

Siderurgia = metalurgia do ferro

Sistema Fe-O-C

- Minério de ferro: Fe + Oxigênio
- Redução: Minério + carbono \gg Fe (C) + CO/CO₂
- Refino: Fe (C) + Oxigênio \gg Fe (O) + CO/CO₂
- Desoxidação: Fe (O) + desoxidante (Al, Si, C) \gg aço acalmado

Coadjuvantes

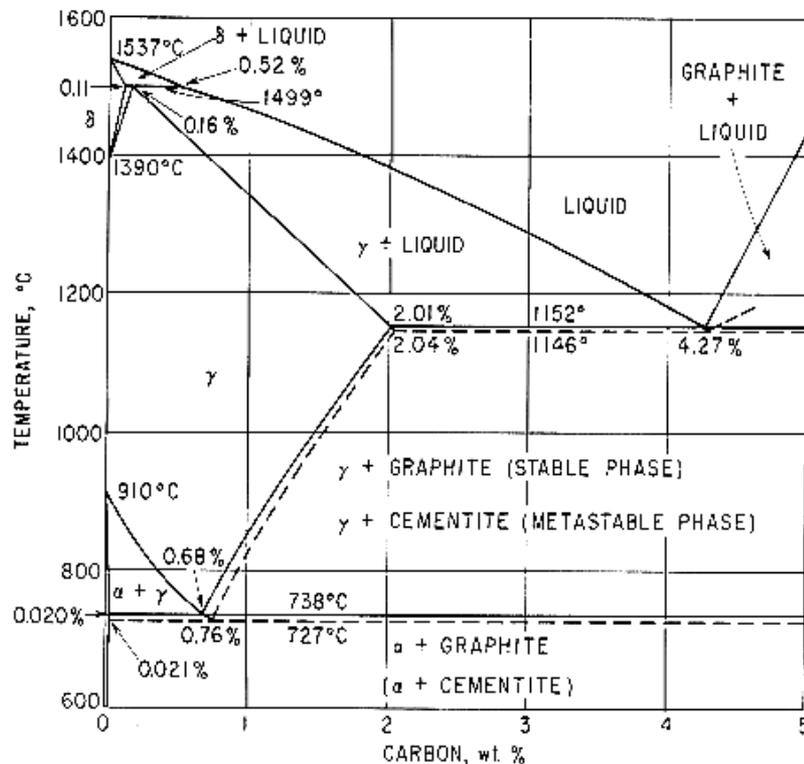
- Si e SiO_2
- Ca e CaO
 - P
 - S
 - Mn
- Al e Al_2O_3
- Cr, Ni, Ti, Mo, Nb, H, N, Bo, etc

Energia para Siderurgia

- Principal fonte energética: Carbono
- Carvão mineral e carvão vegetal
- $C + O_2 \gg CO_2 + \text{energia}$
- Grande geração de gases estufa
- Consumo energético no Brasil : 9,6 % de toda energia produzida no país

Ferro e Aço

Ferro: comportamento variado em função de composição química, teor de carbono, e histórico de tratamento termo-mecânico.

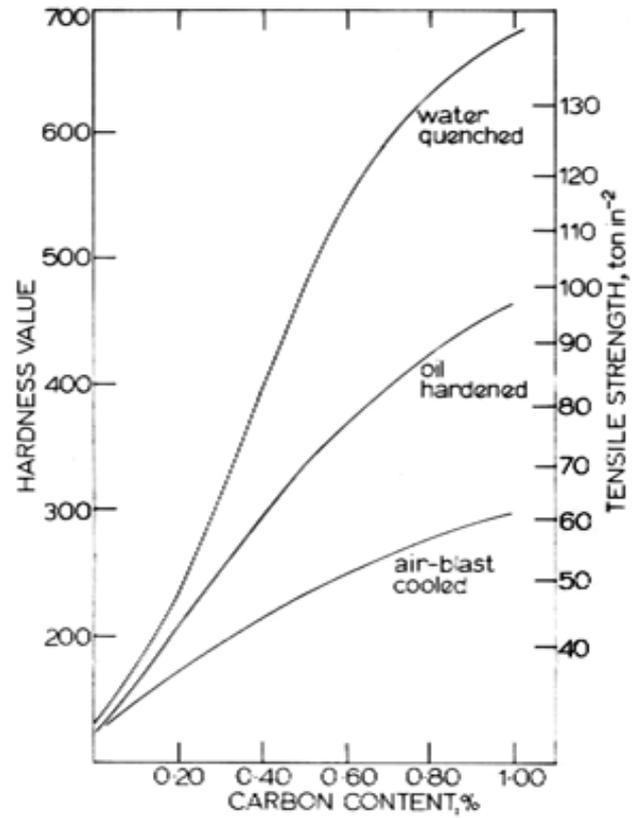


Aço: ligas ferro-carbono contendo menos de 2% de Carbono, podendo conter outros elementos de liga

Ferro fundido: ligas ferro-carbono contendo mais de 2 % de carbono, contendo ainda silício e outros elementos

Ferro e Aço

- ➔ Dependendo da composição, pode ser temperado, adquirindo propriedades únicas
- ➔ O aço original dos antigos é o ferro temperado
- ➔ A sua obtenção dependia da ocorrência de inúmeros fenômenos sobre os quais os antigos não tinham conhecimento suficiente para dominar



PROPRIEDADES DOS AÇOS

DEPENDEM DE:

- **COMPOSIÇÃO QUÍMICA**
- **MICROESTRUTURA**

Alterando temperatura; alterando velocidade de resfriamento; deformando e tratando termicamente

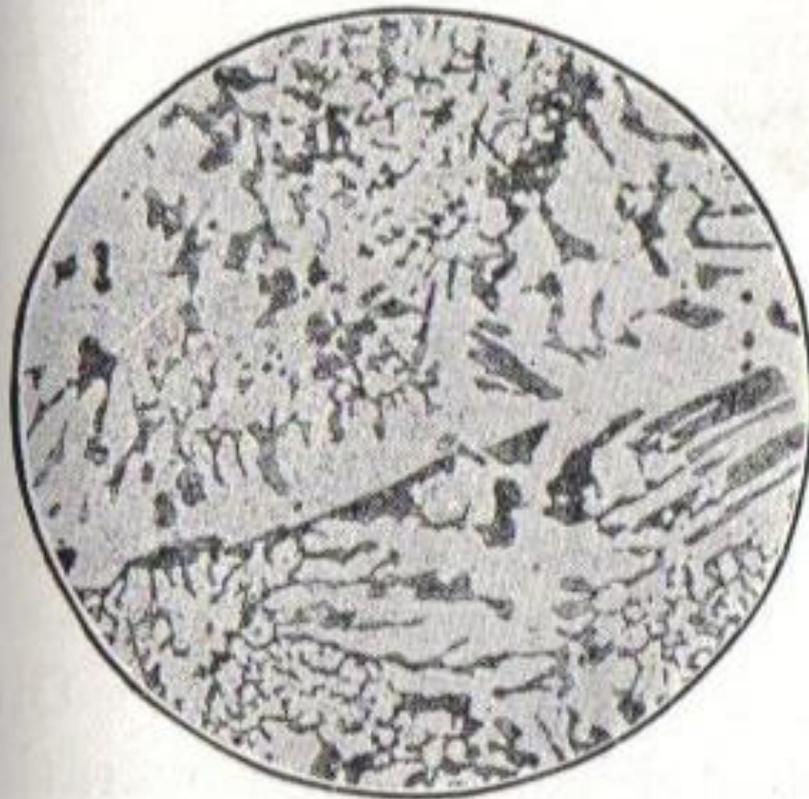


FIG. 136.—Steel as cast. Dark is pearlite. White is ferrite. Nital etched. Mag. 100 \times .

