9	68,7	USA (18,5), Chile (18,5), URSS (7,9), Peru (7,0), Canadá (6,8), Zâmbia (6,4)
Chumbo	47,8	61,4	USA (20,8), Austrália (13,8), URSS (13,2) Canadá (9,5), África do Sul (4,1)
Estanho	50,2	68,1	Indonésia (23,6), China (14,8), Tailândia (11,8), Bolívia (9,7), Malásia (8,2), URSS (6,1) Brasil (5,9)
Zinco	45,8	58,6	Canadá (18,7), USA (14,5), Austrália (12,6), URSS (7,3), Irlanda (5,5)
Alumínio	62,8	74,8	Guiné (33,9), Austrália (18,6), Brasil (10,3), Jamaica (6,2), Índia (5,8), Guiana (4,1), Cameron (4,1)
Titânio	59,0	74,1	Brasil (26,3), Índia (17,5), Canadá (15,2), África do Sul (8,6), Austrália (6,6), Noruega (6,4), USA (6,0)
Cromita	96,9	97,9	África do Sul (74,1), Rodésia (22,2), URSS (0,6), Finlândia (0,6), Índia (0,4), Brasil (0,3), Madasgáscar (0,3)
Cobalto	63,0	83,5	Zaire (30,3), Nova Caledônia (18,8), URSS (13,9), Filipinas (12,8), Zâmbia (7,7), Cuba (7,3)
Nióbio	88,5	95,3	Brasil (76,6), URSS (6,4), Canadá (5,5), Zaire (3,8), Uganda (3,0) Nigéria (3,0)
Manganês	90,5	97,7	África do Sul (45,0), URSS (37,5), Austrália (8,0), Gabão (5,0), Brasil (2,2)
Molibdênio	74,3	86,9	USA (38,4), Chile (27,8), Canadá (8,1), URSS (6,6), China (6,0)
Níquel	54,5	76,8	Nova Caledônia (25,0), Canadá (16,0), URSS (13,5), Indonésia (13,0), Austrália (9,3), Filipinas (9,0)
Tântalo	72,7	84,8	Zaire (55,0), Nigéria (11,0), URSS (2,9), Coréia do Norte (6,4), USA (6,1)
Tungstênio	69,6	80,6	China (46,9), Canadá (12,1), URSS (10,6), Coréia do Norte (5,6), USA (5,4), Austrália (2,7)
Vanadium	94,9	97,2	URSS (74,8), África do Sul (18,7), Chile (1,4), Austrália (1,4), Venezuela (0,9), Índia (0,9)
Bismuto	47,9	60,9	Austrália (20,7), Bolívia (16,3), USA (10,9), Canadá (6,5), México (6,5), Peru (5,4)
Mercúrio	65,2	78,3	Espanha (38,4), URSS (18,2), Iugoslávia (8,6), USA (8,6), China (4,5), México (4,5), Turquia (4,5), Itália (4,1)
Prata	64,9	76,5	URSS (26,2), USA (24,8), México (13,9), Canadá (11,6), Peru (10,0)
Platina	99,5	99,9	África do Sul (82,3), URSS (15,6), Canadá (1,6), Colômbia (0,3), USA (0,1)
Amianto	81,3	91,8	Canadá (42,7), URSS (32,3) África do Sul (6,3), Rodésia (6,3), USA (4,2)

Recursos - Minerais

Energia Especifica Requerida para a Extração do Metal e para a Recuperação de sua Sucata

Metal	*Energia Requerida (10^3 kWh/ton)*		*Relação Energia Energia Extr./ Recup.*
	Para Extração	*Para Recuperação*	
Titânio	126,0	52,4	2,4
Ferro	4,3	1,7	2,5
Cobre	14,0	1,8	7,8
Aluminio	52,0	2,0	26,0
Magnésio	91,0	1,9	47,9

Recursos - Coque

Tabela 1 – Comparativo entre os tipos de carvões minerais

MATERIAL	TURFA	LINHITO	HULHAS	ANTRACITO
Período de formação	Quaternário	Terciário (cretácio; 135 a 2 milhões de anos)	Primário (350 a 225 milhões de anos)	Primário (350 a 225 milhões de anos)
Cor	amarela a parda	Parda a negra	negra	Negra
Aspecto	terroso	lenhoso	rochoso	rochoso
Estrutura	Musgosa e fibrosa			
Umidade (natural) [%]	90	20 a 40	10 a 20	2,0 a 3,5
Umidade (seco ao ar) [%]	20 a 25	15 a 25	1,0 a 2,0	2,0 a 3,5
% C[1]	55 a 65	65 a 73	73 a 92	92 a 96
% H	5,5	4,5	5,3	2,5
%O	32	21	8 a 16	4
Teor de cinzas [%]	8 a 15	6 a 7,5	3,5 a 9,1	2 a 3
Poder calorífico [Kcal/ kg]	3000 a 3500	3800 a 4600	5000 a 8200	7200 a 8000

[1] Teores calculados com base seca e sem cinzas

Processos - Coqueamento

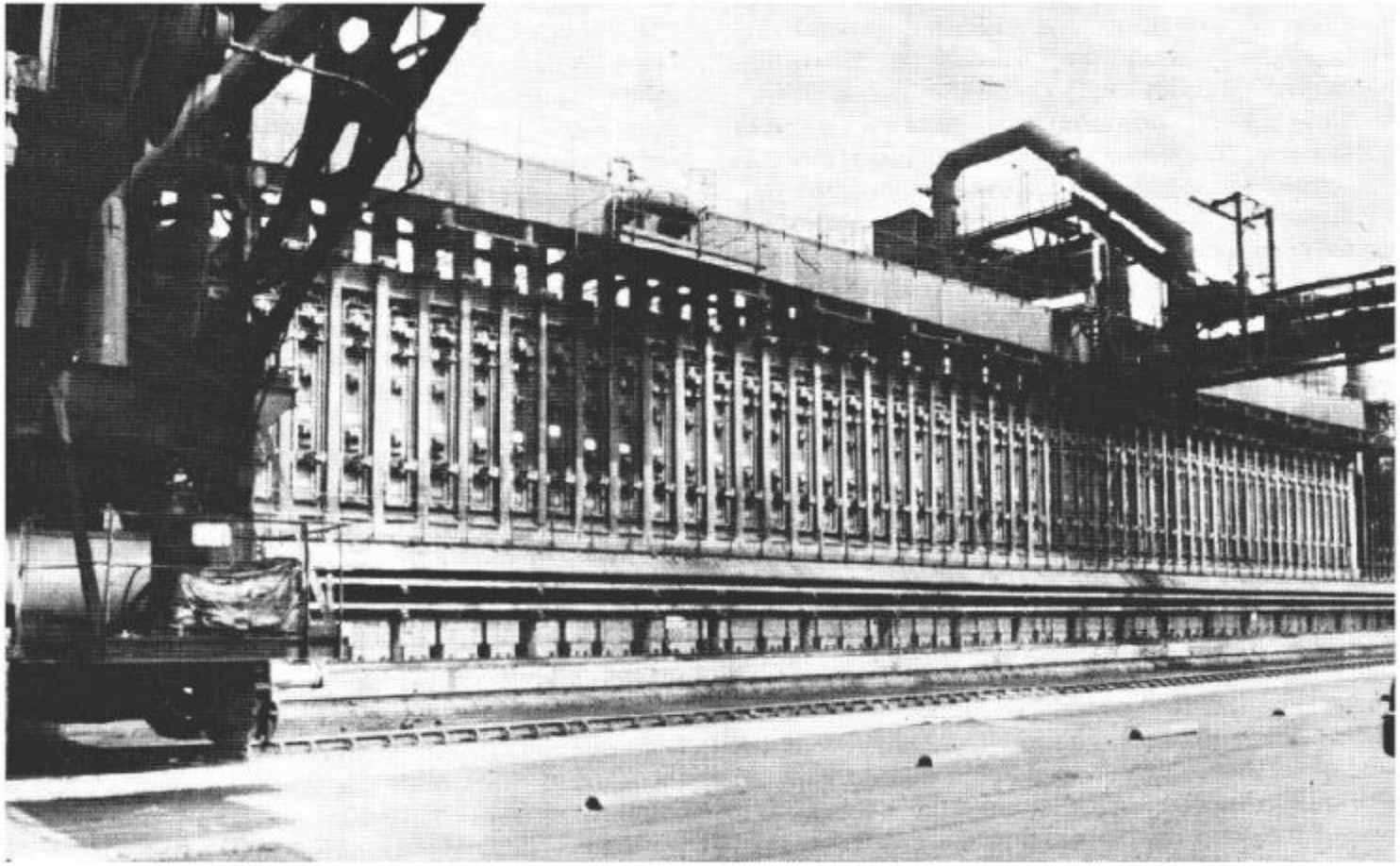
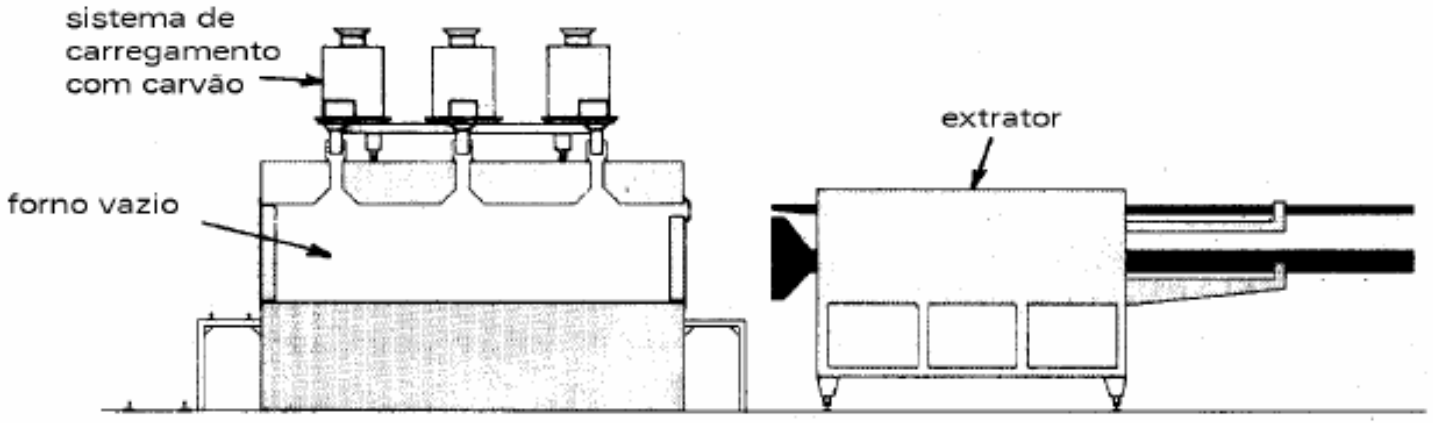
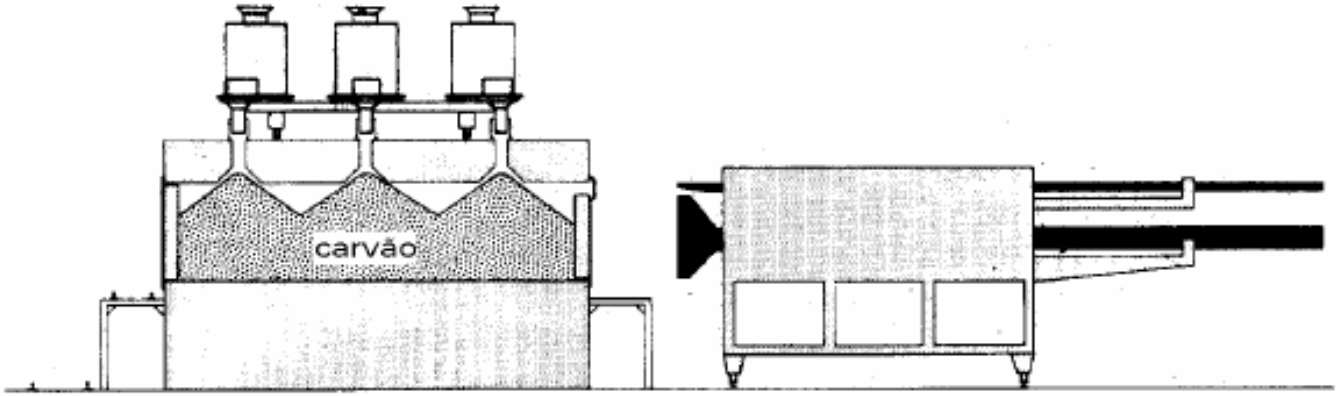


