

AÇOS E FERROS FUNDIDOS

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

REFERÊNCIAS:

- **Introdução aos Processos de Fabricação de Produtos Metálicos** – Claudio Shyinti Kiminami / Walman Benício de Castro / Marcelo Falcão de Oliveira, Editora Blücher, **2013**.
- **Introdução à Siderurgia**, Marcelo Breda Mourão et al., ABM, São Paulo, 2007;
- **ASM Handbook Vol. 15 Casting - 1988**, Foundry Technology P.R. Beeley, 1972;
- **Aços e Ligas Especiais**, André Luiz Vasconcelos da Costa e Silva e Paulo Roberto Mei, Edgard Blücher-Villares Metals, segunda edição, 2006.
- **Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns**, Hubertus Colpaert, 4ª. Edição revisada e atualizada por André Luiz Vasconcelos da Costa e Silva, Editora Blücher – Villares Metals, **2008**.

**POR QUE DAR ESPECIAL
ATENÇÃO AOS AÇÓS?**

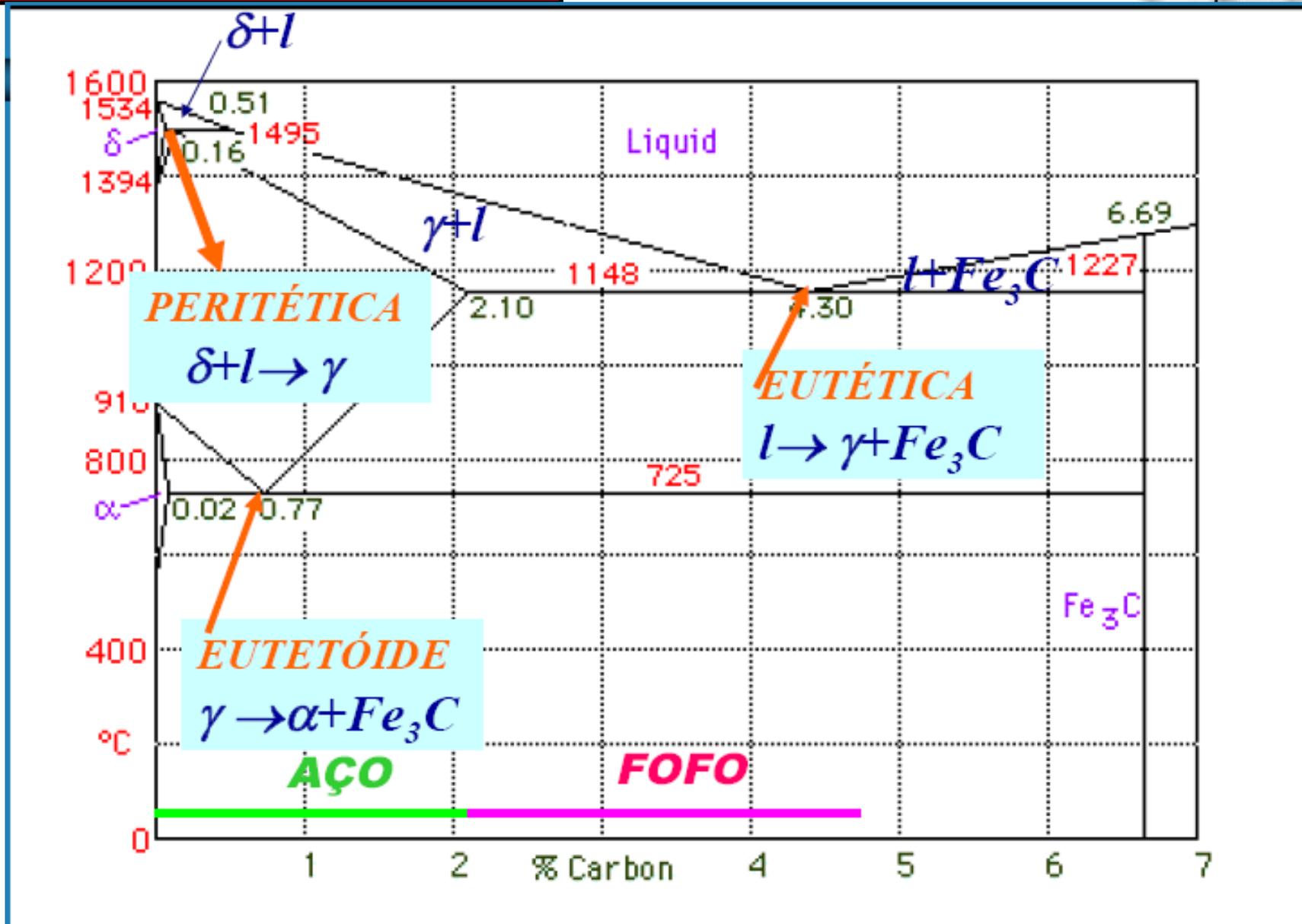
Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

- **Produção mundial de plástico (ABIPLAST):**
~200.000.000 t/ano
- **Produção mundial **Cu e Al**:**
~120.000.000 t/ano
- **Produção mundial de Nb:**
~100.000t/ano-85% CBMM
- **Produção mundial de aço (World Steel Association) em 2014:**
1.646.729.000 t
- **Produção mundial de aço (World Steel Association) em 2015**
1.599.484.000 t
- **Produção mundial de ferro fundido**
~**100.000.000 t/ano**

O QUE É AÇO?

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

DIAGRAMA DE FASES



PERITÉTICA
 $\delta + l \rightarrow \gamma$

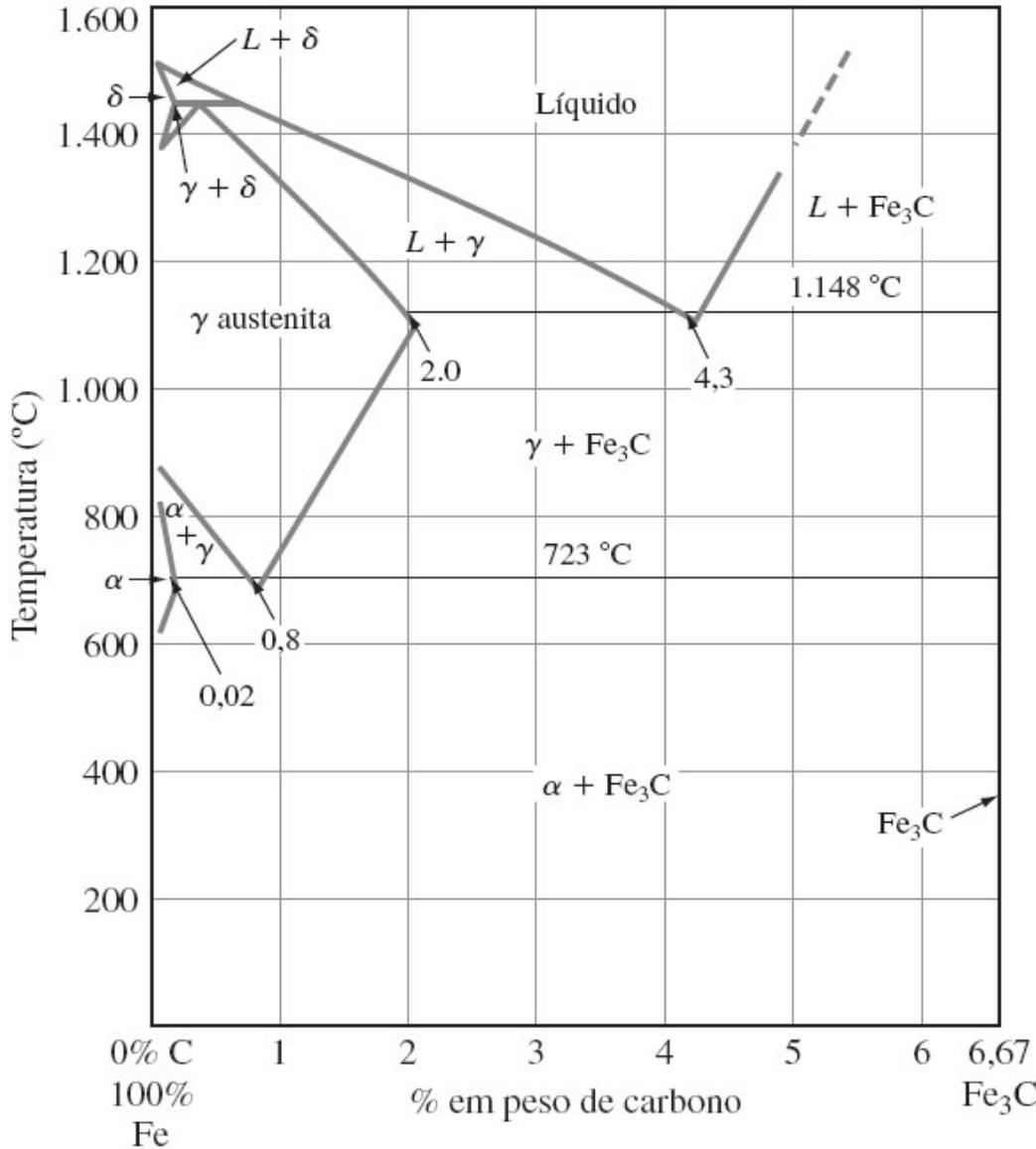
EUTÉTICA
 $l \rightarrow \gamma + Fe_3C$

EUTETÓIDE
 $\gamma \rightarrow \alpha + Fe_3C$

AÇO

FOFO

DIAGRAMA DE FASES



(Smith)