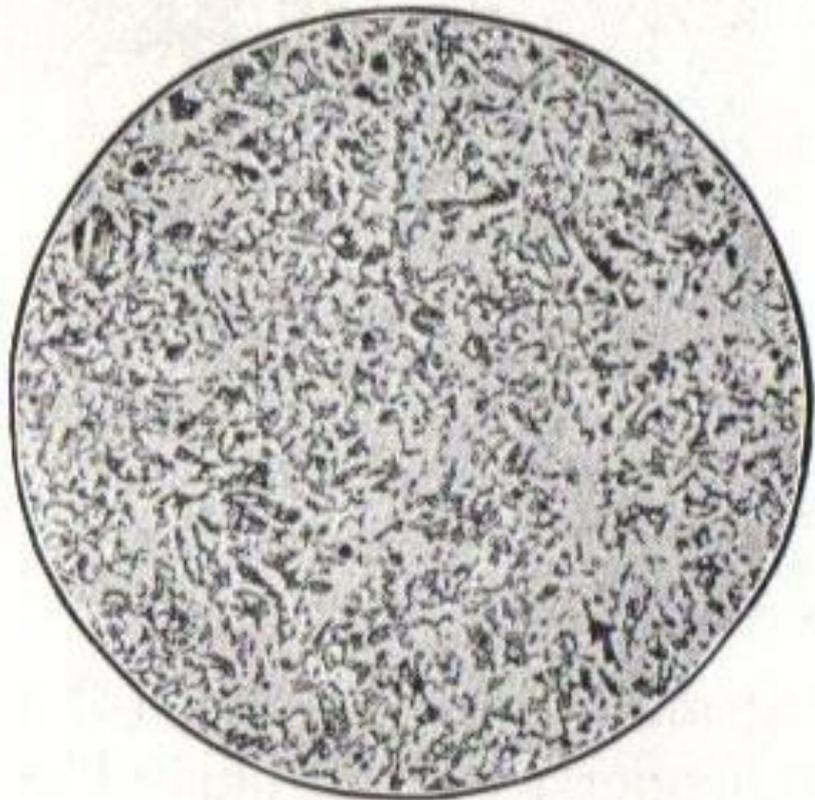
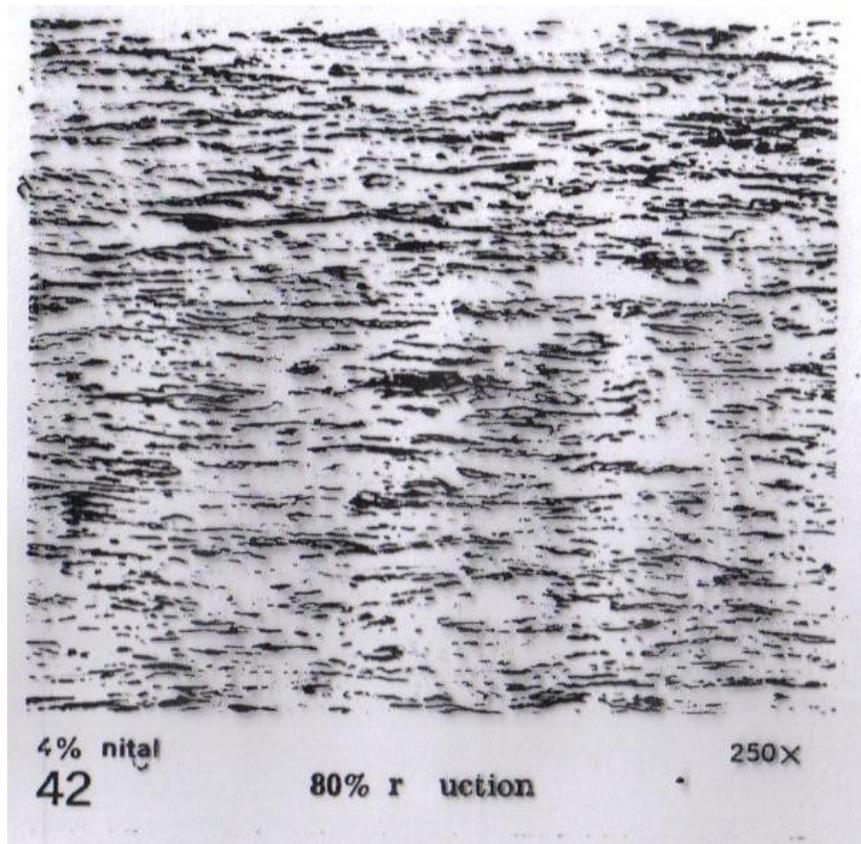
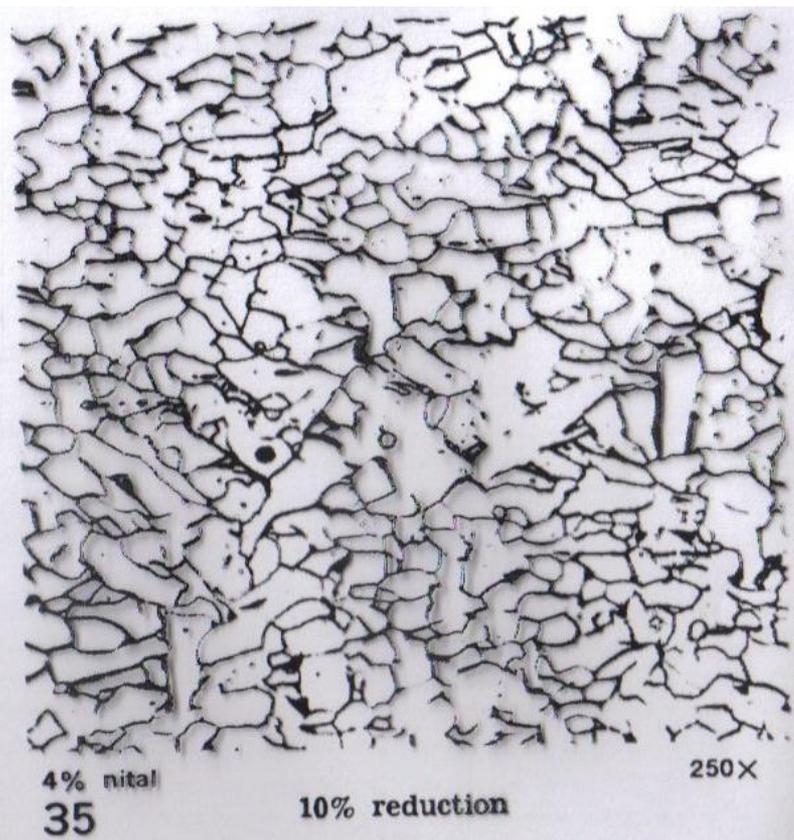


FIG. 137.—Cast steel refined by reheating slightly above A_{c3} . Dark particles are pearlite. White matrix is ferrite. Nital etch. Mag. 100 \times .



Obtenção de Ferro e Aço

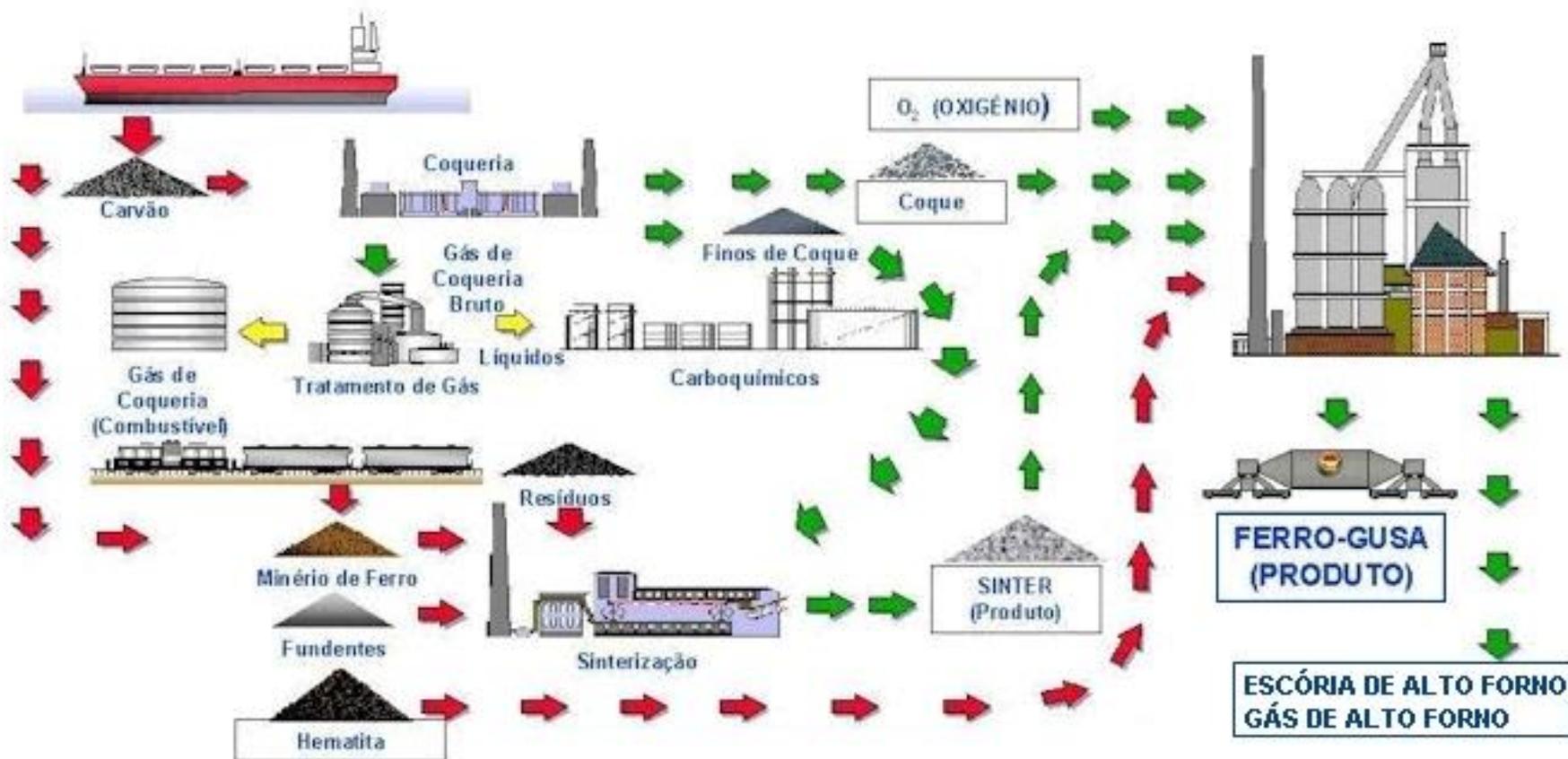
⇒ A partir de minério de ferro:

Usinas integradas: redução do minério de ferro a ferro metálico (ferro gusa), produto intermediário (ironmaking), seguido de obtenção do aço (steelmaking)