Figura 4 – Vista geral de uma bateria de fornos para coqueificação.

Processos - Coqueamento

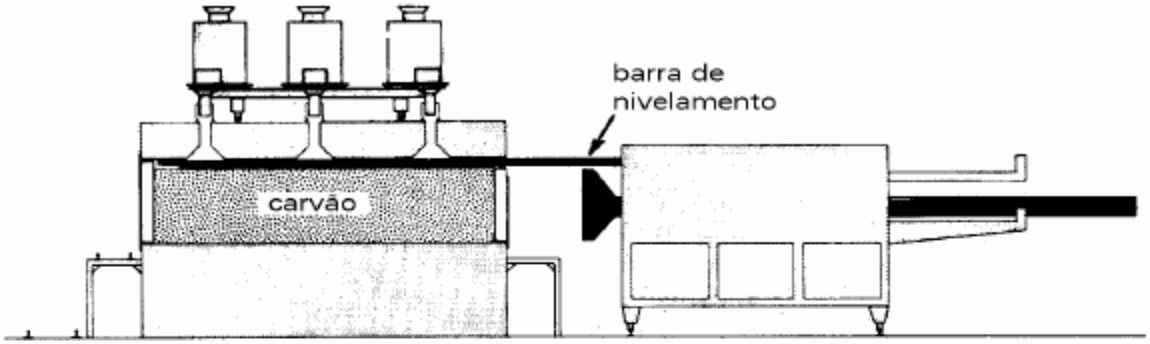


A - Início da operação. O forno esta vazio e o sistema de carregamento adiconará uma quantidade determinada de carvão mineral.

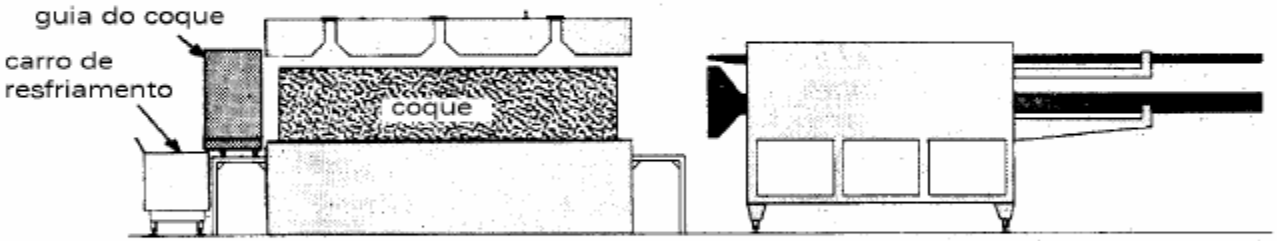


B- Fechamento da porta e carregamento do carvão mineral

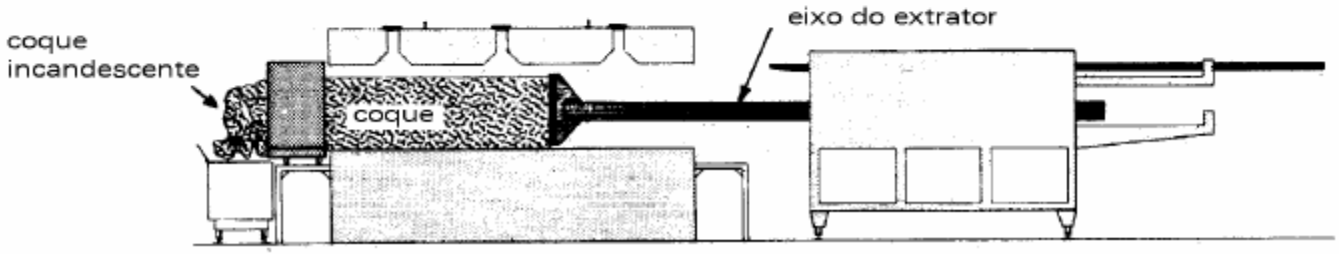
Processos - Coqueamento



C - A porta de nivelamento, acima da porta do forno é aberta e a carga de carvão é nivelada. a barra de nivelamento é retirada, a porta é efechada e a operação de coqueificação é realizada.



D- A coqueificação está completa após 18 h e o coque é empurrado do forno para o carro de resfriamento



E- Extração do coque e início do carregamento.

Processos – Fundentes ou fluxantes

Fundentes
- Básicos (portadores de CaO e/ou MgO)
- Ácidos (portadores de SiO_2 e/ou Al_2O_3)

Os principais fundentes são:

- Calcário (portador de CaO);
- Cal (portador de CaO);
- Dunito (portador de MgO e SiO_2);
- Serpentinito (portador de MgO e SiO_2);
- Dolomita (portador de MgO e SiO_2);
- Quartzo (portador de SiO_2).

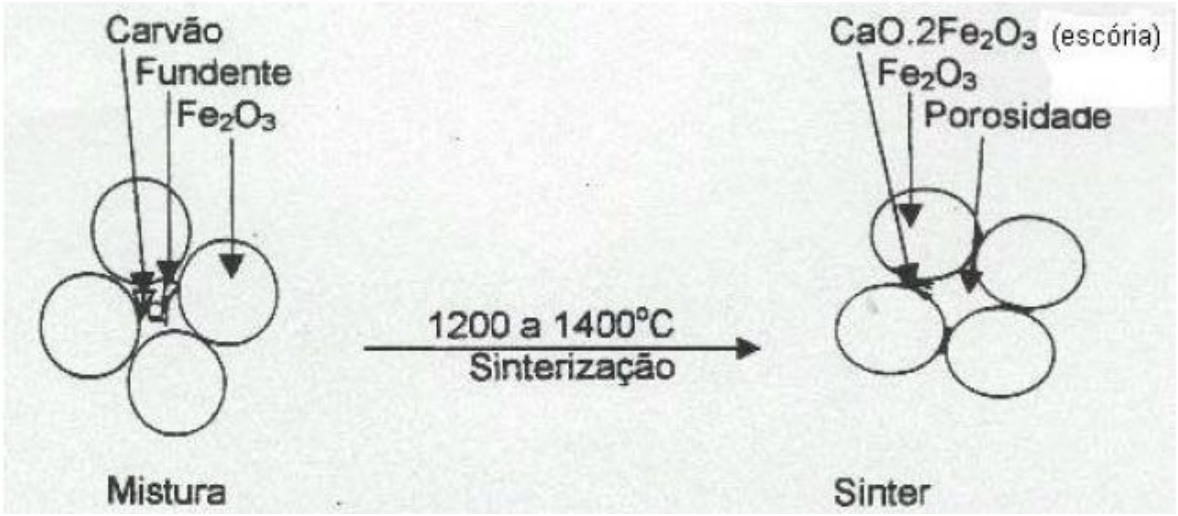
$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2 \text{ e}$$
$$CaCO_3.MgCO_3 \rightarrow MgO + CaO + CO_2$$

A composição química destes é a mesma tanto para Sinterização quanto para o Alto Forno. Sendo que a granulometria situa-se na faixa especificada abaixo:

- 0 a 3,0 mm aproximadamente para Sinterização
- 10 a 30 mm aproximadamente para o Alto Forno.