iredo Terra Ruchert

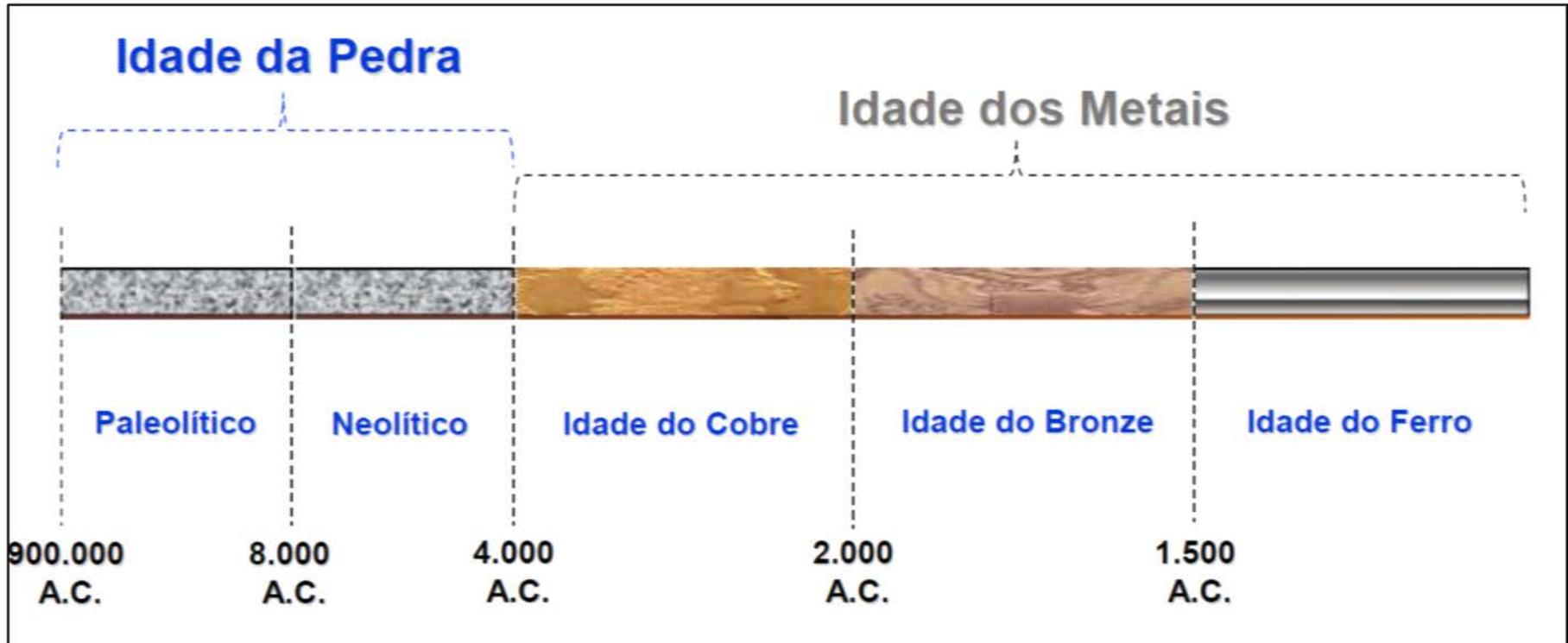
- **Ferrita (δ):** Solução sólida de C em Fe CCC – 1.394°C a 1.538°C. Solubilidade máxima de 0,09% de C em 1.495°C ($a=2,91\text{\AA}$)
- **Austenita (γ):** Solução sólida de C no Fe CFC- 727°C a 1.495°C. Solubilidade máxima de C-2,11 % a 2,14%, em 1148°;
- **Ferrita (α):** Solução sólida de C no Fe CCC – até 912°. Solubilidade máxima 0,020% de C em 723°C a 727°C ($a=2,88\text{\AA}$);
- **Cementita (Fe_3C):** ortorrômbico, alta dureza;
- **Perlita: microconstituente** formado por α e Fe_3C .

PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DO AÇO

- REDUÇÃO DIRETA (PRIMEIRO);
- ALTO-FORNO (FERRO FUNDIDO);
- ACIARIA ELÉTRICA.

**HISTÓRICO DA METALURGIA
E SIDERURGIA**

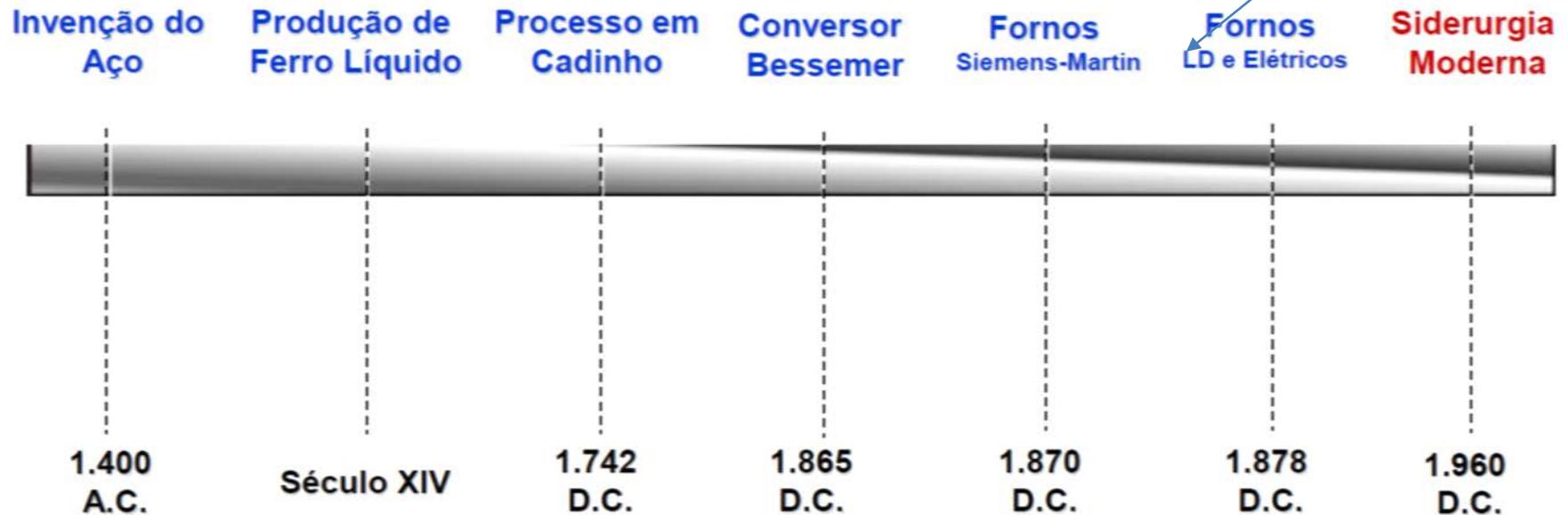
Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert



Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

Histórico do Aço

Processo Linz-Donawitz
(Conversor a Oxigênio)



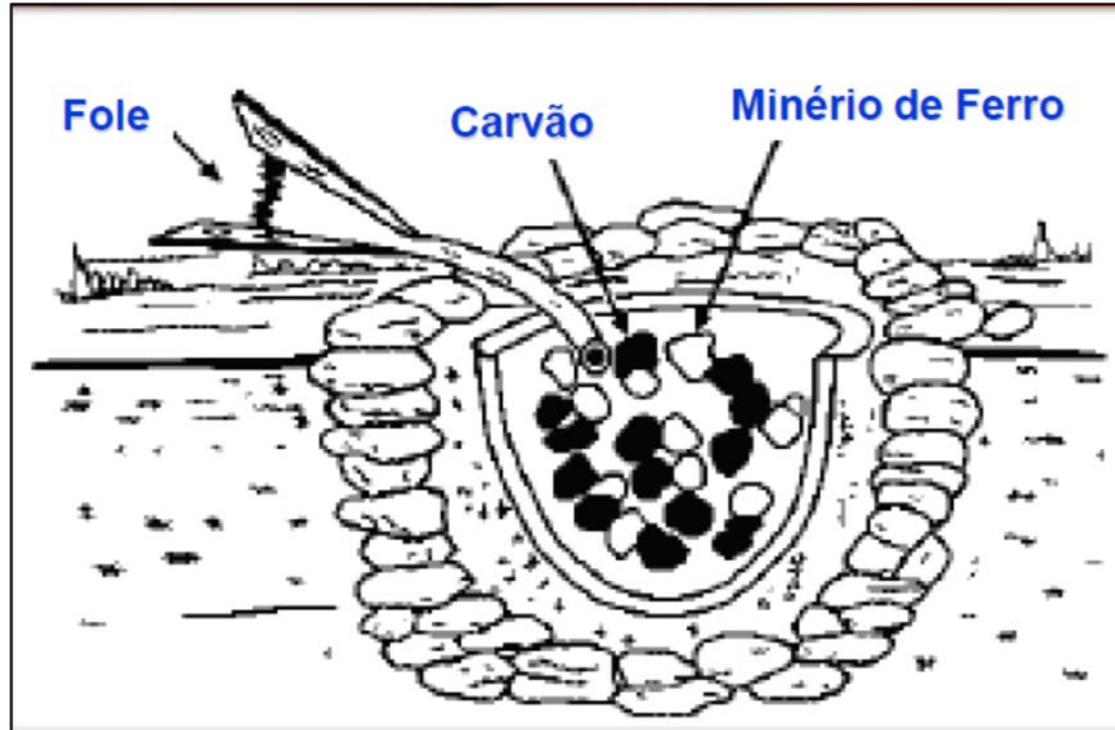
Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

- Do Latim: **SIDEREUS**, “relativo aos astros”, de **SIDUS**, “estrela, constelação”- primeira observação de ligas de ferro: meteoritos;
- Do Grego: **SIDEROS**, “ferro”, mais **ERGON**, “trabalho”: ferro trabalhado= aço ou ferro fundido;
- **AÇO**: Do latim **ACIES**- agudo, afiado.

SURGIMENTO DO AÇO



Hititas - Sul da Turquia (1.400 AC)- processo para produção de espadas.



Século V A.C. - chineses, que já haviam inventado a roda, começaram a fabricar o ferro carburado, mais tarde chamado ferro-gusa;

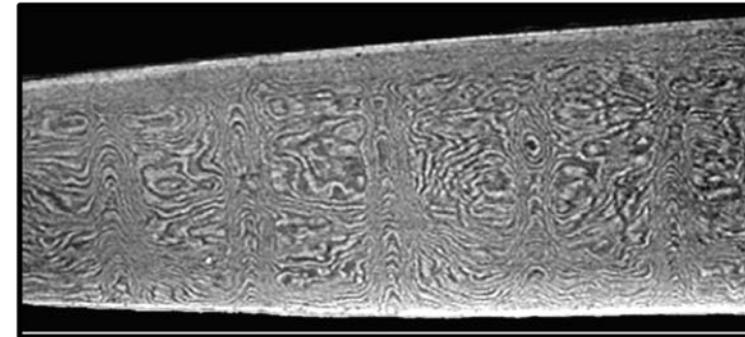
23-79 D.C. - primeiros registros de estudos metalúrgicos -manuscritos de Pliny.

HISTÓRIA – PRIMEIRO MILÊNIO D.C. – AÇO DE DAMASCO



	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	Cu
Damascus	1.41	<0.01	0.098	0.006	0.05	0.04	<0.01	<0.01	0.09

Journal of Materials Engineering and Performance 286—Volume 9(3) June 2000 *John D. Verhoeven*

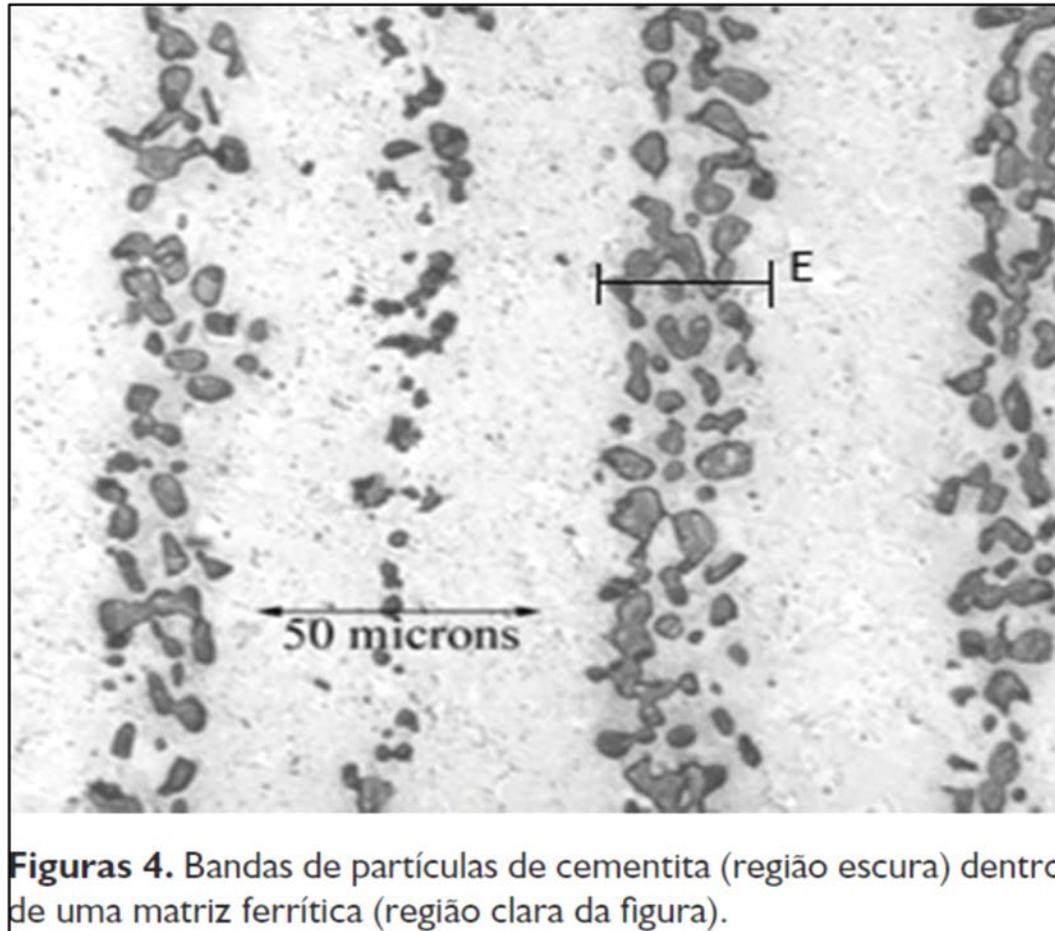


J.D. Verhoeven, A.H. Pendray, and W.E. Dauksch 2004 September • JOM

Image source (http://www.flickr.com/photos/jasleen_kaur/4211340481/)