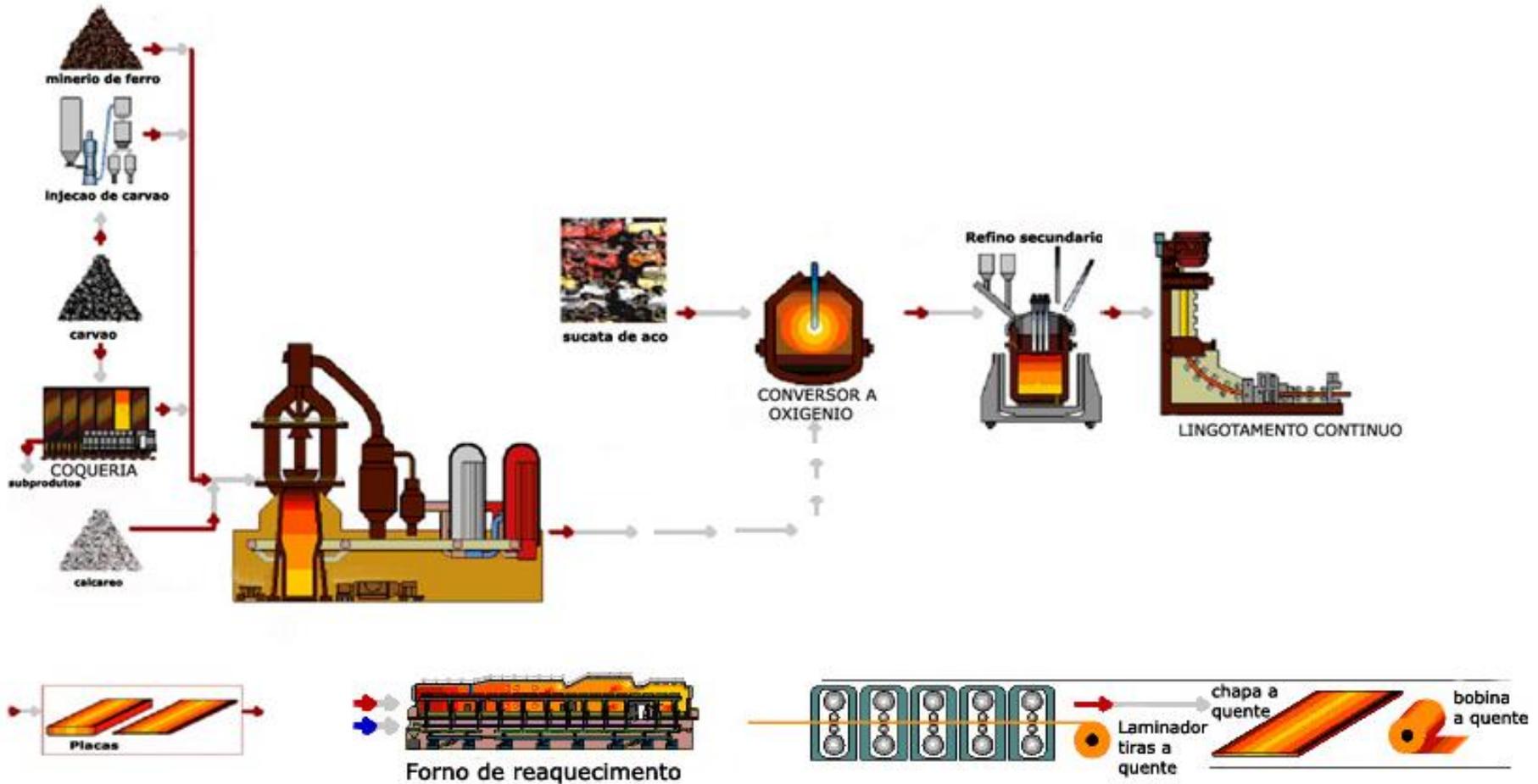
⇒ A partir de sucata de ferro e aço:

Usinas semi integradas (mini mills): fusão de sucata em forno elétrico

Fluxograma parcial de uma usina integrada até o Alto Forno



Usinas integradas



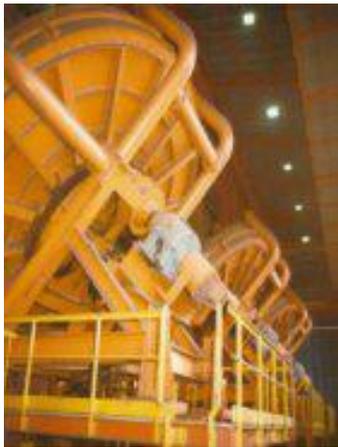
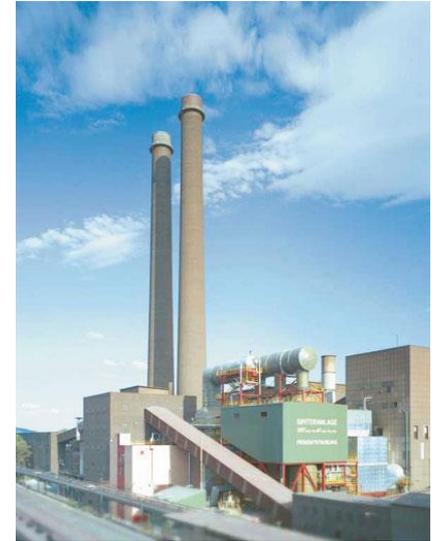
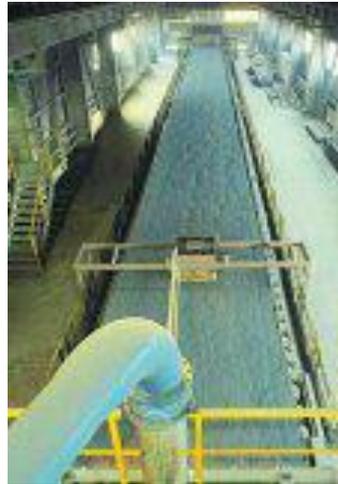
Coqueria

Transforma carvão mineral em coque por destilação
(aquecimento a 1000°C na ausência de ar)



Preparação da carga metálica

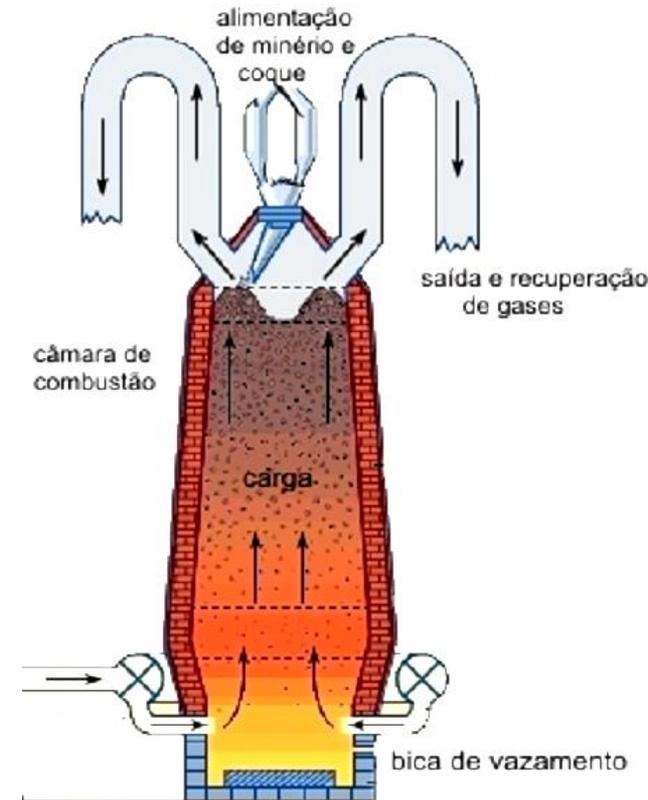
Sinterização: prepara o minério de ferro na forma de **sinter**, nas usinas siderúrgicas



Pelotização: produz pelotas a partir de minério de ferro fino, nas empresas mineradoras

O ALTO FORNO

- mistura de minério de ferro e coque entra por cima e é colocada no topo do empilhamento.
- a carga desce e é aquecida pela corrente de gases gerados na reação do ar pré-aquecido injetado, a temperaturas entre 900 °C e 1200 °C.
- Na região acima da ventaneira do alto forno, ocorre fusão do ferro e gotejamento de gusa líquido, que cai no interior do cadinho, na parte inferior do forno.
- Dois subprodutos são formados: escória e gás. A escória e o metal se acumulam no cadinho e se separam por diferença de densidade.
- O gás que sai pelo topo do alto forno é composto de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) e principalmente de nitrogênio (N₂) e após mistura com gases de coqueria é utilizado para pré-aquecer o ar insuflado no alto-forno.



alto forno: primeiro estágio na produção de aço a partir dos óxidos de ferro

primeiros altos fornos >>século 14 >> 1 tonelada de ferro gusa / dia

atualmente: 13.000 toneladas por dia

alto forno: sistema destinado a produzir ferro gusa em estado líquido a uma temperatura em torno de 1500°C, com a qualidade e em quantidade necessárias para o bom andamento dos processos produtivos subsequentes

matérias primas básicas (carregadas pelo topo do forno):

carga metálica (sinter, pelotas, minério granulado)

combustível sólido (coque ou carvão vegetal)

fundentes

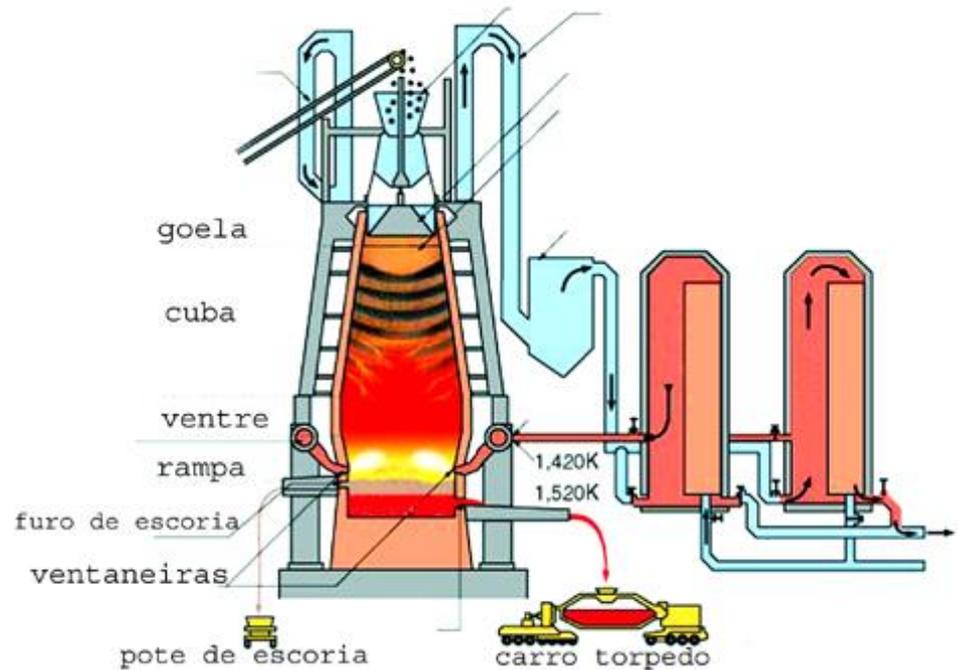
Alto Forno

Redução de Minério de Ferro → Alto Forno: diâmetro= 10 a 14 m, altura = 60 a 70 m