Processos – Sinterização

A sinterização consiste em misturar e homogeneizar finos de minérios de ferro (sinter feed), finos de carvão ou coque, finos de fundentes (cal, etc.) e umidade e fazer a combustão do carvão ou coque, de modo que a temperatura atinja 1200 a 1400°C, condição suficiente para que a umidade evapore e as partículas da carga se unem por caldeamento, obtendo-se um material resistente e poroso denominado sinter.



Processos – Sinterização

a) Secagem: até 300° C - Vaporização da áqua livre.

$$H_2O_{(l)} \rightarrow H_2O_{(v)}$$

b) Desidratação: 400 a 500° C Vaporização da água combinada

$$Ca(OH)_2 \rightarrow CaO + H_2O_{(v)}$$

c) Redução superficial do minério de ferro

$$3Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2Fe_3O_4 + CO_2$$
$$Fe_3O_4 + CO \rightarrow 3FeO + CO_2$$

d) Decomposição de carbonatos: 750 a 1150° C

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$$

Processos – Sinterização

e) Formação de silicatos: 600 a 1300° C

$Al_2O_3 + SiO_2 \rightarrow Al_2O_3.SiO_2$

$2CaO + SiO_2 \rightarrow 2CaO.SiO_2$

$Fe_2O3 + SiO_2 + CO \rightarrow 2FeO.SiO_2 + CO_2$

$2\ CaO.SiO_2 + 2\ FeO.SiO_2 \rightarrow 2(CaO.FeO.SiO_2)$

f) Formação de Cálcio-ferritas: 600 a 1300° C

$CaO + Fe_2O_3 \rightarrow CaO.Fe_2O_3$

$CaO + 2Fe_2O_3 \rightarrow CaO.2Fe_2O_3$

g) Combustão do Coque: 1300° C

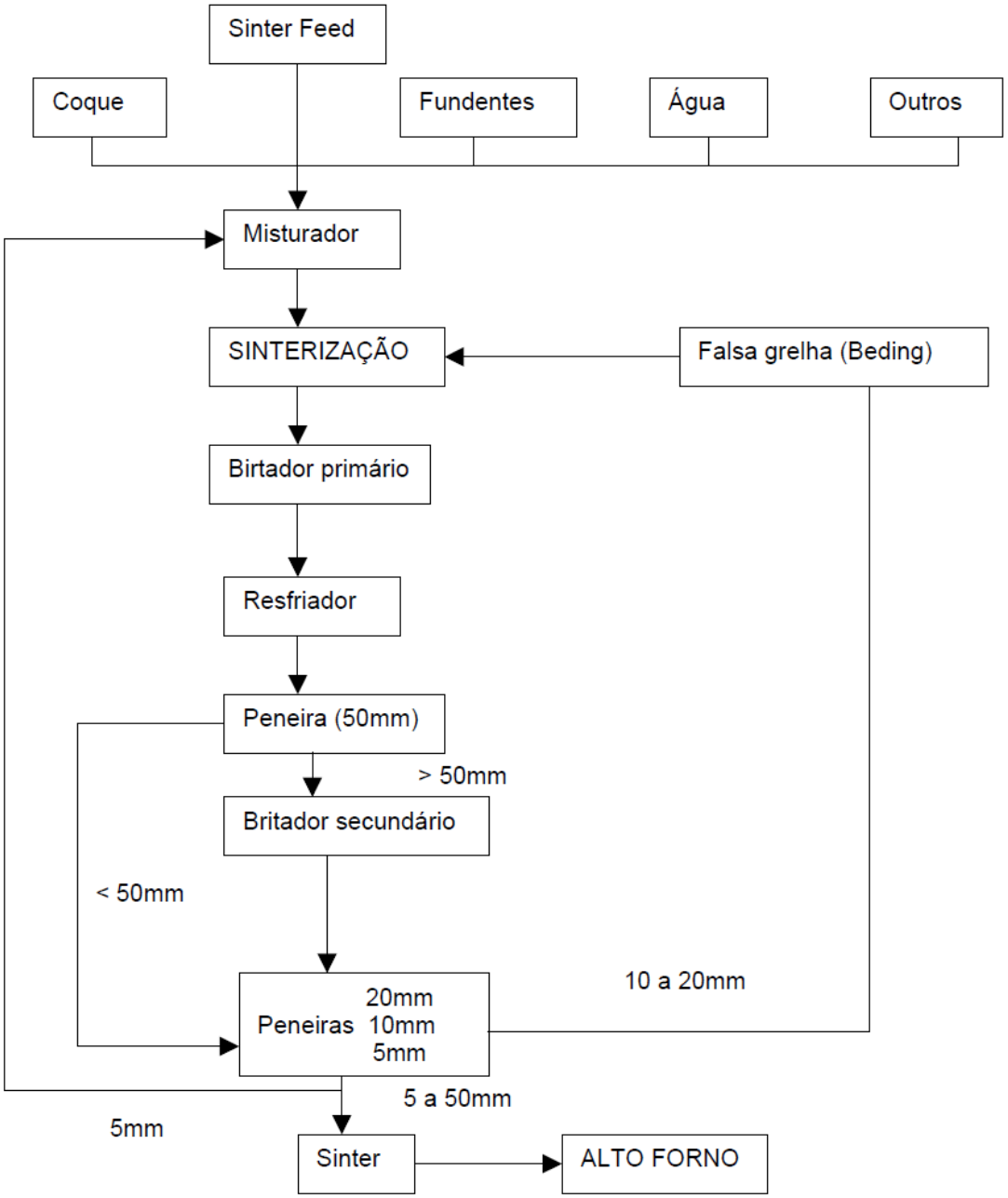
$C + O_2 \rightarrow CO2$

$C + 1/2O_2 \rightarrow CO$

h) Formação da magnetita:

$3FeO\ 1/2O_2 \rightarrow Fe_3O_4$

Processos – Sinterização



Processos – Redução dos minérios de ferro

Processo de redução direta

Processos de redução direta são aqueles nos quais a redução do minério de ferro a ferro metálico é efetuada sem que ocorra, em nenhuma etapa do processo, a fusão da carga no reator.

A redução no estado sólido de minério de ferro por carvão é praticada desde a antigüidade, tendo sido o principal processo de obtenção de ferro até o desenvolvimento dos altos fornos. Assim, o produto metálico é obtido na fase sólida, sendo chamado de "ferro esponja".

O ferro esponja é um produto metálico com 85 a 95% de ferro e de 0,1 a 1,0% de C, podendo chegar a 2,0% de C. Tem aspecto esponjoso e é obtido no estado sólido à temperatura em torno de 1100^{o}C, a preços relativamente reduzidos se comparado a grandes siderúrgicas.

Os processos de redução direta podem ser divididos conforme o tipo de redutor, em duas classes: redutor sólido (carvão ou coque) ou redutor gasoso (gás natural-CH_4 e/ou gases redutores como CO, H_2).

Processos – Redução dos minérios de ferro

Processo de redução direta

Reações de reforma ou enriquecimento do gás redutor utilizado para reutilização no reator, normalmente feitos em reatores separados do reator de redução dos minérios.

$$CO_2 + C \rightarrow 2CO$$
$$H_2O + C \rightarrow H_2 + CO$$

$$CH_4 + CO_2 \rightarrow 2CO + 2H_2$$
$$CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$$

Reações de redução do minério de ferro no reator de redução.