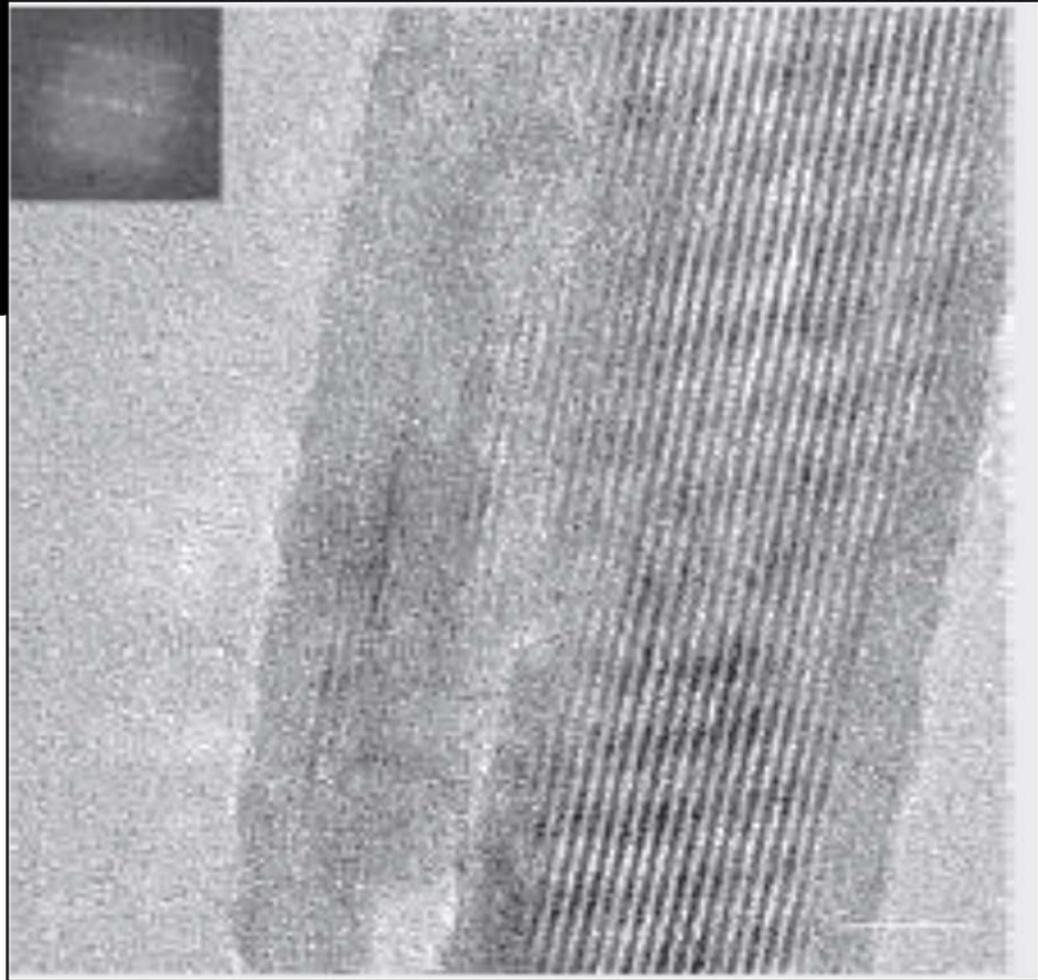
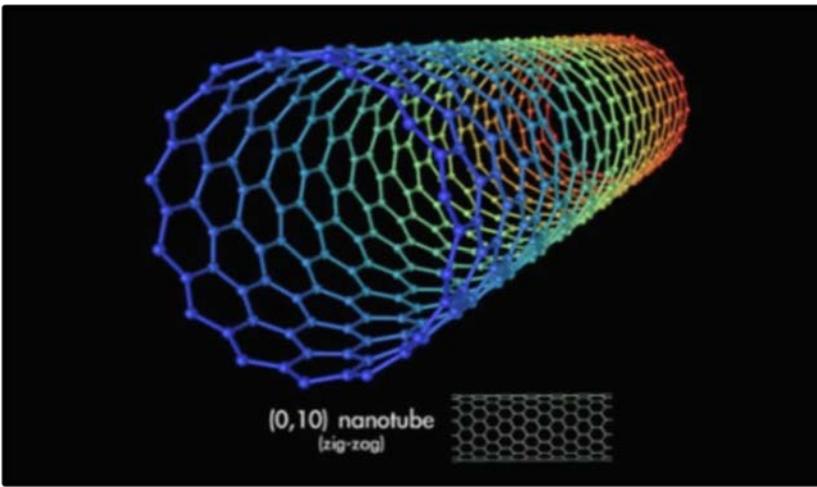


s Olivio Figu



Figuras 4. Bandas de partículas de cementita (região escura) dentro de uma matriz ferrítica (região clara da figura).

CARBONETOS ALINHADOS EM MATRIZ PERLÍTICA.



*“Remnants of cementite
nanowires encapsulated by
carbon
Nanotubes”*

HISTÓRIA

Minas específicas da Índia

Minério com traços de V, Mn, Cr, Co e Ni.

Fundição com madeira da "Cassia auriculata" e folhas da "Calotropis gigantean"



Cassia auriculata



Calotropis gigantean

AÇO WOOTZ

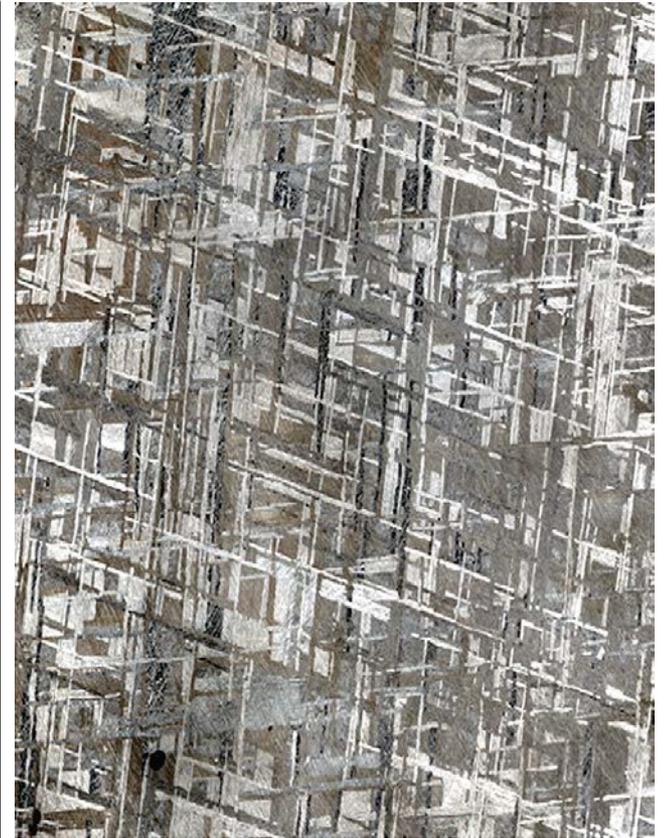
DAMASCO-SÍRIA

Forjamento e tratamentos térmicos cíclicos



- **1556** - Agrícola escreve “**de re metallica**”;
- **1600**- primeira **observação da alotropia do ferro** - **Gilbert**
- **1622** – **Primeiro alto forno** - Falling Creek nos EUA – **nunca** foi utilizado. **Os índios mataram** o mestre de obras, os trabalhadores e **destruíram o equipamento**;
- **1645** – **Primeiro alto-forno** a entrar em operação– EUA;
- **1646** – **Primeira produção de gusa** nos EUA, às margens do rio Sauga, Lynn, Massachussets-**alto-forno** com foles acionados por roda d’água.

- **1775** – Grignon (operador de alto forno) fez o primeiro desenho da “**estrutura dendrítica**” e observou **grãos em metais**;
- **1808** – **Aloys Von Widmanstätten** observa estruturas ferríticas no meteorito “**Agram**”;
- **1864** – **Henry Clifton Sorby** (**Woodbourne**, perto de Sheffield, South Yorkshire, 10 de maio de 1826 — **Broomfield**, perto de Sheffield, 9 de março de 1908) – **geólogo** – “**Pai da Metalurgia Física**”- observou a “**Perlita**” e “**ferrita**”;
- **1895** – **Osmond** cria o termo “**Martensita**” em homenagem à **Martens**.