Equipamentos Auxiliares:

- sistema de aquecimento do ar - regeneradores
- sistema de sopragem-turbo-soprador
- sistema de coleta e limpeza dos gases
- sistema de carregamento
- sistema de drenagem (casa de corrida)

Produtos: – GUSA (1.500 °C)
- Escória
- GAF

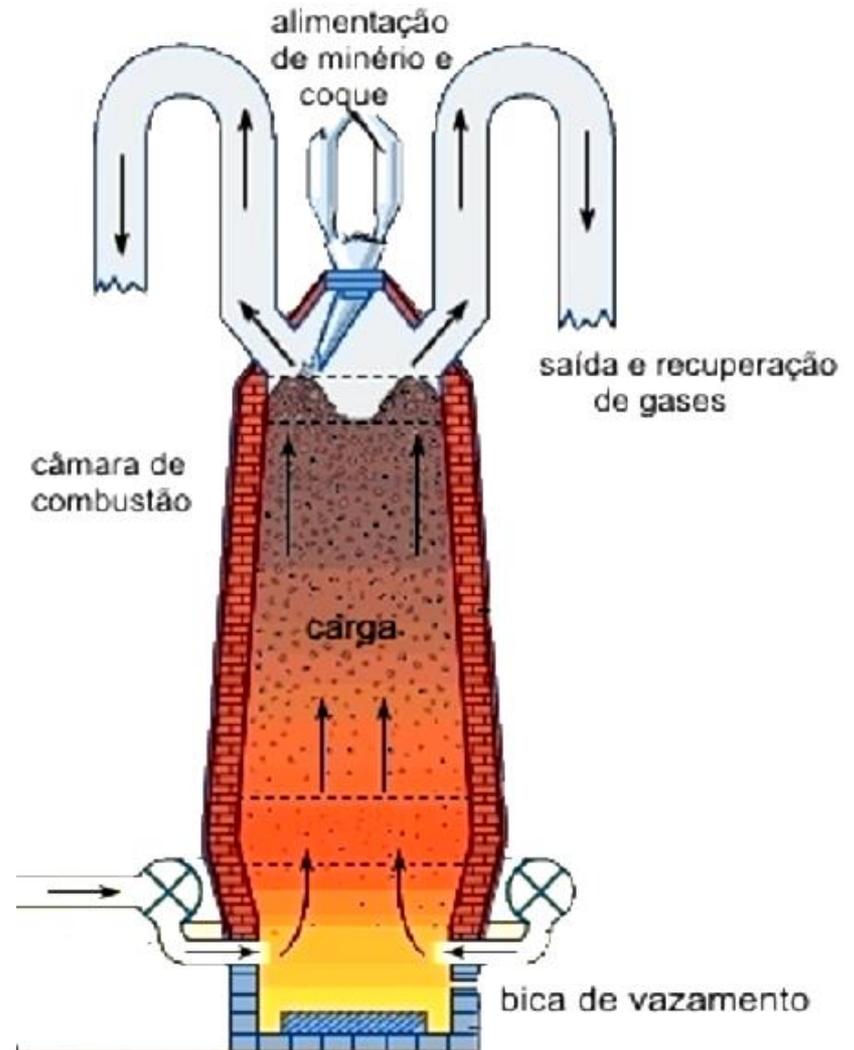


reator mais complexo da metalurgia.

centenas de reações

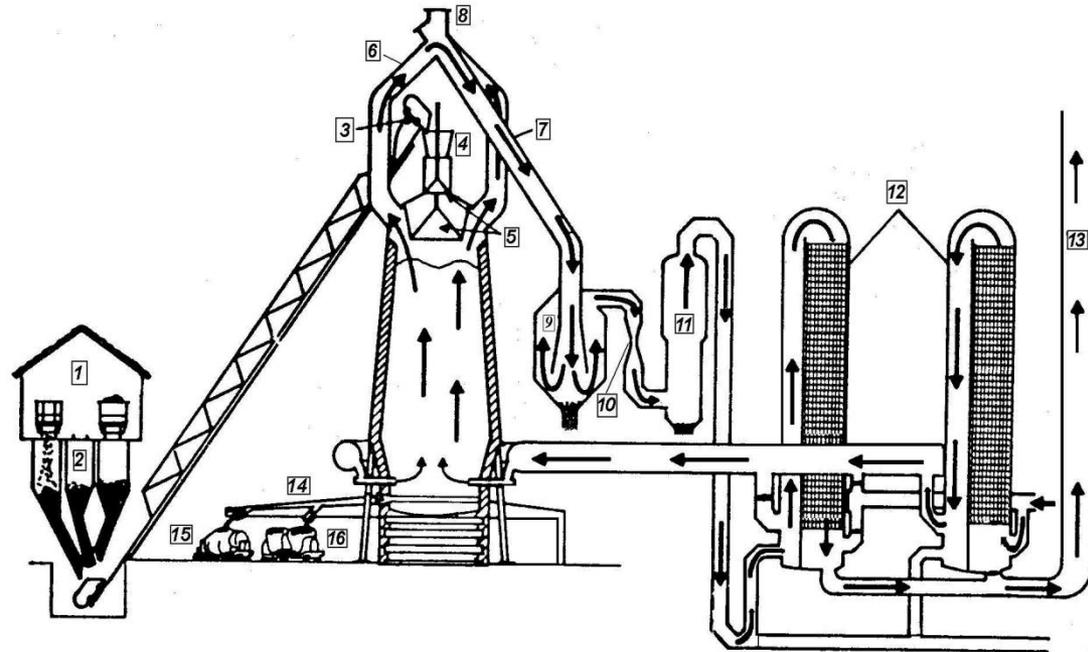
3 estados da matéria:
sólidos, líquidos e gases

grandes gradientes de temperatura, variando de mais de 2000 °C na zona em frente as ventaneiras, até cerca de 150 °C, na região superior onde os gases deixam o forno.

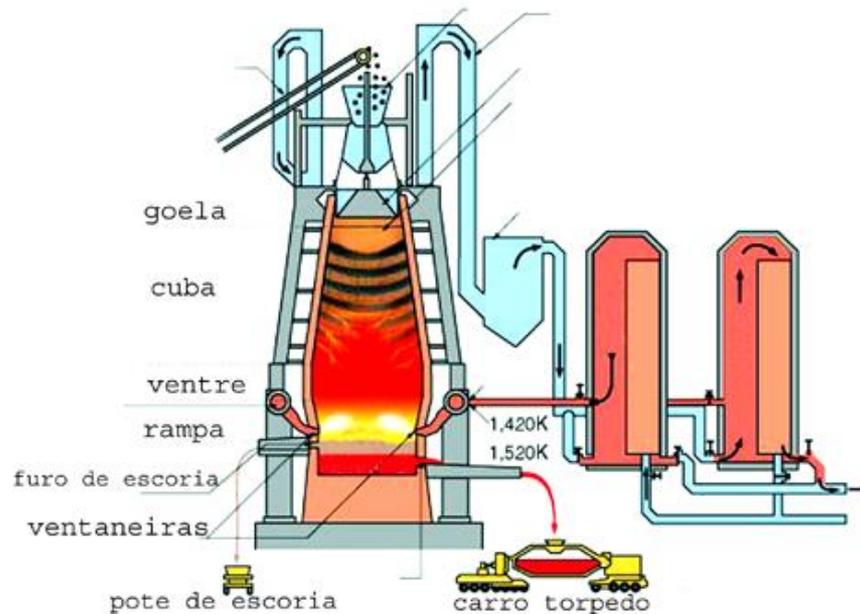


Esquema simplificado do alto forno, indicando os principais equipamentos

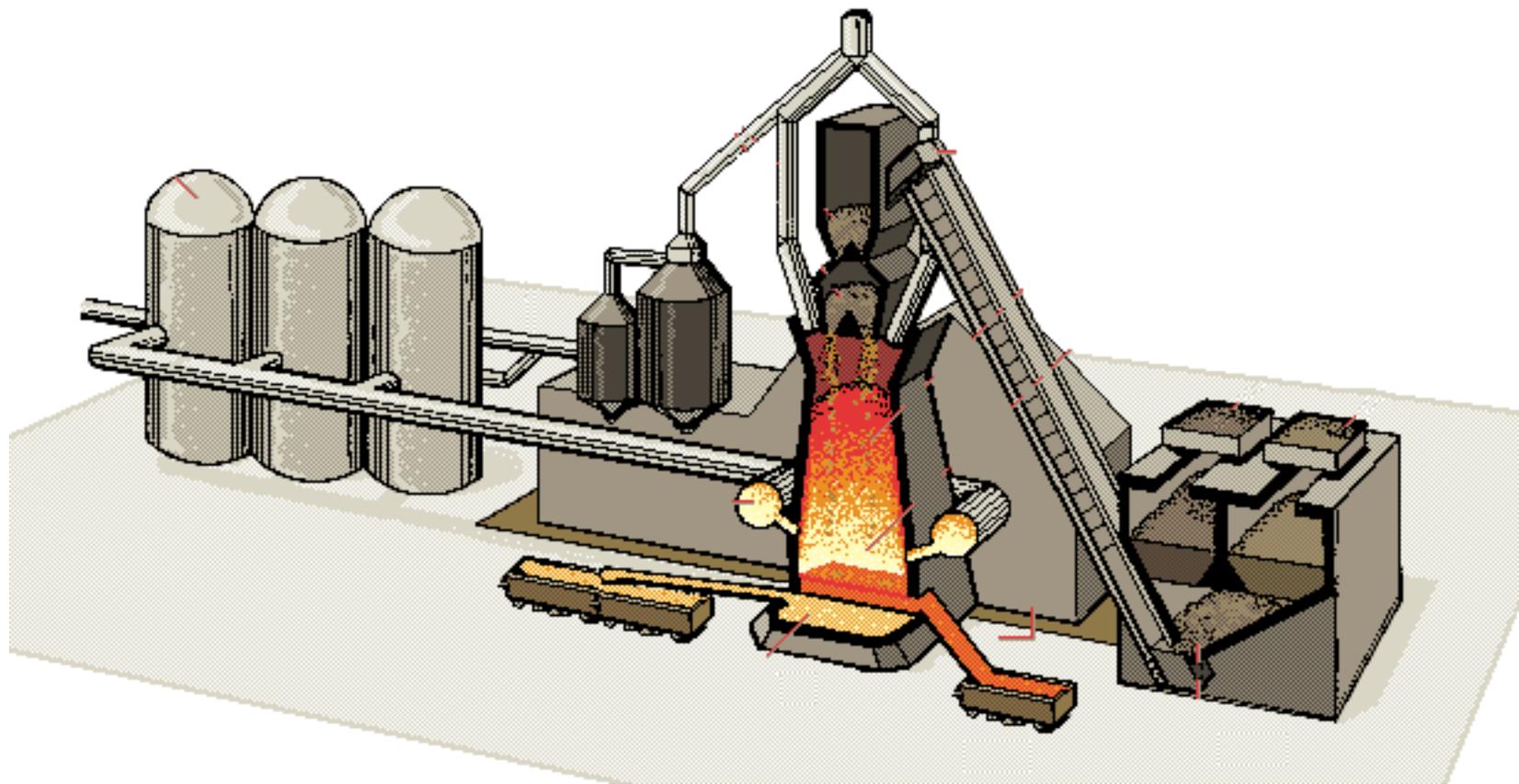
- “casa de silos” (1)
- silos separados (2) equipados com balanças
- carro “skip” (3) ou correia transportadora
- tremonha de recebimento no topo do forno (4)
- cones (5), responsáveis pela selagem dos gases e pela distribuição circunferencial dos materiais na “goela” do forno.
- “uptakes” (6), o gás quente e sujo de pós deixa o forno e flui para cima
- “downcommer” (7)
- válvulas “bleeders” (8) cuja função é permitir a liberação do gás e proteger o topo no caso de uma súbita elevação de pressão do gás
- coletor de pó (9)
- “venturi” (10), onde são removidas as partículas mais finas na forma de lama.
- desumidificador (11) cuja função é reduzir o teor de umidade do gás.
- regeneradores (12)
- chaminé (13).
- o gusa e a escória são separados por diferença de densidade no canal principal (14)
- carros torpedos (15)
- potes de escória (16)