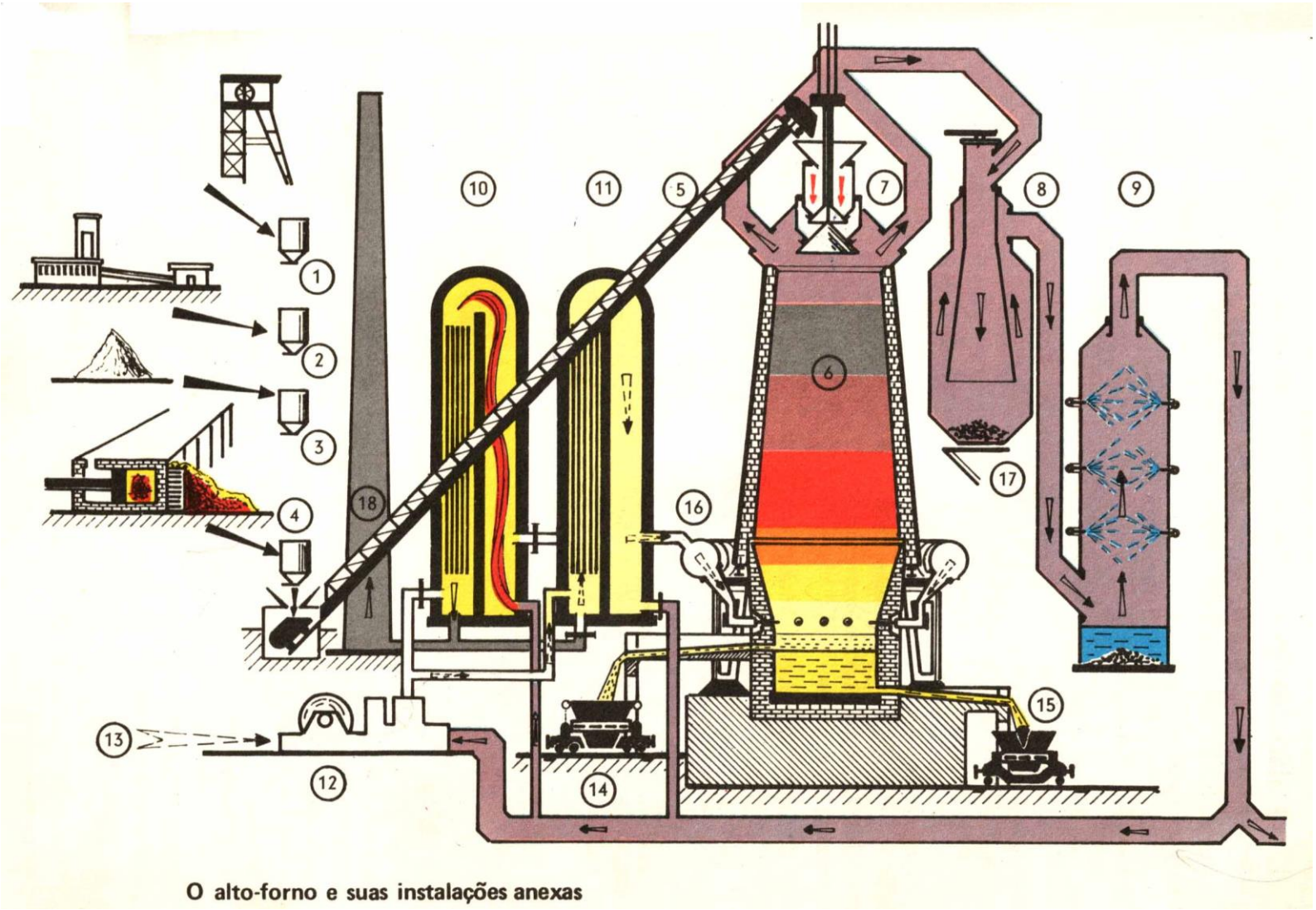
$$3Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2Fe_3O_4 + CO_2$$
$$3Fe_2O_3 + H_2 \rightarrow 2Fe_3O_4 + H_2O$$

$$Fe_3O_4 + CO \rightarrow 3FeO + CO_2$$
$$Fe_3O_4 + H_2 \rightarrow 3FeO + H_2O$$

$$FeO + CO \rightarrow Fe + CO_2$$
$$FeO + H_2 \rightarrow Fe + H_2O$$

Processos – Redução dos minérios de ferro

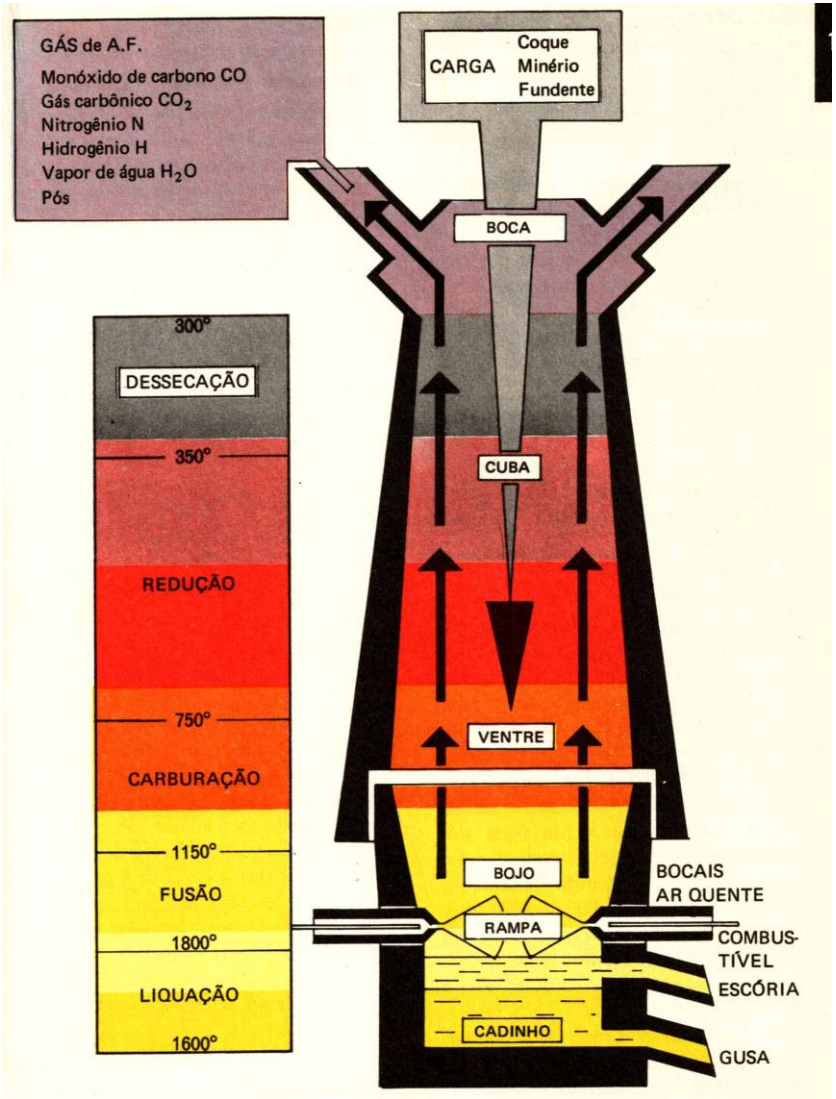
Processo de redução indireta – ALTO FORNO

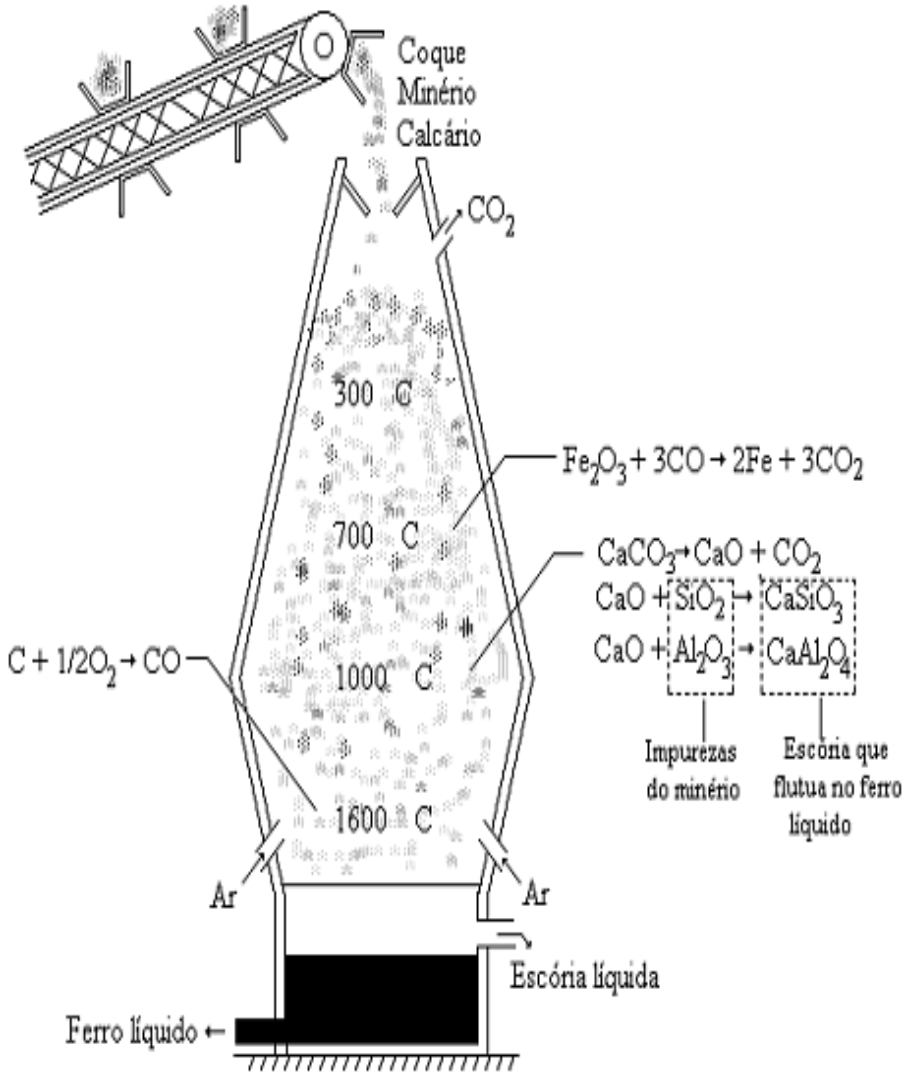


O alto-forno e suas instalações anexas

Processos – Redução dos minérios de ferro

Processo de redução indireta – ALTO FORNO





Processos – Redução dos minérios de ferro

Processo de redução indireta – ALTO FORNO

- **Queima do carvão:**

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2$$
$$CO_2 + C \longrightarrow 2\ CO$$