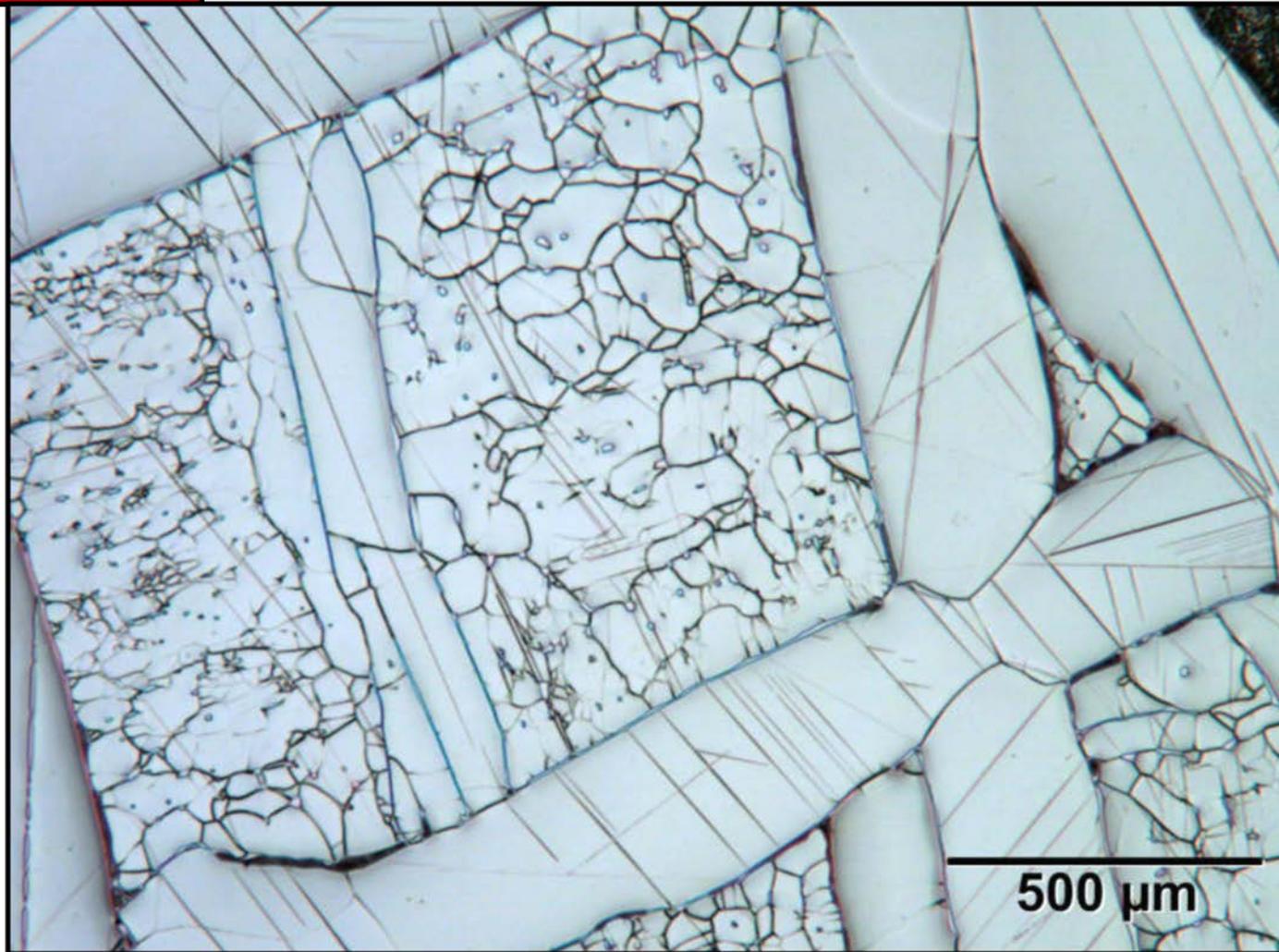
Meteorito de Ferro-Níquel (siderito) – estrutura de Widmanstätten

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

História:

Devem seu nome ao conde Alois von Beckh Widmanstätten, quem supostamente descobriu-as em 1808 . No entanto, a princípios do século XIX, o geólogo britânico G. Thomson (seu nome é desconhecido) descobriu-as tratando a pallasita Krasnojarsk com uma solução de ácido nítrico. É por isso que às estruturas de Widmanstatten também lhas conhece como estruturas Thomson.

Os ângulos que apresentam as bandas quando se observa uma secção polida de um meteorito dependem de como se tenha realizado o corte de dita secção. A Fé-Nem apresenta uma estrutura cristalina octaédrica; assim, se os ângulos são de 60° ou 120° , quer dizer que o corte é paralelo a uma das caras do octaedro. Se o corte é perpendicular ao eixo principal, os ângulos serão de 90° .



Meteorito de ferro-Níquel. Bandas de Kamacita ($\text{Fe}\alpha+\text{Ni}$) em contorno de Plessita ($\text{Fe}\alpha+\text{Fe}\gamma$)

Henry Clifton Sorby
(Woodbourne, perto de
Sheffield, South Yorkshire,
10 de maio de 1826 —
Broomfield, perto de
Sheffield, 9 de março de
1908)



Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

○ Adolf Martens 1850 – 1914



Seção metalográfica de uma amostra de aço com "Spiegeleisen" (Martens, 1878)



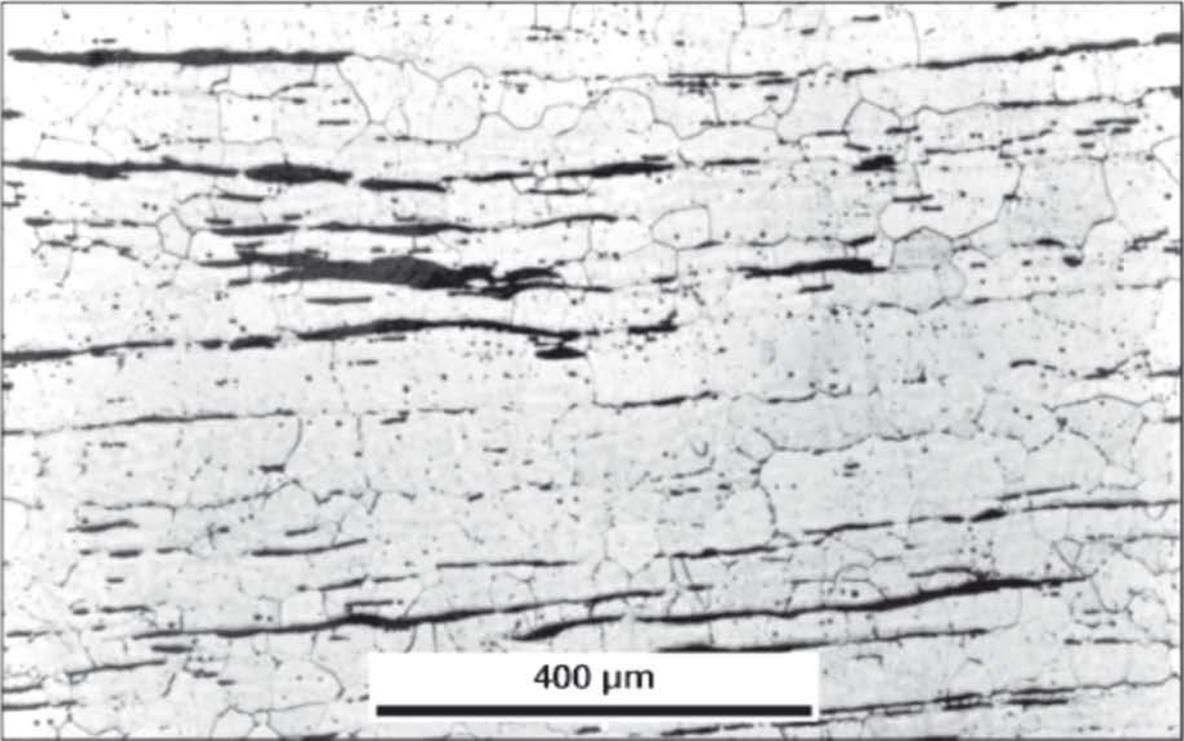
Spiegeleisen (literally "mirror-iron", [German](#): *Spiegel*—[mirror](#) or [specular](#); *Eisen*—[iron](#)) is a [ferromanganese alloy](#) containing approximately 15% [manganese](#) and small quantities of [carbon](#) and [silicon](#).

- Redução direta precedeu o alto-forno: estado sólido na presença de um redutor sólido (carvão) ou gasoso ($\text{CH}_4, \text{CO} + \text{H}_2$);
- Produto da redução direta: **ferro esponja (poroso)**;
- Hoje ainda-matéria-prima para aciaria elétrica: fonte de carbono (Fe_3C);
- Até início do séc. XX : obtenção do Fe com baixo teor de C “Forjamento”;
- Final do séc. XVII - “Forjas”: minério de Ferro+ carvão vegetal+ calcário (reduzir o PF) – Forja de ferreiro- Ferro Forjado;
- Séc.XVIII – Henry Cort: redução direta em fornos de pudlagem (Puddle-argila);
- Produto: Ferro pudlado (escórias, inclusões).

FABRICAÇÃO DO AÇO

Figura 2.4

Exemplo de ferro “forjado” (*wrought iron*). A matriz é composta de ferrita com teor de carbono muito baixo. Grande quantidade de inclusões não-metálicas à base de silicato (escória do processo de fabricação). As inclusões são alongadas na direção de maior deformação no forjamento, pois eram plásticas na temperatura de trabalho. (Ataque: Nital 2%)
 Cortesia de DoITPoMS, Department of Materials Science and Metallurgy, University of Cambridge [7].



(Colpaert)