Alto Forno Hoje



- ⇒ 13.000 toneladas de ferro gusa por dia
- ⇒ operação estável
- ⇒ vida útil média de 15 anos (e crescendo)
- ⇒ alta produtividade
- ⇒ baixo consumo de combustível (entre 470 e 500 kg de coque mais combustível injetado)





Produtos do Alto-Forno

Ferro gusa :

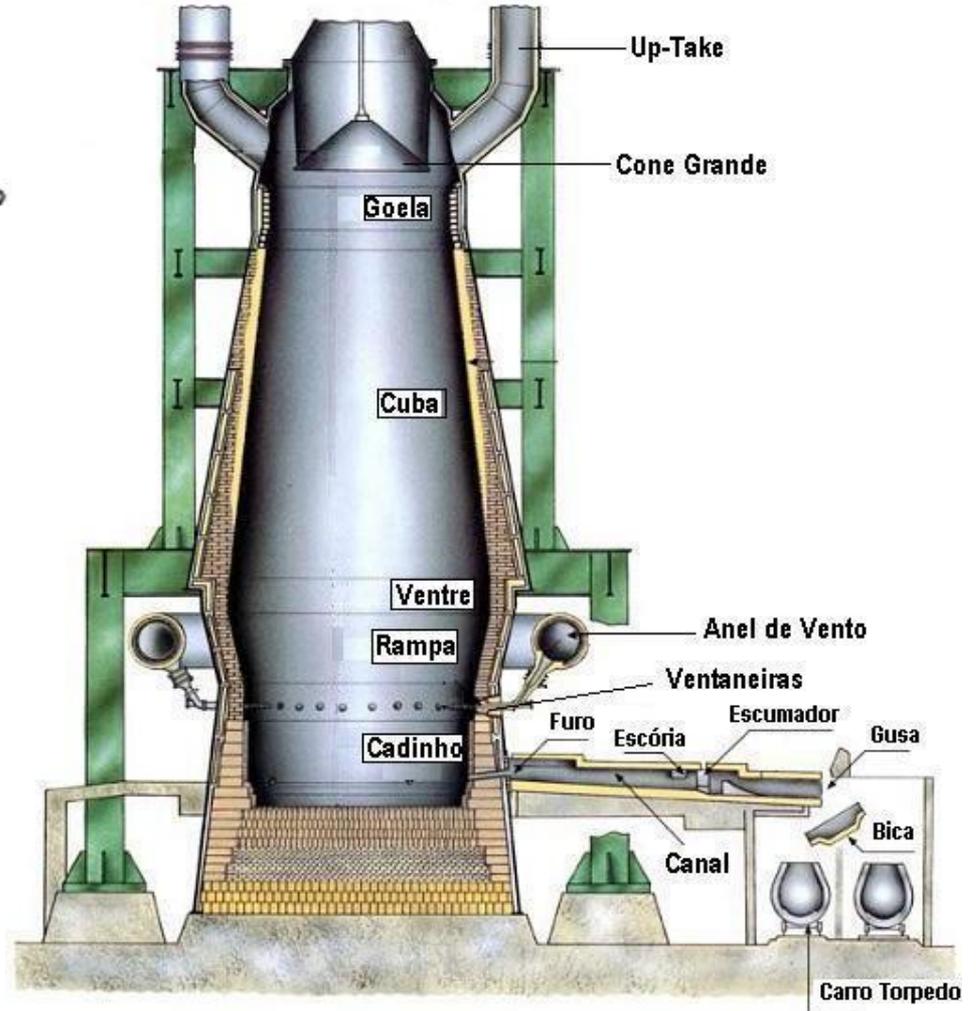
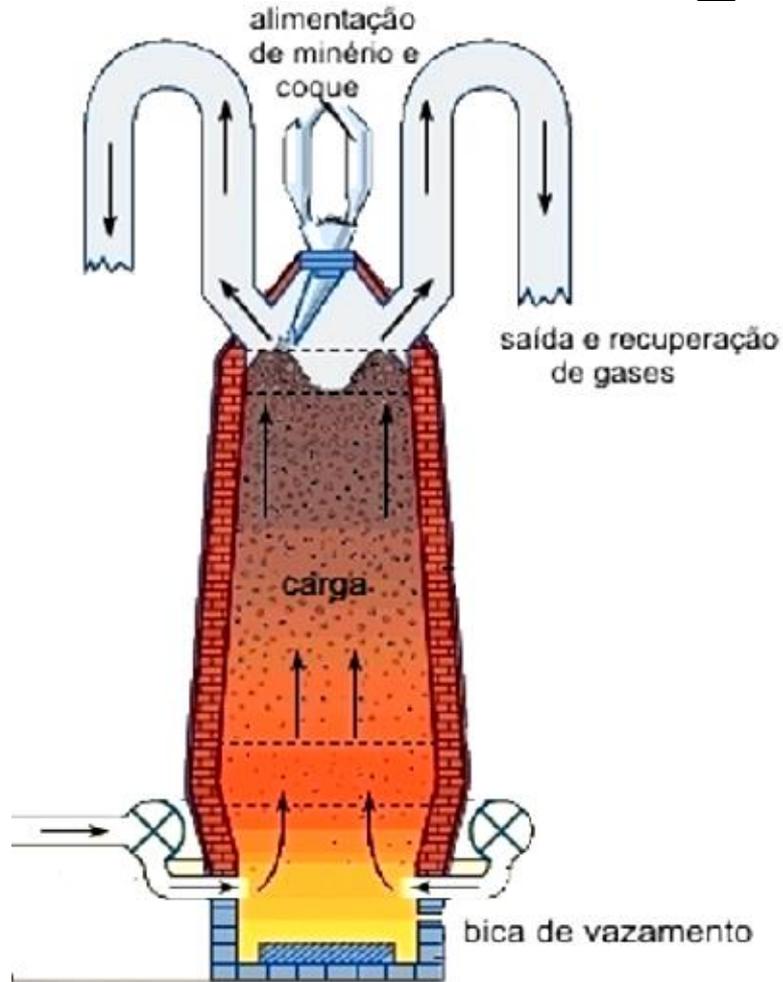
- 4,5 % Carbono
- 0,4% Silício
- 0,3% Manganês
- 0,1 % Fósforo
- 0,03% Enxôfre