- **Redução do Fe:**

$$2\ Fe_2O_3 + CO \longrightarrow 3\ Fe_3O_4 + CO_2$$
$$Fe_3O_4 + CO \longrightarrow 3\ FeO + CO_2$$
$$FeO + CO \longrightarrow Fe + CO_2$$

- **Redução do Si, P e Mn:**

$$2\ MnO_2 + C \longrightarrow 2\ MnO + CO_2$$
$$2\ MnO + C \longrightarrow 2\ Mn + CO_2$$
$$SiO_2 + 2\ C \longrightarrow Si + 2\ CO$$
$$P_2O_5 + 5\ C \longrightarrow 2\ P + 5\ CO$$

- **Escoriamento:**

$$CaCO_3 \longrightarrow CaO + CO_2$$
$$CaO + SiO_2 \longrightarrow CaSiO_3$$

Processos – Redução dos minérios de ferro

Processo de redução indireta – ALTO FORNO

Ferro-gusa	
Elemento	Faixa de composição [%]
Si	0,5 – 3,0
S	0,035 - 0,050
P	0,040 – 0,40
Mn	1,0 – 2,0
C	3,0 – 4,5
Fe	Balanço

Escória do alto-forno	
Componente	Faixa de composição [%]
SiO_2	23 a 55
CaO	27 a 55
Al_2O_3	5 a 25
MgO	1 a 12
FeO	0,5 a 2
S	0,4 a 1,2

Processos – Dessulfuração

O ferro gusa gerado nos altos fornos possuem elevados teores de enxofre, elemento indesejável na maioria dos aços e de difícil eliminação nos convertedores.

Para que ocorra condição ideal para a dessulfuração é necessária uma escória bastante básica (rica em CaO) e uma atmosfera redutora(rica em CO). O alto forno possui atmosfera redutora, mas a sua basicidade é limitada para se produzir uma escória líquida e fluida (CaO/SiO_2 = 1,2). No caso da aciaria, temos excesso de cal, mas a atmosfera é oxidante. Portanto, nem o alto forno nem a aciaria possui condições ideais para a dessulfuração.

Por essa razão, o ferro gusa deve ser dessulfurado, ainda nos carros torpedos, antes de seguir para a aciaria, numa estação de dessulfuração onde se cria as condições ideais.

A mistura dessulfurante, na média, é composta por 50% de carbureto, 38% de calcário e 12% de coque. Esse último tem a função de garantir a atmosfera redutora necessária para que as reações ocorram.

O calcário fornece cal para dar uma alta basicidade necessária à dessulfuração e o dióxido de carbono confere agitação ao banho, garantindo maior rendimento e o carbureto é a principal fonte de cálcio e também fornece carbono ao banho.

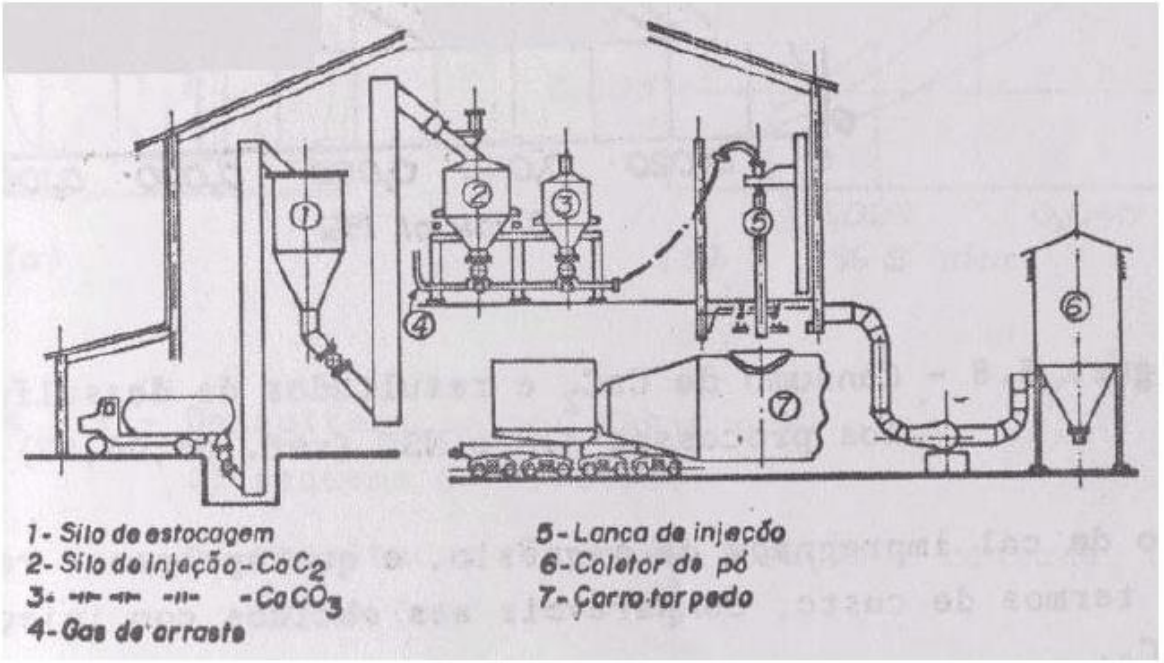
Processos – Dessulfuração

Decomposição do calcário:

$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$.

Escorificação do enxofre:

$FeS + CaO + CO \rightarrow CaS + Fe + CO_2$.

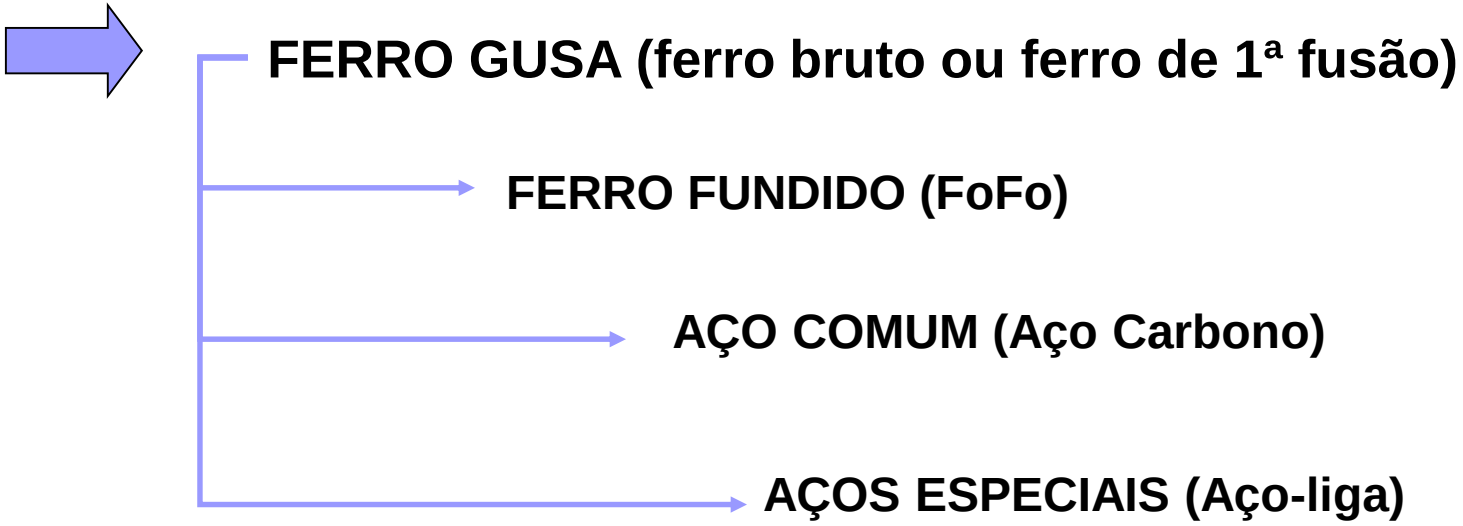


Esquema mostrando uma estação de dessulfuração de gusa no carro torpedo.