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

FABRICAÇÃO DO AÇO

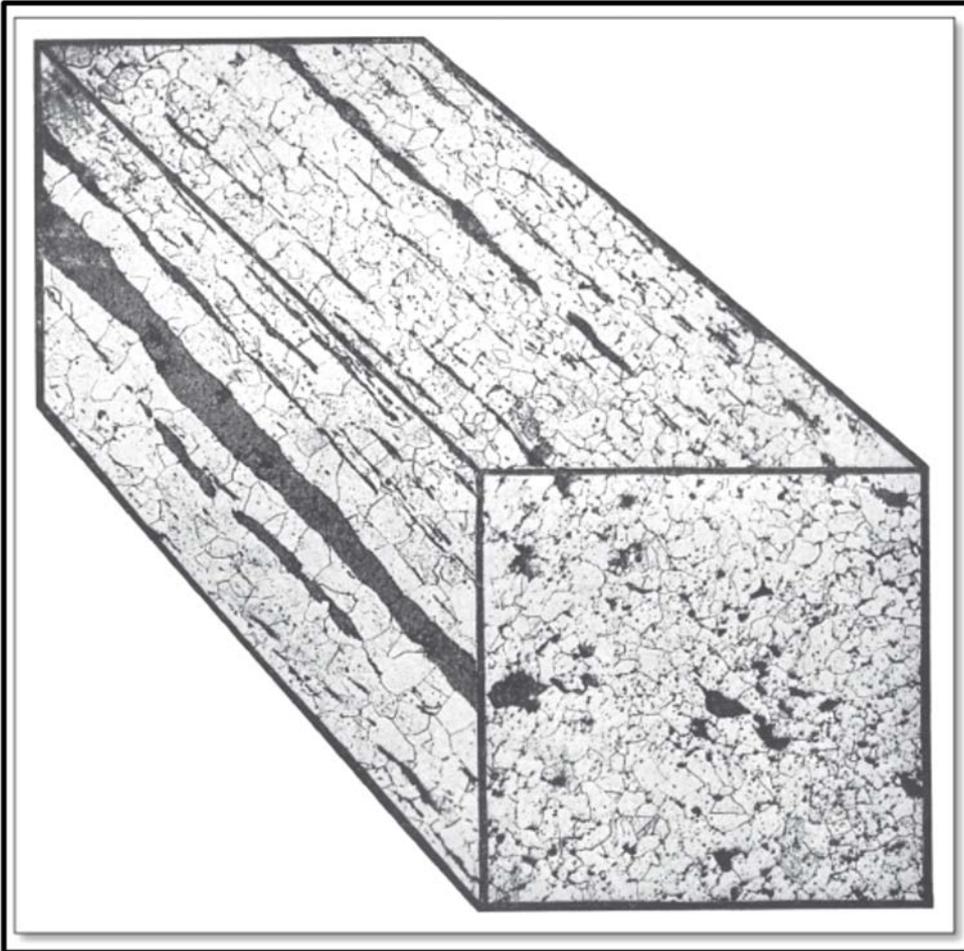


Figura 2.5

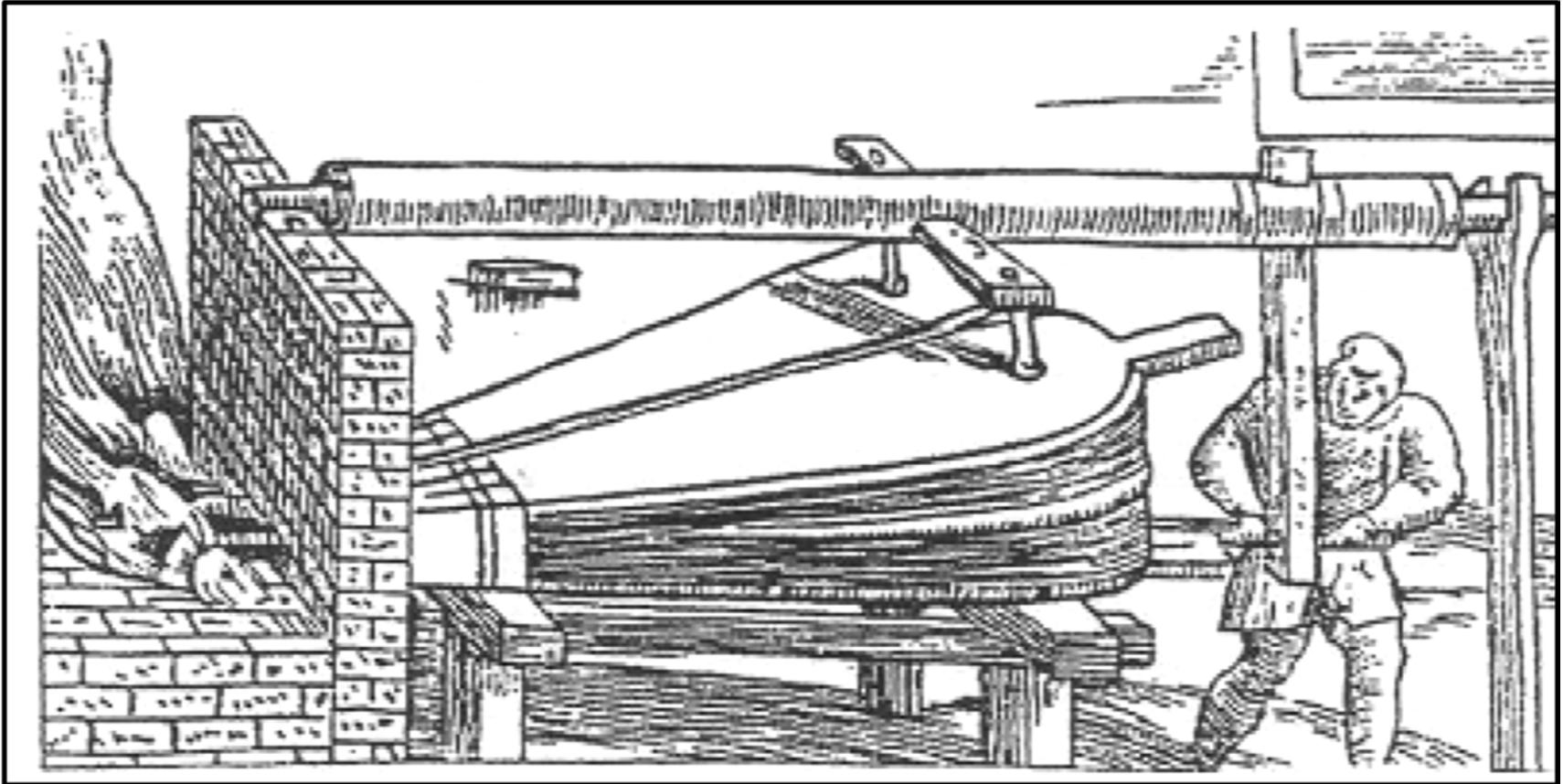
Ferro “forjado”. Reconstrução tridimensional com três micrografias. Reproduzido de [8]. Observa-se o alongamento das inclusões não-metálicas na direção de forjamento.

FERRO “PUDLADO”

(Colpaert)

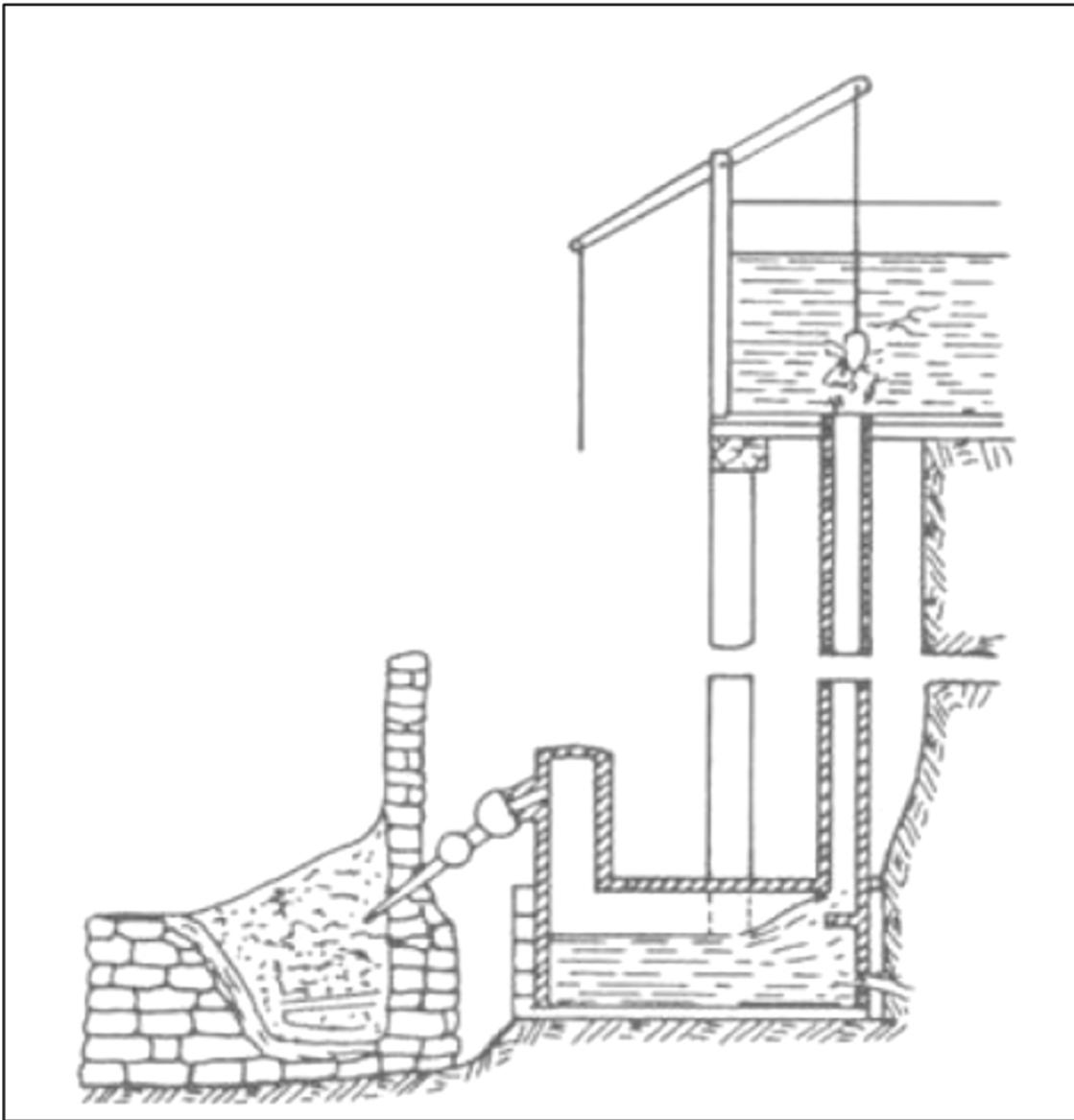
Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

REDUÇÃO DIRETA



Forja com insuflação de ar manual

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert



A Forja Catalã era diferente das demais, pela altura e por usar insuflação de ar a partir de uma “trompa” d’água e não de foles.

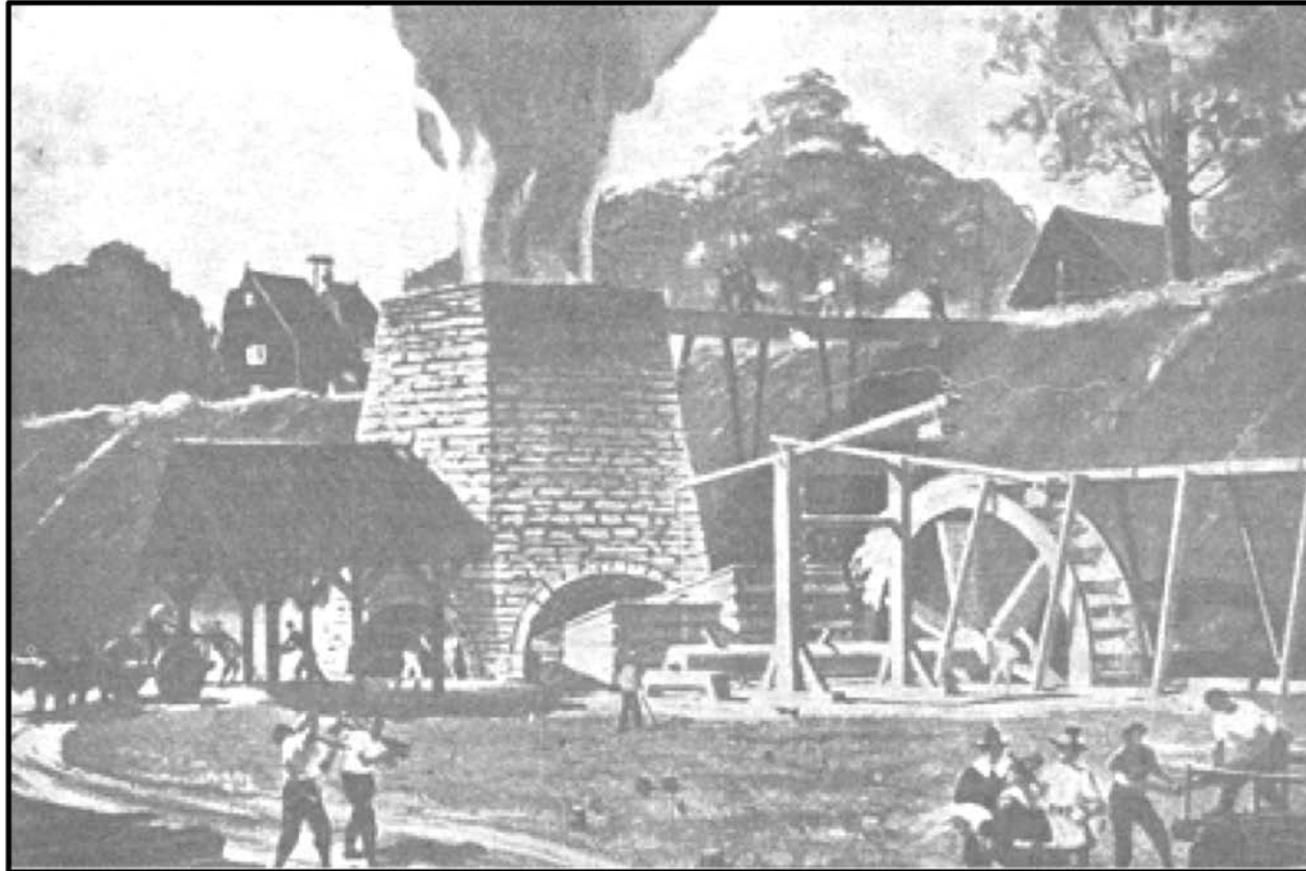
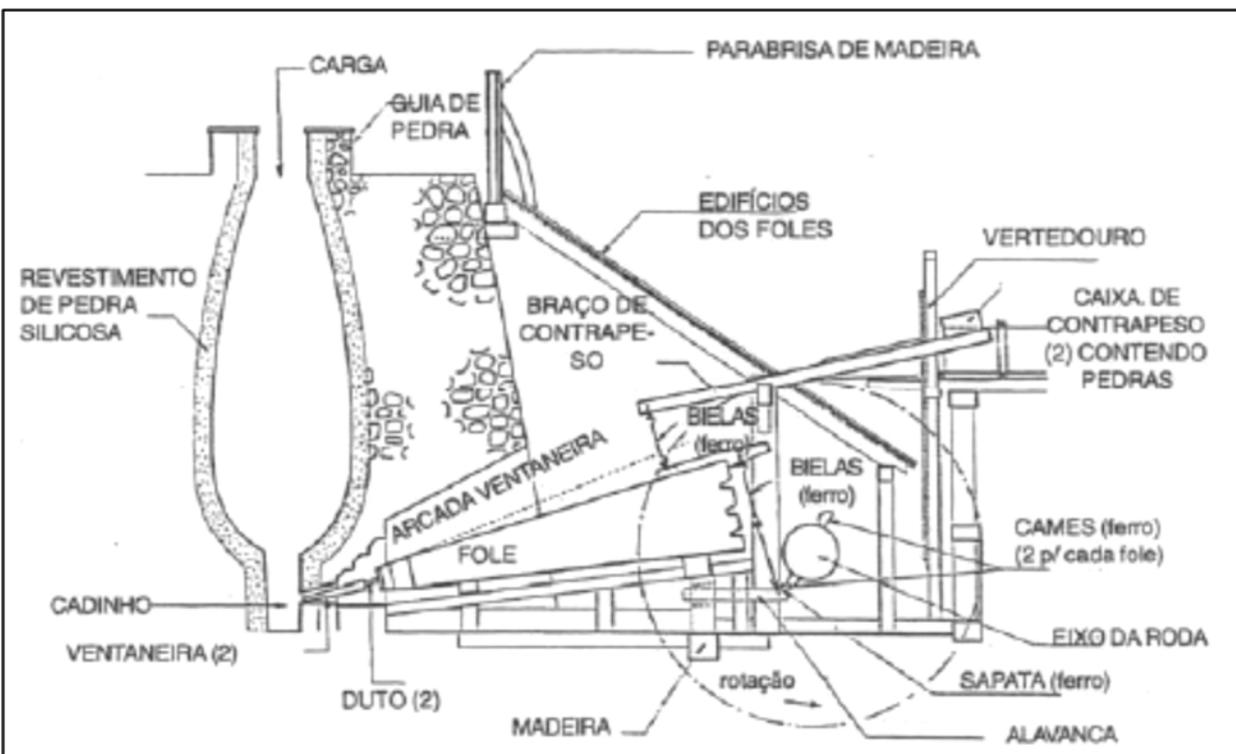