Temperatura: 1400-1500 C

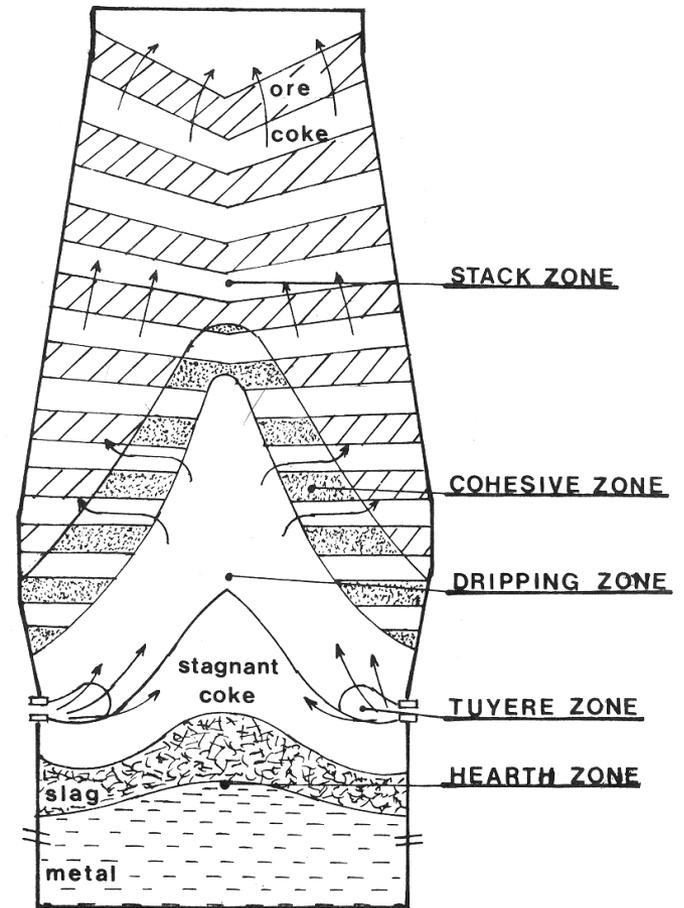
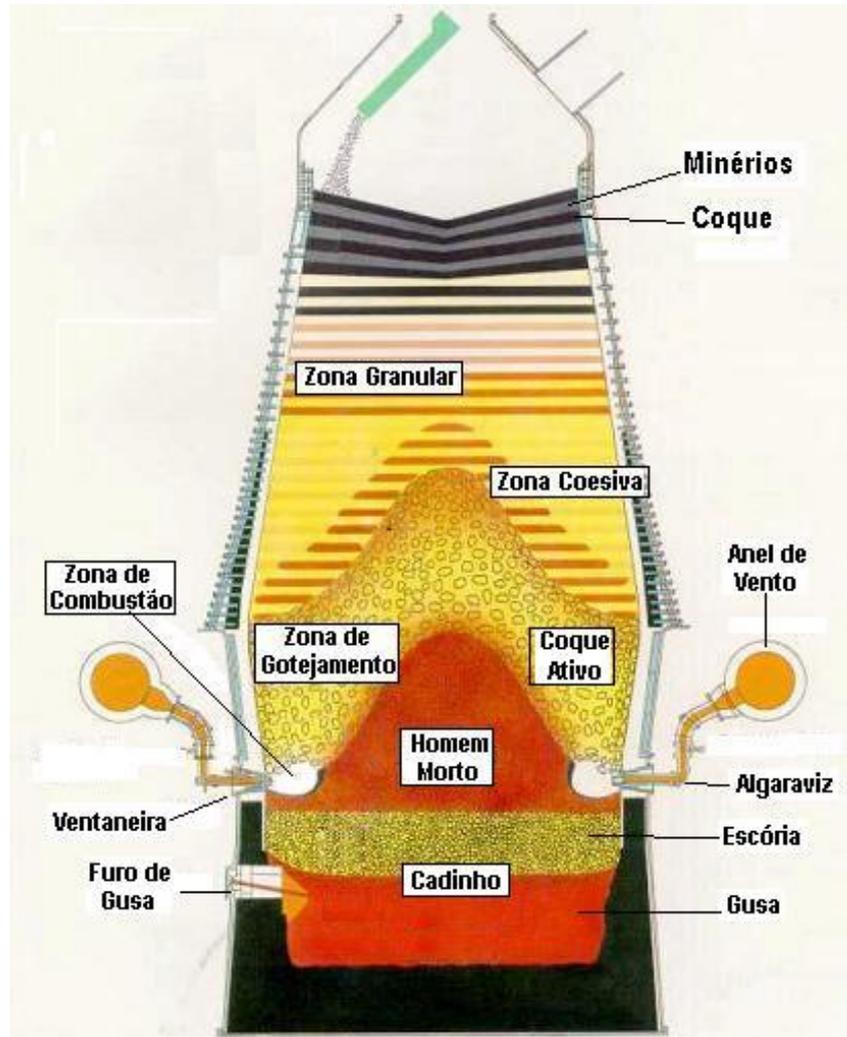
Escória: $\text{SiO}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$

Gás: $\text{CO-CO}_2\text{-N}_2$

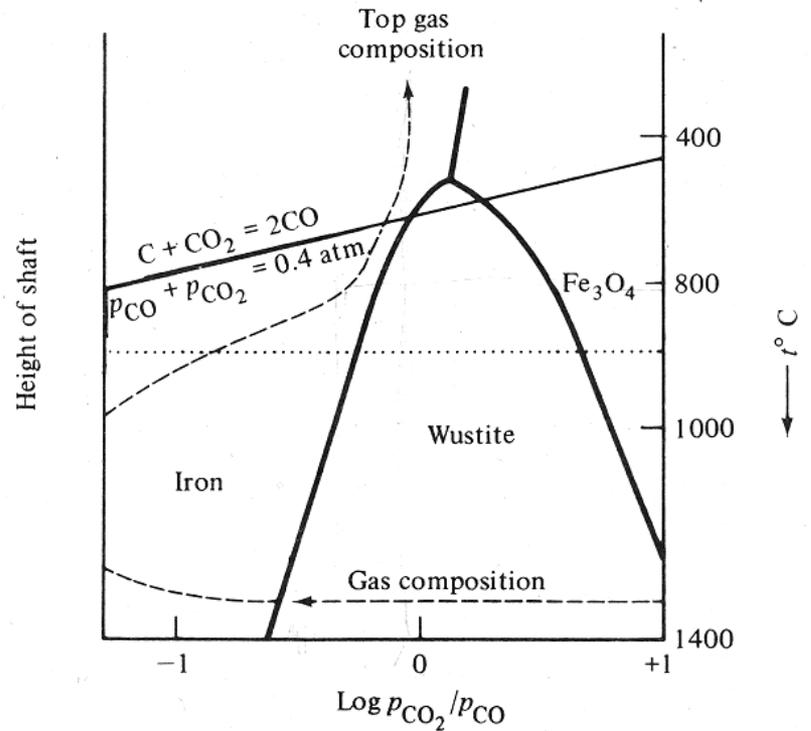
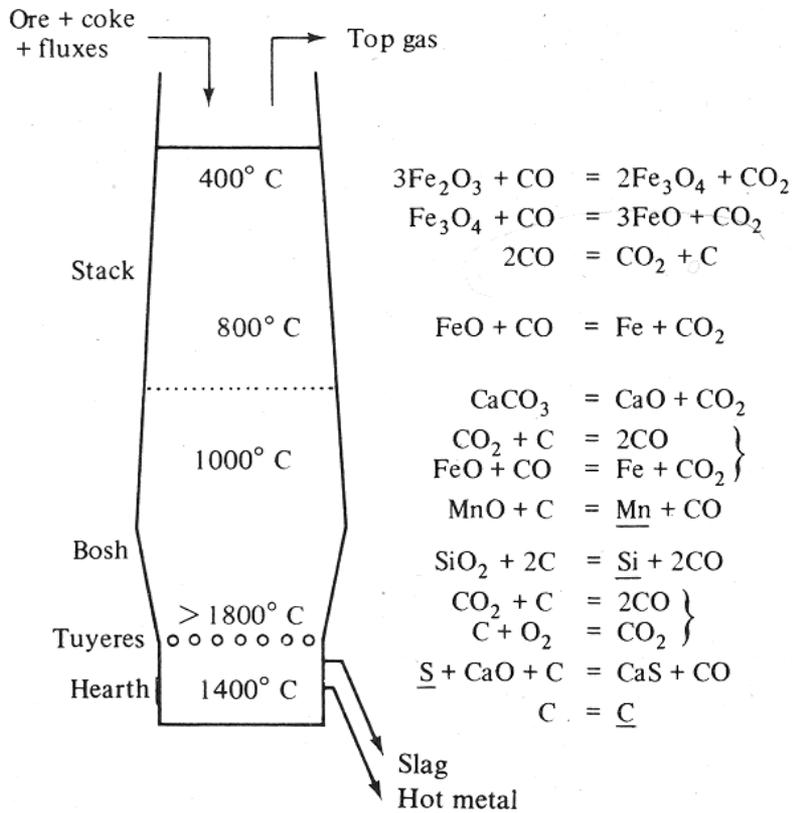
Regiões do AF



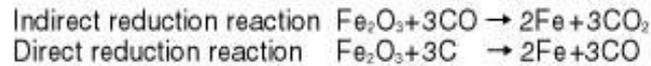
Zonas Internas



Reações



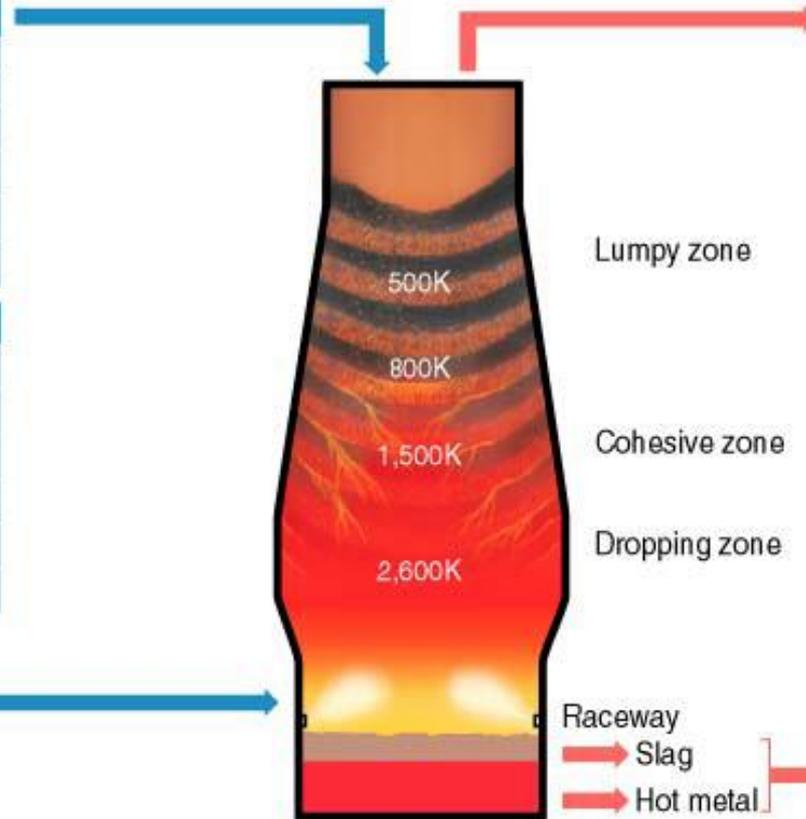
Operating Conditions in Large Blast Furnace (BF)