Processos – Ferro gusa comercial



Processos – Fabricação de FoFo e Aço



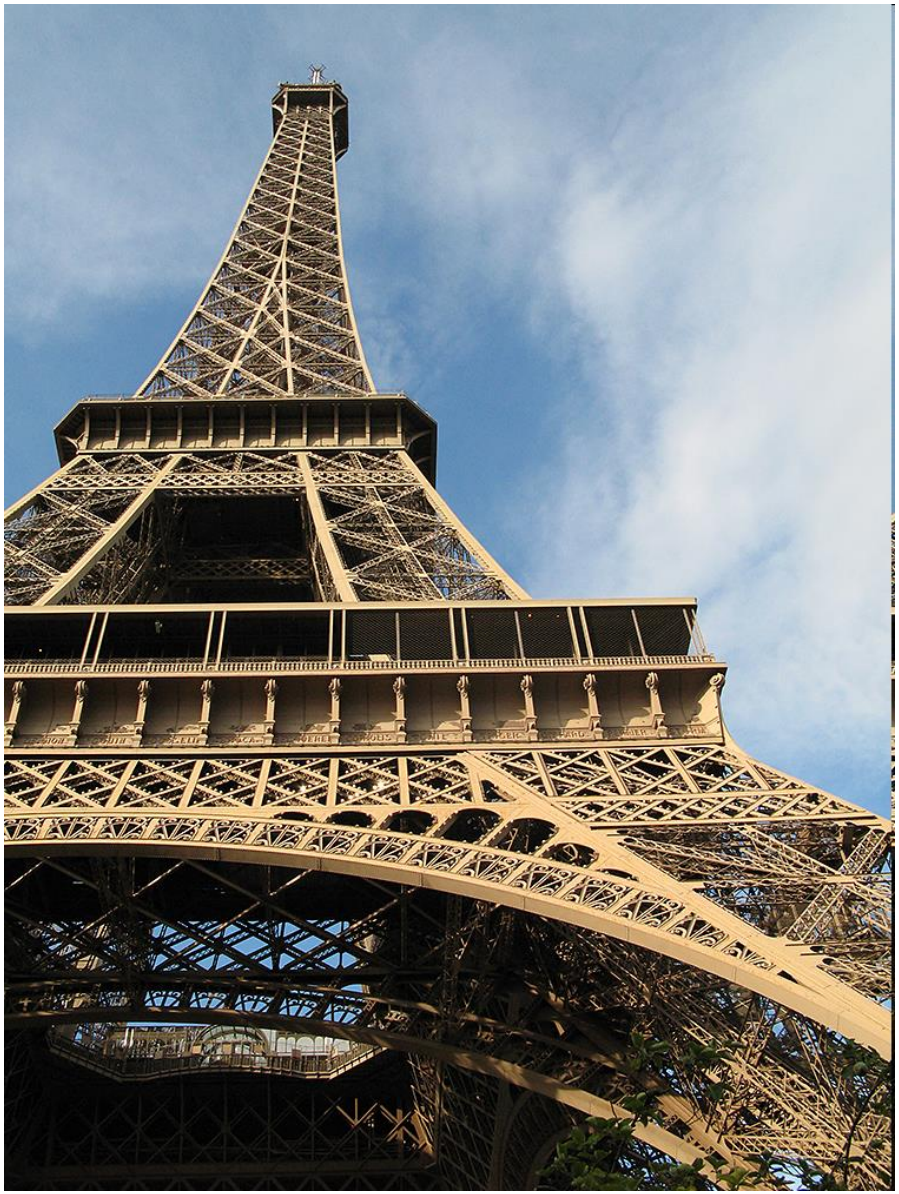

EXTRA
OFERTA
MESA
DE FERRO
FUDIDO
5
X
31.80
À VISTA
150.00
TOTAL A PRAZO
CARTÃO EXTRA
5 JUROS

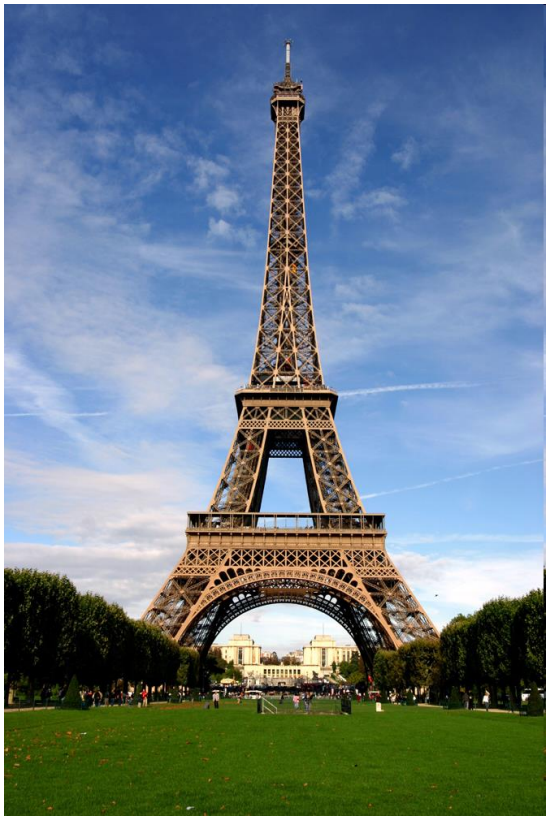
Processos – Fabricação de FoFo e Aço

Ferro Pudlado

- O primeiro gusa fabricado com coque foi produzido em 1708-1709 por Abraham Darby, em Coalbrookdale, na Inglaterra. O gusa obtido em alto fornos usando carvão de pedra ou coque, não era considerado de qualidade, devido ao enxofre que o tornava quebradiço. Somente a disseminação do processo de pudlagem, já conhecido a muito tempo e que adquiriu novo impulso, graças aos trabalhos de Henry Cort em 1784, permitiu mudança nesta convicção. O ferro impuro obtido era refundido em forno de soleira rasa (de reverbero), entrando em contato com os gases oxidantes. Mediante a agitação por meio de barras (to puddle, em inglês), todo o banho entrava em contato com o oxigênio dos gases e assim, gradualmente, queimava-se o carbono e o gusa transformava-se em ferro pudlado (ferro doce). O banho líquido transformava-se pouco a pouco em massa pastosa que, no final, se tornava tão consistente que era possível retirar bolos ou "lupas", que eram a seguir marteladas em barras. Após uma hora e meia de trabalho eram obtidos 220 a 250 kg de aço doce.

Processos – Fabricação de FoFo e Aço





A Torre Eiffel foi construída com ferro pudlado

Processos – Fabricação de FoFo e Aço

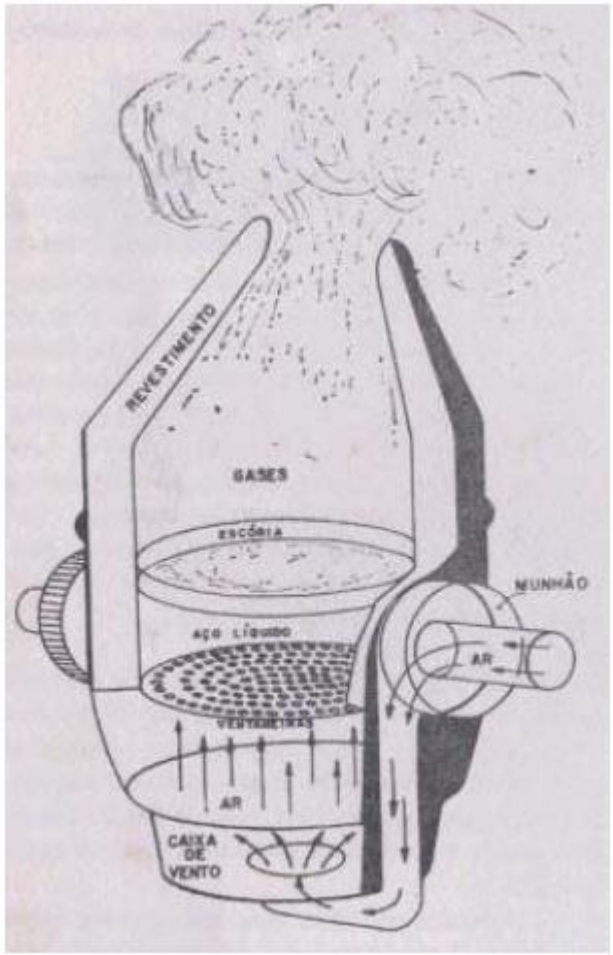
Processo Bessemer

- O processo Bessemer foi desenvolvido paralelamente por William Kelly e Henry Bessemer mas este último conseguiu a patente do processo pelo qual a descarbonetação do gusa era feita num vaso em forma de pêra (semelhante ao de cadinho, com uma tampa através do qual passava um tubo central de argila, para soprar o ar através do metal líquido). Com esse processo foi possível conseguir, no mesmo espaço de tempo, 200 vezes mais aço que no processo de pudlagem.

- O processo Bessemer, desenvolvido inicialmente utilizando-se gusa importado da Suécia, teve insucesso completo ao se tentar aplicá-lo aos gusas produzidos na Inglaterra, com elevado teor de fósforo que, não sendo eliminado, tornava o aço quebradiço e frágil. Mediante um revestimento de dolomita é que foi possível, em 1878, utilizar esse processo aos gusas contendo elevado teor de fósforo.