Foto de um alto forno americano do século XVII, com foles acionados por roda d'água

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert



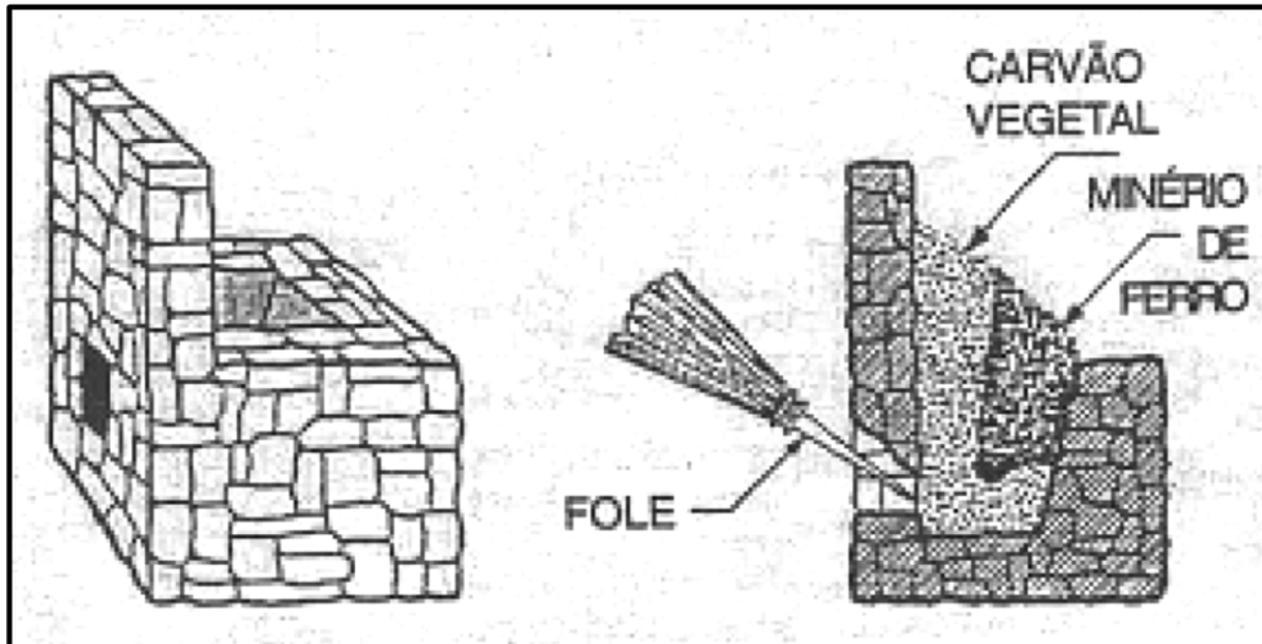
Alto forno de 1640, com acionamento hidráulico. Os fornos eram construídos juntos de barrancos para permitir o carregamento pelo topo por carrinhos de mão.

Alto forno (Stuckofen) encontrado na região do Reno, Alemanha



- **1ª. Forjas primitivas** - São Vicente (SP) de Martim Afonso de Souza, em 1532;
- **1554** - Martim Afonso de Souza trouxe **Bartolomeu Fernandes** (ferreiro contratado) que fixou-se em Jurubatuba, Santo Amaro (SP): **1ª. forja do Brasil**. Com **4 operários** conseguiu-se produzir e forjar **100 kg de ferro** em seis ou sete horas, consumindo 450 kg de carvão;
- Os **Afonso Sardinha** (pai e filho), em 1589, descobriram, **minério de ferro** no sopé do Morro Araçoiaba;
- No Morro Araçoiaba, em **1591**, instalou-se a **1ª. usina siderúrgica** brasileira, constituída por dois fornos rústicos e uma forja para produção de ferro;
- **1628** - Encerra o 1º ciclo da exploração de Ipanema (Sorocaba) - Afonso Sardinha é considerado o Fundador da Siderurgia Brasileira, que fica estagnada até o século seguinte;

(Instituto do aço)



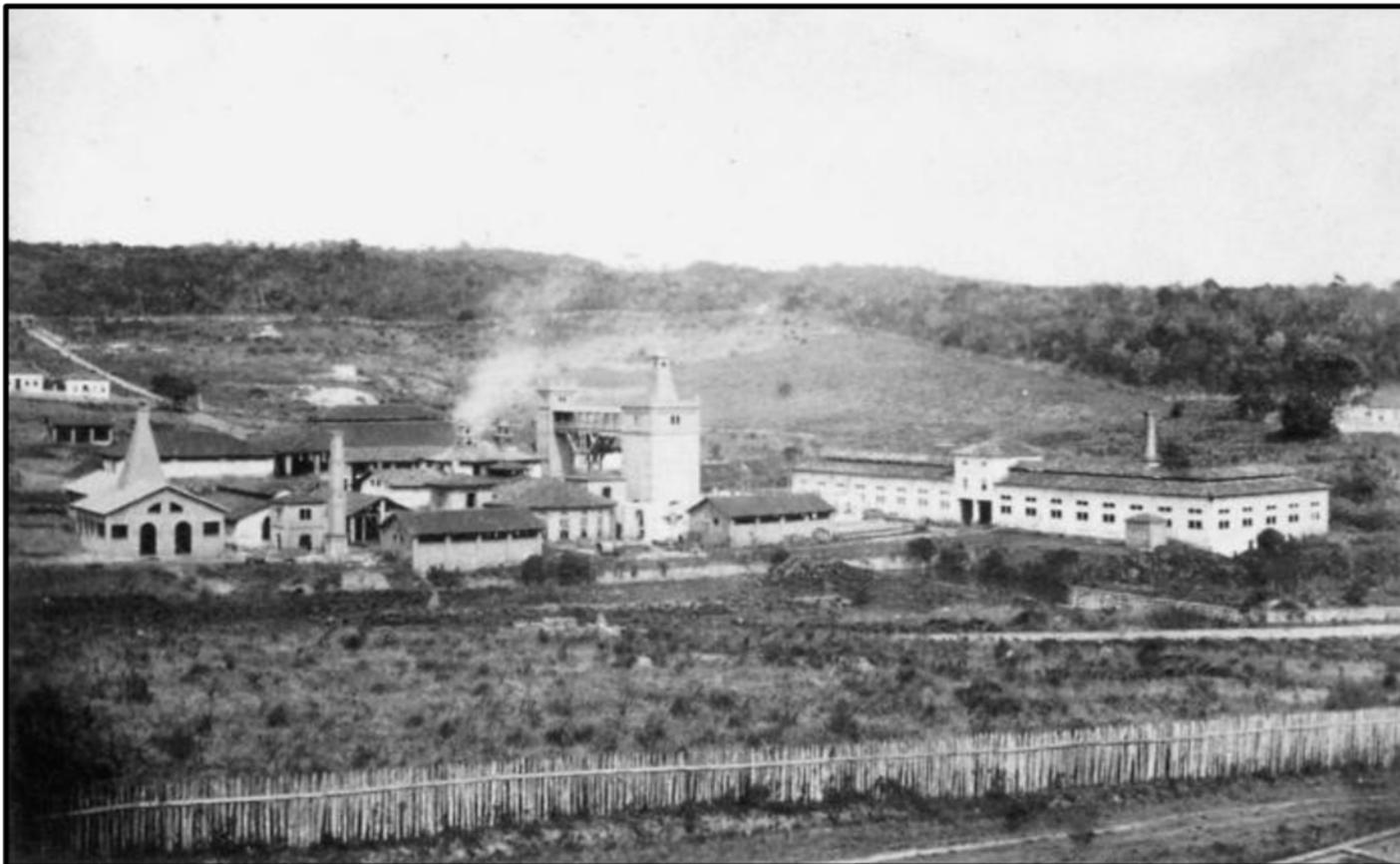
FORJA UTILIZADA POR FERNANDO SARDINHA EM 1587

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

- 1808 - Chegada de D. João VI ao Brasil trazendo: **Frederico Luiz Guilherme de Varnhagen** e o barão **Wilhelm Von Eschwege** (geólogo e metalurgista), especialistas em siderurgia;
- 1810 - **Real Fábrica de Ferro** de São João de Ipanema (Sorocaba);
- **Descoberta de ouro** em Minas Gerais **desencadeou** um **novo estímulo à siderurgia**;
- 1811 – 1º alto forno do Brasil (**fabricação estrangeira**) – Caeté (MG).