Charging materials		
Materials	Mean dia. (mm)	Unit consumption (kg/t*)
Coke	50	380
Sintered ore	20	1,160
Lump	25	280
Pellet	12	190

Blasting conditions	
Blast volume (Nm ³ /t*)	995
Pulverized coal (kg/t*)	120
Humidity (kg/Nm ³)	28
Temperature (K)	1,453
Pressure (MPa)	0.40
O ₂ enrichment (vol.%)	2.3

t* = Hot metal ton



Top gas		
Dust (kg/t*)	16	
Gas	Volume (Nm ³ /t*)	1,533
	Temperature (K)	430
	Pressure (MPa)	0.25
	CO (vol.%)	22.0
	CO ₂ (vol.%)	22.8
H ₂ (vol.%)	4.2	

Hot metal, Slag	
Hot metal temp. (K)	1,800
Slag / hot metal ratio	0.30

Composition (mass %)		
	Hot metal	Slag
C	4.50	SiO ₂ 33.8
Si	0.39	CaO 42.5
Mn	0.27	Al ₂ O ₃ 14.3
P	0.10	MgO 6.5
S	0.03	MnO 0.26
		S 0.96

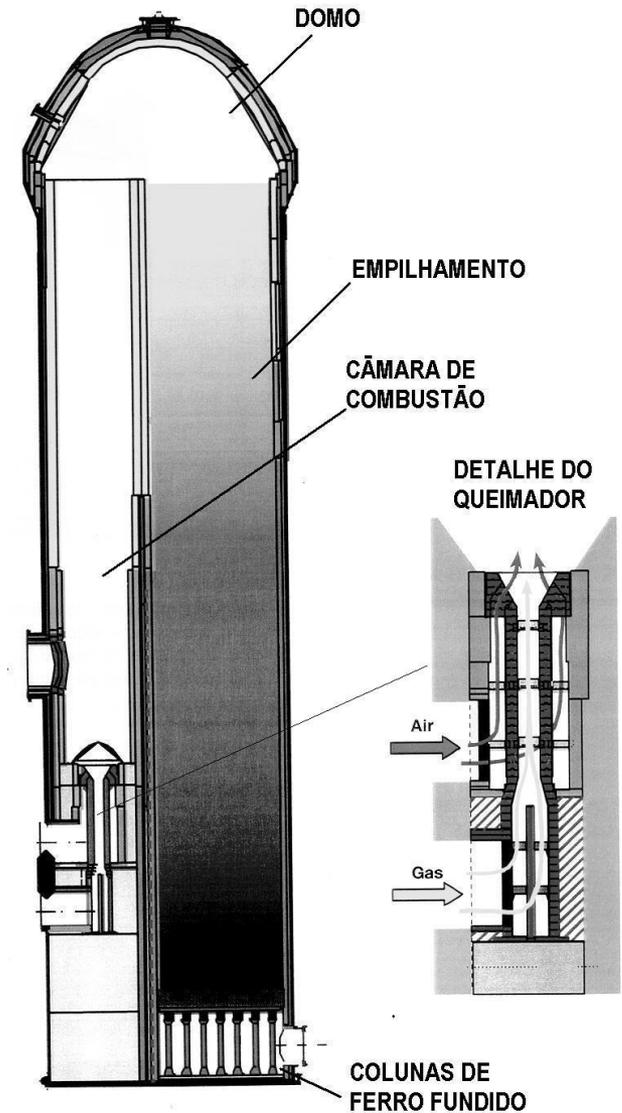
Pré-aquecimento de ar-regeneradores

Têm por função aquecer o ar injetado através das ventaneiras para a combustão do coque. O regenerador recebe o ar na temperatura entre 150 a 200 °C, chamado ar frio, e eleva esta temperatura para a faixa de 1000 a 1250 °C, dependendo de sua capacidade, passando a ser chamado de ar quente.

Combustível utilizado: gás misto, mistura de gases provenientes do próprio alto forno (86 a 94% de GAF) e da coqueria (14 a 6% de GCO).

A câmara de combustão tem grande altura e diâmetro, para evitar o impacto da chama no domo e para alargar mais a chama.

Dimensões típicas: 10,4 m diâmetro, 40 m altura.

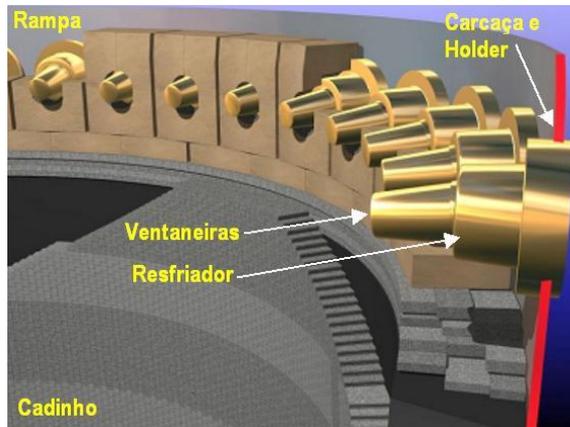


Esquema de um regenerador de alto forno

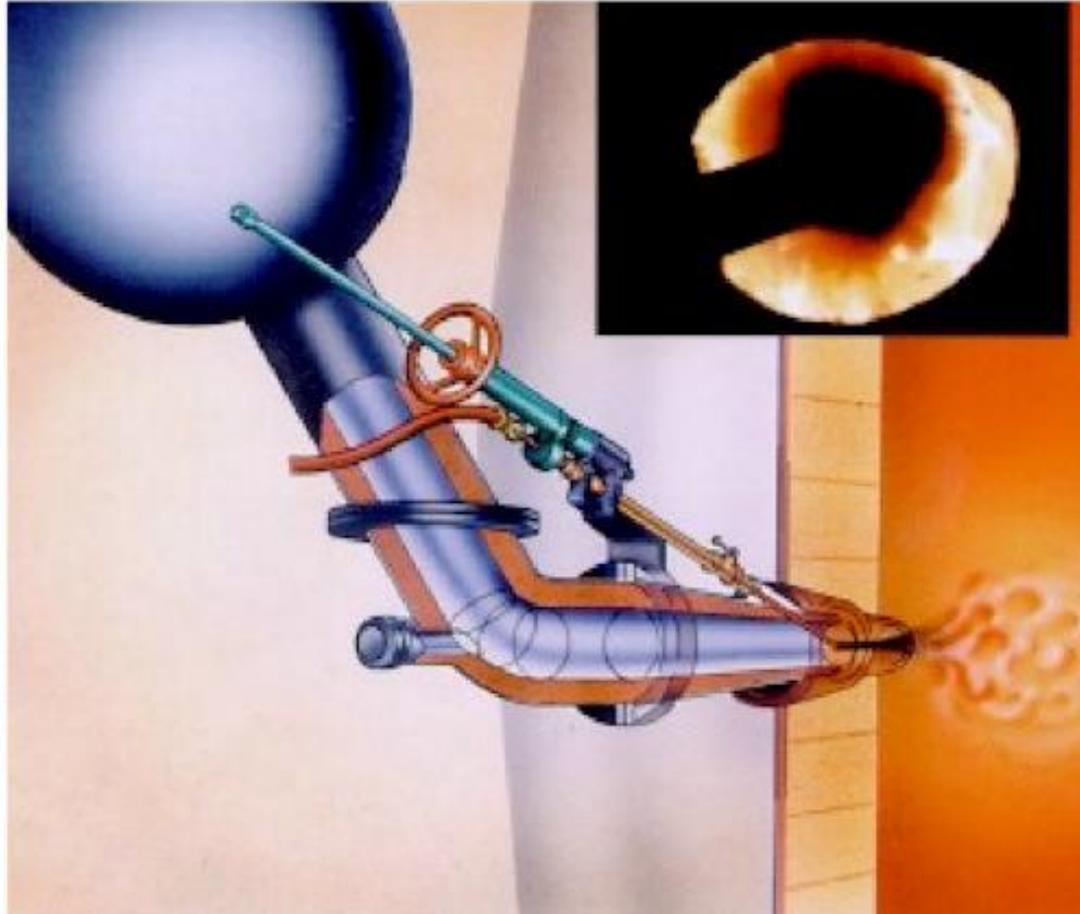
Regeneradores



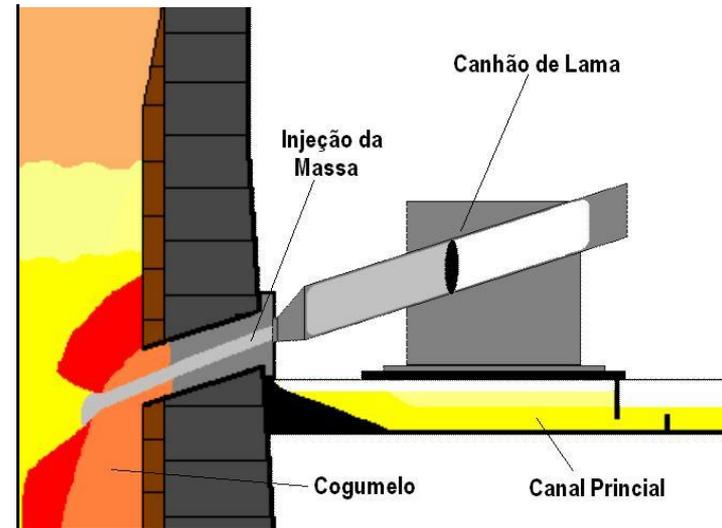
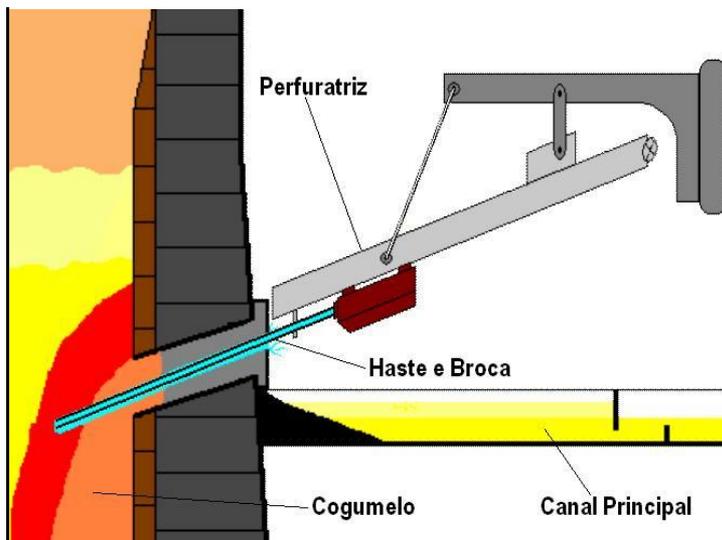
Arranjo das ventaneiras no interior do forno e detalhes internos.