Processos – Fabricação de FoFo e Aço

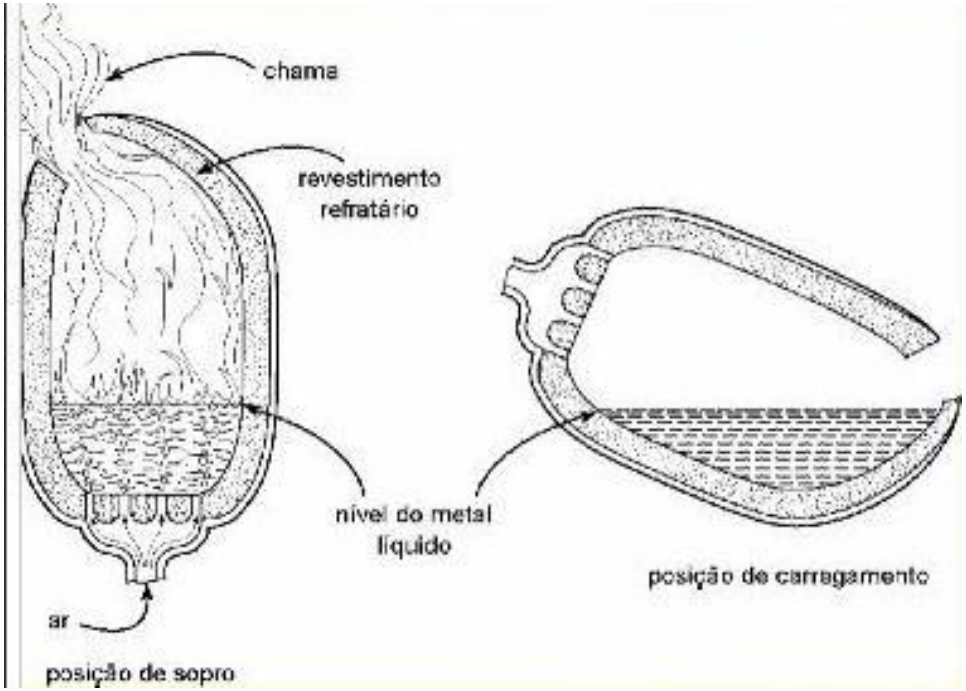
Processo Bessemer

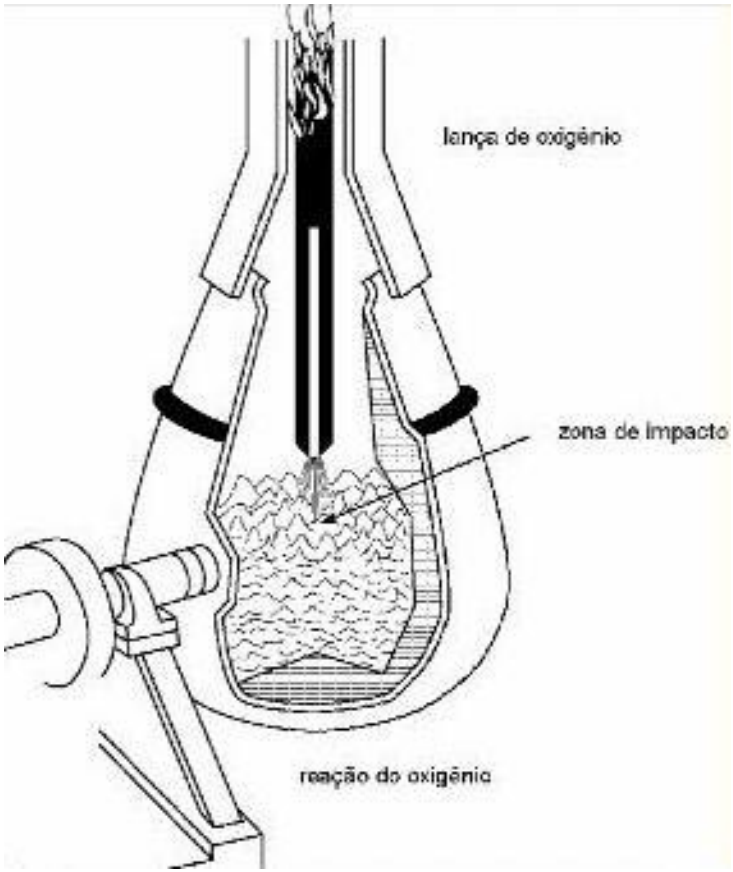




Processos – Fabricação de FoFo e Aço

Processo Bessemer x LD





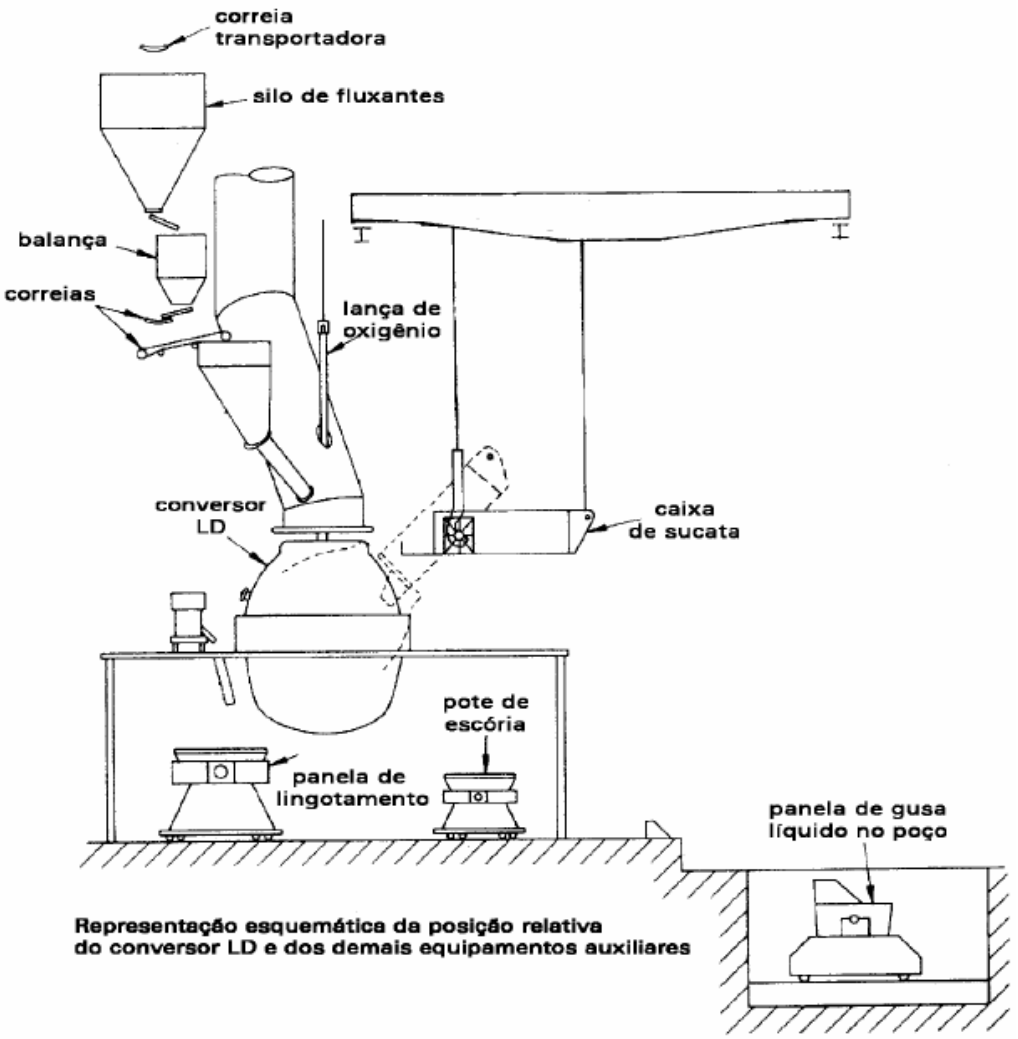
Processos – Fabricação de FoFo e Aço

Processo LD

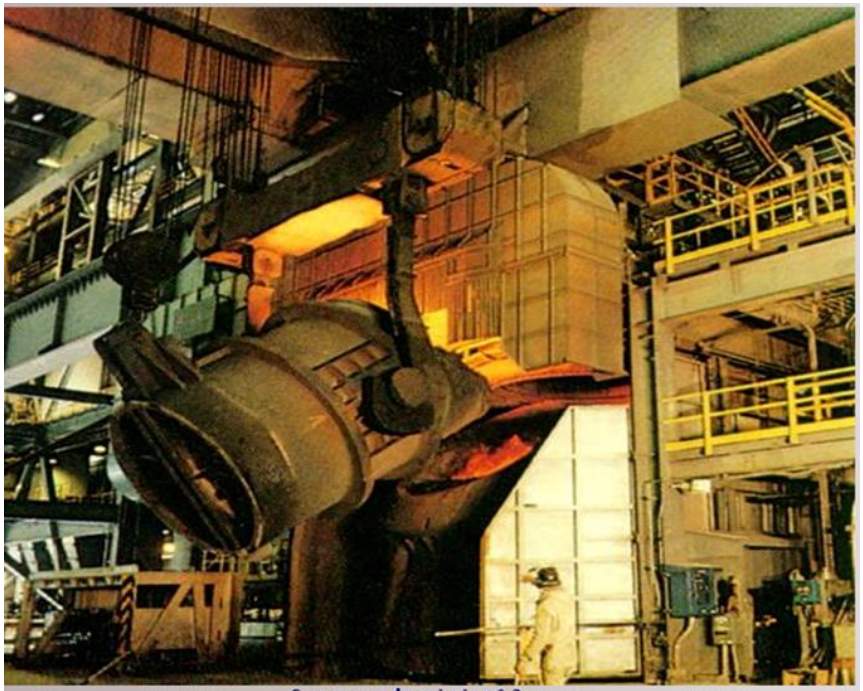
- O **Conversor a Oxigênio** ou **Processo Linz-Donawitz** é o processo mais comum para a produção de aço atualmente.
- Nos conversores a oxigênio são fabricados mais de 50% da produção mundial de aço. No Brasil eles também são amplamente utilizados.
- A carga desse conversor é constituída de ferro gusa líquido, sucata de ferro, minério de ferro e aditivos (fundentes). Com uma lança refrigerada com água, injeta-se oxigênio puro a uma pressão de 4 a 12 bar no conversor.
- A oxidação do carbono e dos acompanhantes do ferro libera grande quantidade de calor. Para neutralizar essa elevada temperatura que prejudicaria o refratário, adiciona-se sucata ou minério de ferro.
- [[Pela adição de fundentes como a cal, os acompanhantes do ferro como o manganês, silício, fósforo]] e enxofre unem-se formando a escória.
- Para aumentar a qualidade do aço, adicionam-se os elementos de liga no final do processo ou quando o aço está sendo vertido na panela, já pronto.
- Os aços produzidos no LD não contém nitrogênio pois não se injeta ar, daí a alta qualidade obtida. Esse conversor oferece vantagens econômicas sobre os conversores do processo de Bessemer