- 1812 – **Eschwege** - 1ª. **Corrida de ferro gusa-fábrica de ferro “Patriótica”** em Morro do Pilar (MG), em “**baixo Forno**”;
- 1815 – Chega ao Brasil, o Eng^o Jean Antoine de Monlevade (Caeté-MG) - 1º **alto-forno**, com 8,5 m de altura, **construído no Brasil** – **Patriótica**: diversos fornos de refino e 3 forjas catalãs. Foi **fechada em 1831**, depois de produzir 135 t de ferro; destinadas, sobretudo, à mineração de diamantes;
- 1817 – **Monlevade** constrói um **alto-forno** em Caeté (MG), **sem sucesso**;
- 1818 – **Varnhagen** acende o 1º alto-forno de Ipanema-novembro: 1ª. **Corrida de gusa do Brasil (em alto-forno)**.

O AÇO NO BRASIL



Real fábrica de ferro Ipanema – Sorocaba-1888

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

➤ Fábrica de Ferro São João do Ipanema: 1818 ~1895.

➤ Local possuía reservas de magnetita (Fe_2O_2);

➤ E madeira (floresta) para fabricação de carvão.

➤ Produção principal: armas.

Carvoaria



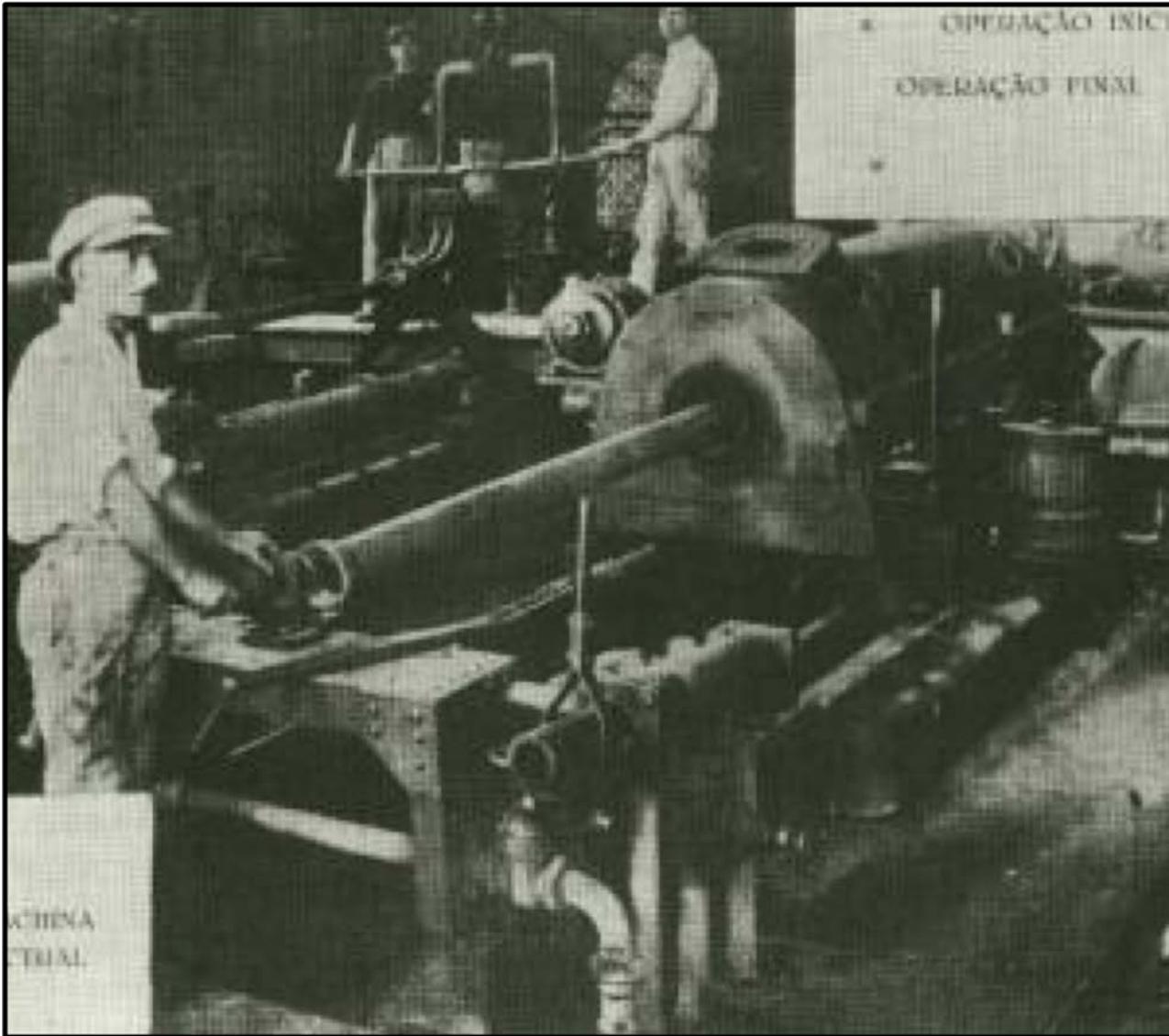
"Alto"-
forno

Fotos: André
Bonacin

- 1846 - **Barão de Mauá (Irineu Evangelista de Souza)** instala uma grande oficina na Ponta da Areia (Niterói): Navios e fundição de ferro e bronze;
- **1879 - Fundação da Escola de Minas, em Ouro Preto**, dirigida pelos engenheiros franceses Henri Gorceix Armand de Bovet, Victor Langlet e Artur Thiré;
- **1893 – Fundação da Escola Politécnica em São Paulo (SP) por Antonio Francisco de Paula Souza;**
- **1901 - Johann Heinrich Kaspar Gerdau compra, em Porto Alegre, a fábrica de pregos: “Pontas de Paris”.** Ele havia chegado ao Brasil na época do império (1869);
- **1905 : o Brasil possuía 2 altos-fornos, 1 deles inoperante devido à concorrência internacional, produzindo 2100 toneladas anuais de gusa e cerca de 100 forjas produzindo mais 2000 toneladas de ferro em barras.**

(Instituto do aço)

- 1909 - O engenheiro francês radicado no Brasil **Demètre Sensaud de Lavaud** (Osasco) inicia os ensaios sobre centrifugação de tubos no ainda incipiente **laboratório de resistência dos materiais da Escola Politécnica de São Paulo (futuro IPT)**;
- 1914 - Na cidade de Santos, SP, **Fernando Arens Jr.** (filho de Alemães) e **Dimitri Sensaud de Lavaud** desenvolvem o **processo de centrifugação de tubos de ferro fundido**, que revolucionaria a indústria do setor: **Invenção Brasileira**



Tubos de ferro fundido, centrifugados.

www.redetec.org.br/inventabrasil/arens.htm

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

1922:

- **Eng^o Flávio de Mendonça Uchôa** implanta (capital próprio e de amigos) uma usina integrada em **Ribeirão Preto (SP)** - Companhia Eletro metalúrgica Brasileira (fornos elétricos de redução);
- Os engenheiros **Cristiano França Teixeira Guimarães**, **Amaro Lanari** e **Gil Guatemossin** montam a **Companhia Siderúrgica Mineira**, em **Sabará** (um forno de 25 t) - **Siderúrgica Belgo-Mineira** foi criada como resultado da associação da **Companhia Siderúrgica Mineira** com o **consórcio** industrial **belgo-luxemburguês ARBED-Acières Réunies de Bubach-Eichdudelage**;

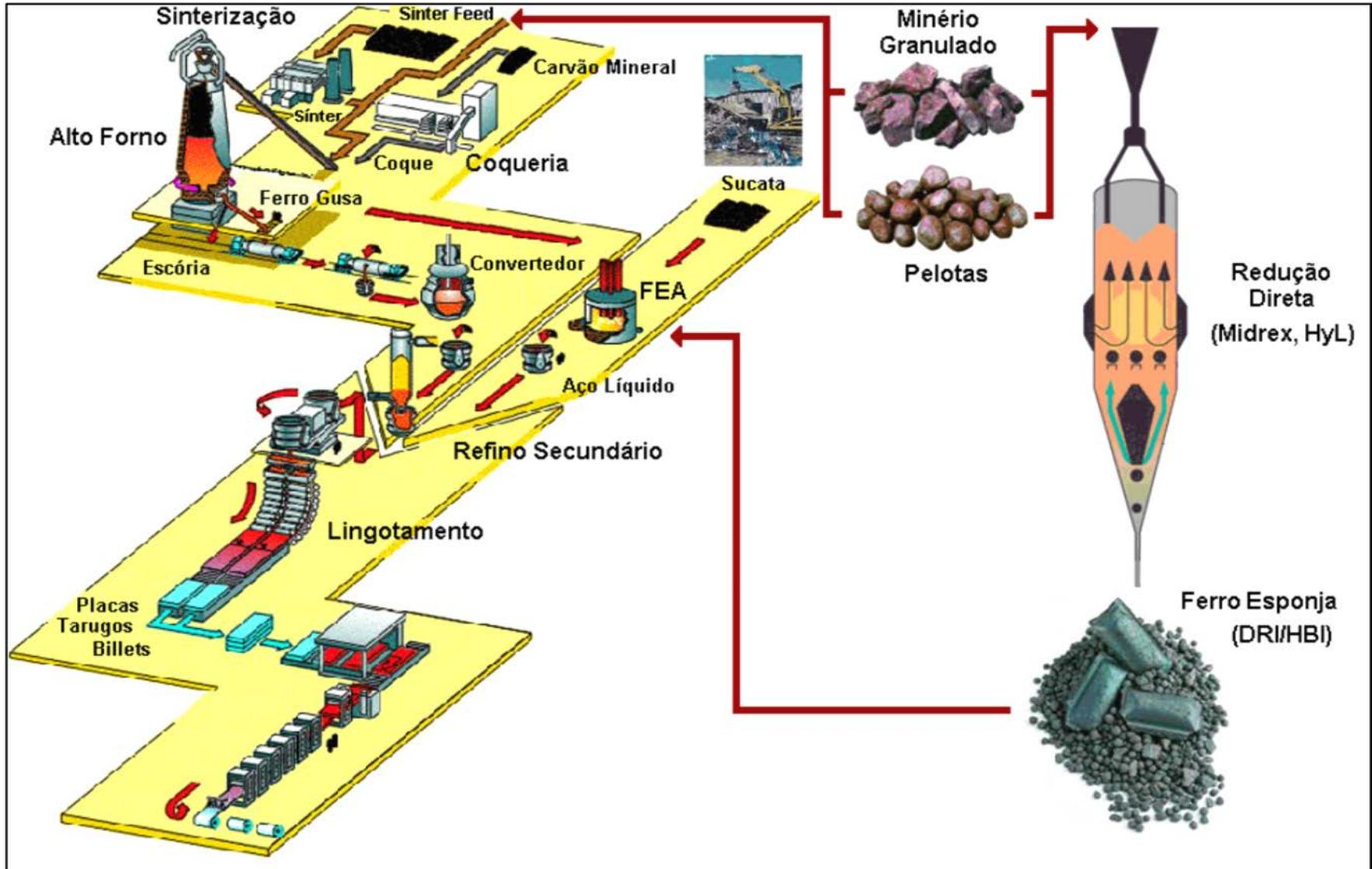
- **1925- Siderúrgica Hime;**
- **1933** – A Fábrica de pregos **Hugo Gerdau (filho)** abre uma unidade em **Passo Fundo;**
- **1937:**
 - Crescimento da Belgo-Mineira: inaugura a usina de **Monlevade**, com capacidade inicial de 50 mil toneladas anuais de lingotes de aço;
 - Na região de Barra Mansa (RJ), a Companhia Metalúrgica Barbará, atual Siderúrgica Barra Mansa (Antonio Ermírio de Moraes) – a partir de tubos centrifugados de ferro fundido-invenção brasileira.