Injeção de carvão pulverizado através de uma lança inserida pela ventaneira. No detalhe a foto, através do visor da ventaneira, do carvão em combustão na ponta da lança

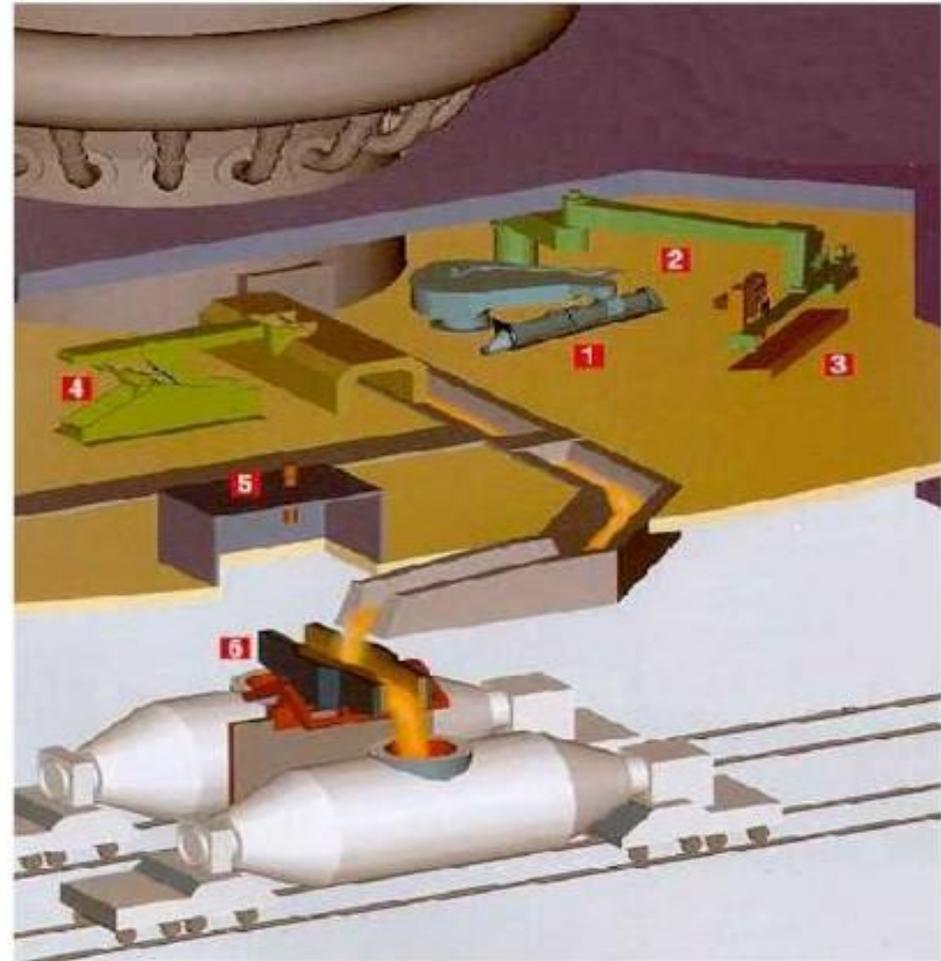


Operação de abertura e fechamento do furo de gusa



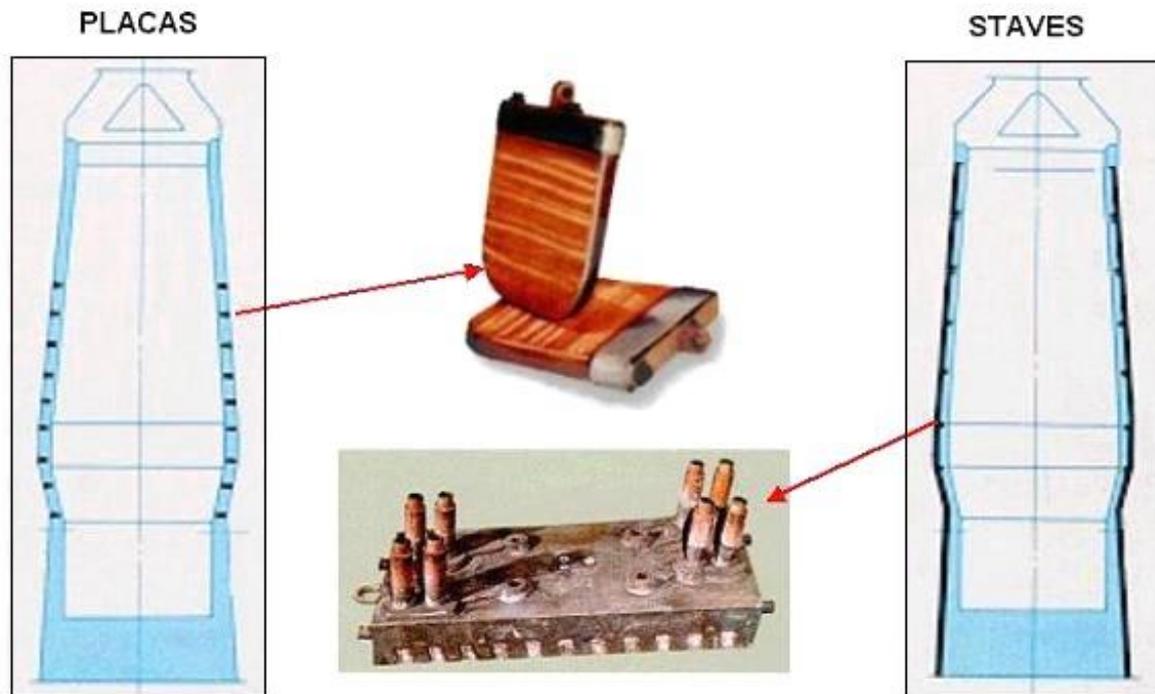
Drenagem do gusa para os carros torpedo

O canhão de lama (1) e a perfuratriz (2) são os equipamentos utilizados para fechar e abrir o furo de gusa. O gusa e a escória, após deixarem o furo na forma de um jato de material líquido, são separados por diferença de densidade no canal principal (3). A escória é direcionada para um sistema de granulação através do canal de escória. O gusa após passar também pelo canal secundário (4), é direcionado para carros torpedos posicionados no piso inferior da casa de corrida, por meio da bica basculante (6), cuja função é permitir a troca dos carros torpedos, direcionando o fluxo de gusa para o carro ao lado. O enchimento do carro torpedo pode ser monitorado automaticamente através de um medidor de nível (5).





Sistemas de refrigeração por Placas e por “Staves”



Avaliação da Performance do Alto-Forno

- **1- Vida Útil Elevada:**
- **2 - Alta Produtividade**
- **3 - Baixo Consumo de Combustível:**
- **4 – Qualidade Adequada:**

Vida Útil Elevada

- altíssimo investimento na construção ou reforma de um alto-forno
- grande esforço para prolongar a vida útil média, ou campanha
- atualmente na faixa de 12 a 18 anos

produtividade

- critério de avaliação: razão entre produção média diária e volume interno do alto-forno (toneladas/dia/m³)
- produtividade média dos altos-fornos brasileiros de 1,80 a 2,80 t/dia/m³

depende de

- idade do forno
- particularidades de cada usina
- condições do mercado de aço
- ocorrência de problemas operacionais
- disponibilidade de oxigênio para enriquecimento do ar soprado
- melhoria da permeabilidade da carga
- redução do “fuel rate

A Produtividade dos Altos-Fornos

- Produtividade: toneladas de gusa produzidas por dia por unidade de volume útil do forno.
- Produção: (tgusa/dia), depende da quantidade de combustíveis queimados nas ventaneiras na unidade de tempo e da quantidade de combustíveis (coque, carvão, etc) necessária para produzir uma unidade de ferro gusa, ou seja, do “fuel rate”.

$$\text{Produção (tgusa / dia)} = \frac{Q (\text{tcombustíveis / dia})}{K (\text{tcombustíveis / tgusa})}$$

onde, K : " fuel rate"

Q : consumo diário de combustíveis

Portanto, a produção pode ser elevada com medidas que aumentem a quantidade de combustíveis queimada e/ou reduzam o “fuel rate”.

consumo de combustível

- medido em kilogramas combustível consumido para a produção de uma tonelada de ferro gusa.
- elevado custo de combustíveis,
- carvão pulverizado injetado diretamente é de custo mais baixo
- importante atingir altas taxas de injeção, mantendo a estabilidade operacional

Qualidade Adequada

- A qualidade do gusa deve estar dentro dos padrões exigidos pelo processo seguinte (Aciaria)
- Isto implica no atendimento de requisitos de composição química e de temperatura cada vez mais restritivos
- A escória também deve ter uma composição adequada à sua utilização mais freqüente, que é a indústria cimenteira

Análises típicas do gusa e da escória de um alto-forno a coque

FERRO-GUSA (% em peso)								
Ti	Si	S	Mn	P	C	Fe	Outros	
0,03	0,38	0,026	0,69	0,091	4,82	93,86	0,1	
ESCÓRIA DE ALTO-FORNO (% em peso)								
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	MnO	TiO ₂	FeO	Outros
34,65	11,59	42,8	6,81	1,22	0,83	0,53	0,35	1,22