Processos – Fabricação de FoFo e Aço

Processo LD



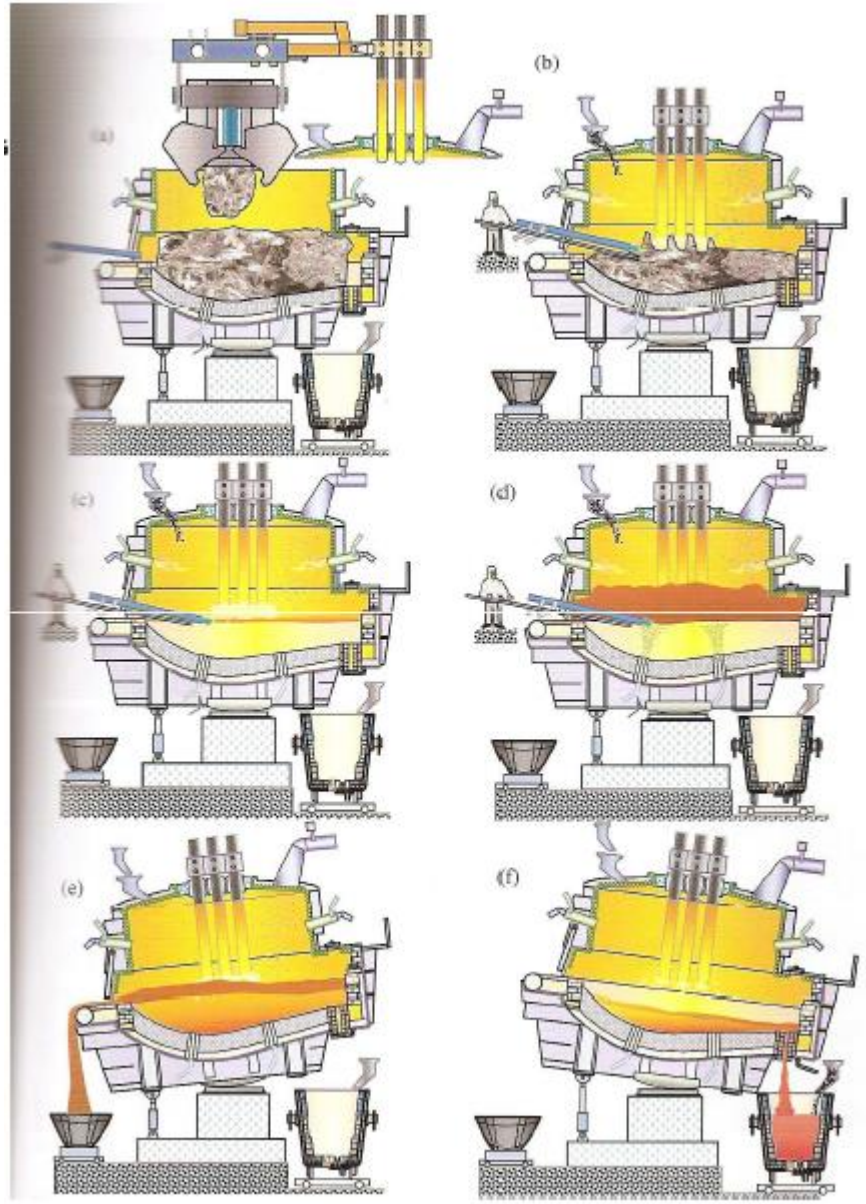
Representação esquemática da posição relativa do conversor LD e dos demais equipamentos auxiliares



Conversor da aciaria nº 2
Foto: Cosipa, cerca de 1990

Processos – Fabricação de FoFo e Aço

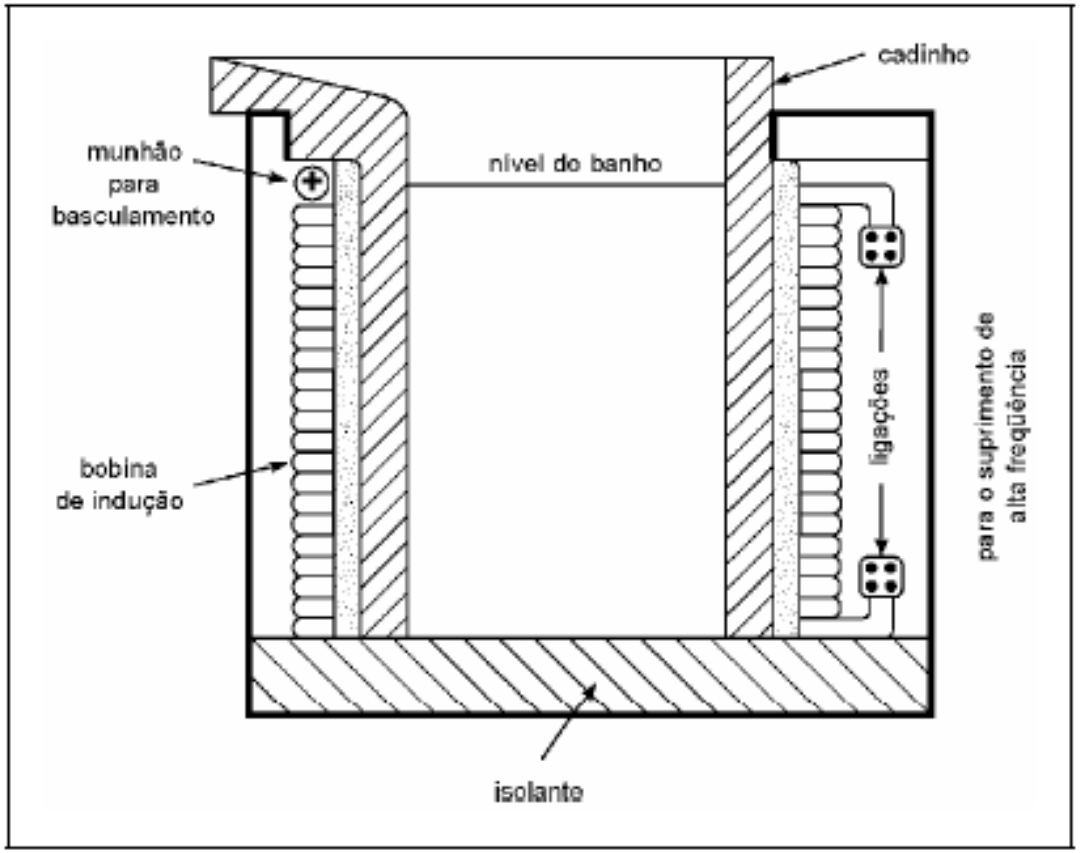
Forno a arco elétrico



Processos – Fabricação de FoFo e Aço

Forno a indução





Processos – Fabricação de FoFo e Aço

Comparativo

Tipo de forno	Combustível	Tipo de carga	Capacidade de carga	Vantagens	Desvantagens
Conversor Bessemer	Injeção de ar comprimido.	Gusa líquido.	10 a 40 ton.	Ciclo curto de processamento (10 a 20 minutos).	Impossibilidade de controle do teor de carbono. Elevado teor de óxido de ferro e nitrogênio no aço. Gera poeira composta de óxido de ferro, gases e escória.
Conversor Thomas	Injeção de ar comprimido.	Gusa líquido, cal.	Em torno de 50 ton.	Alta capacidade de produção. Permite usar gusa com alto teor de fósforo.	O gusa deve ter baixo teor de silício e enxofre. Elevado teor de óxido de ferro e nitrogênio no aço. Gera poeira composta de óxido de ferro, gases e escória.
Conversor LD	Injeção de oxigênio puro sob alta pressão.	Gusa líquido, cal.	100 ton.	Mínima contaminação por nitrogênio.	Gera poeira composta de óxido de ferro, gases e escória.
Forno a arco elétrico.	Calor gerado por arco elétrico.	Sucata de aço + gusa, minério de ferro, cal.	40 a 70 ton.	Temperaturas mais altas. Rigoroso controle da composição química. Bom aproveitamento térmico.	Pequena capacidade dos fornos. Custo operacional.
Forno de indução	Calor gerado por corrente induzida dentro da própria carga.	Sucata de aço.	Em torno de 8 ton.	Fusão rápida. Exclusão de gases. Alta eficiência.	Pequena capacidade dos fornos. Custo operacional.

Tem mais???

Não!!! CAAABÔÔÔÔ!!!...