- **1940** - Brasil atinge **141.201 t** de lingotes de aço, geradas na **maior parte** pelas usinas de **Sabará e Monlevade**, da **Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira**;
- **1944** – Fundada a **Aços Villares** – São Caetano (SP) -
CURSO DE ROBERT FRANKLIN MEHL NA POLI
- **1946** :
 - **CSN**;
 - **Gerdau compra a Siderúrgica Rio-Grandense.**
- **1953** – Fundação da **Mannesmann**, Companhia Siderúrgica Paulista (**Cosipa**), Usina Siderúrgica de Minas Gerais (**Usiminas**), **recuperação** da Aços Especiais Itabira (**Acesita**) pelo governo federal;

PROCESSO ATUAL DE FABRICAÇÃO DO AÇO

- **REDUÇÃO DIRETA (PRIMEIRO);**
- **ALTO-FORNO (FERRO FUNDIDO);**
- **ACIARIA ELÉTRICA.**

Produção do Aço – Redução direta



Processo de Fabricação

- **Preparação do Minério de Ferro para Redução : granulação, pelotização e sinterização;**
- **Processo de redução do minério de ferro (alto-forno);**
- **Refino primário;**
- **Refino secundário;**
- **Lingotamento**
- **Conformação**

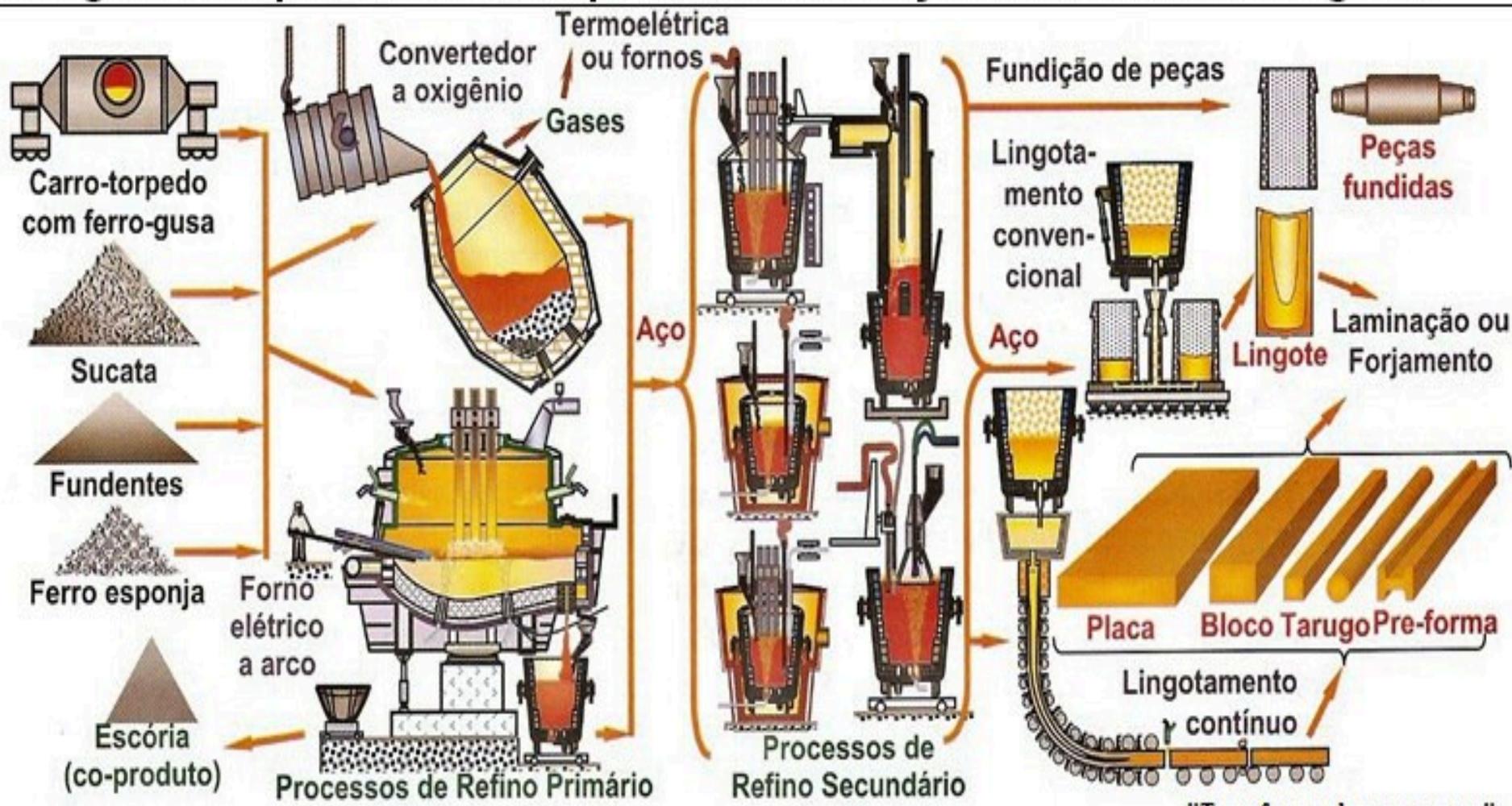
PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO AÇO



(ri.gerdau.com)

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

Fluxograma esquemático da etapa do refino do aço nas usinas siderúrgicas



Minério de Ferro

O minério de ferro utilizado para redução é o Fe_2O_3 (Hematita) e FeO (Wustita)



5mm<Pelotas<18mm



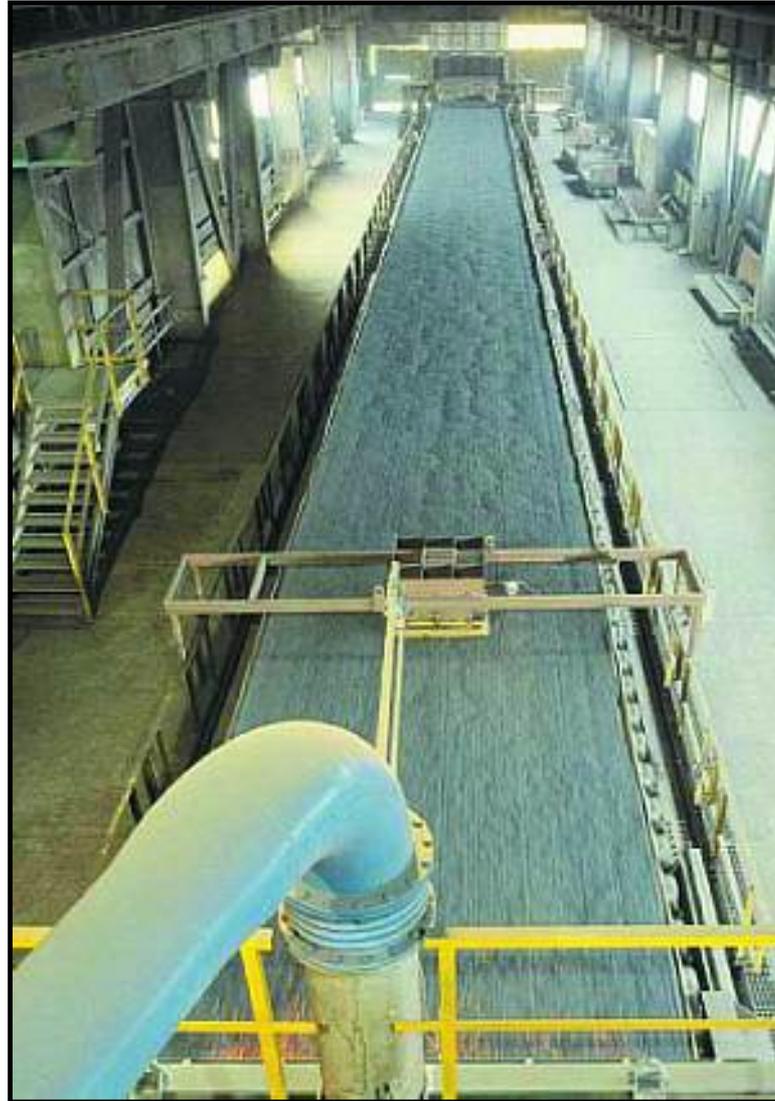
5mm<Sinter<50mm



6mm< Minério <40mm
granulado

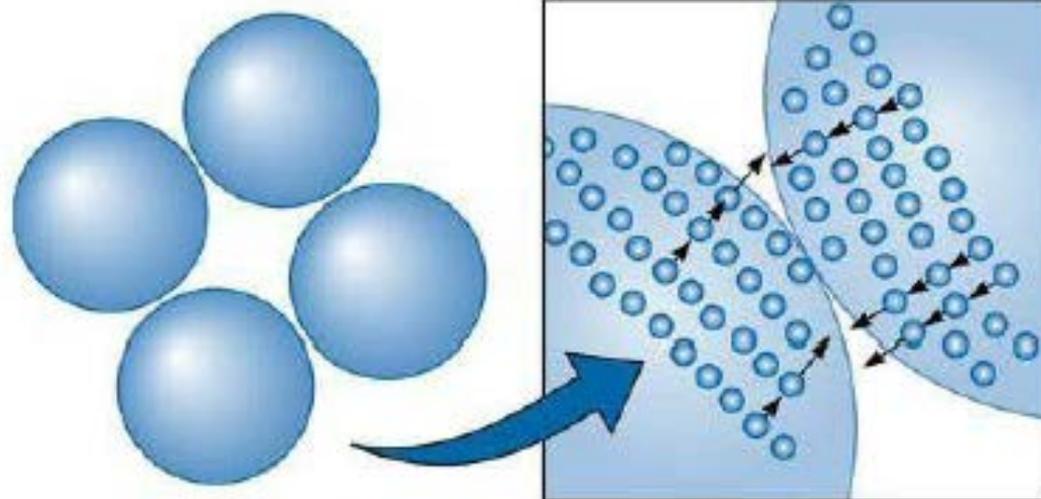


Processo de Sinterização

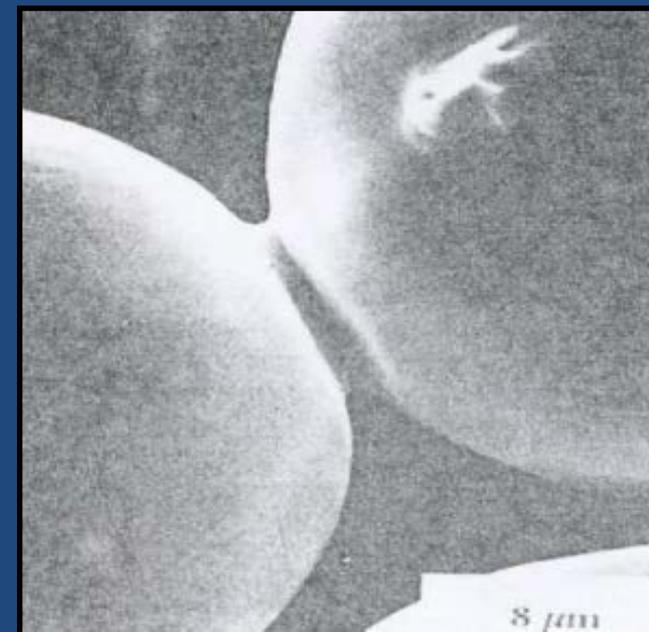
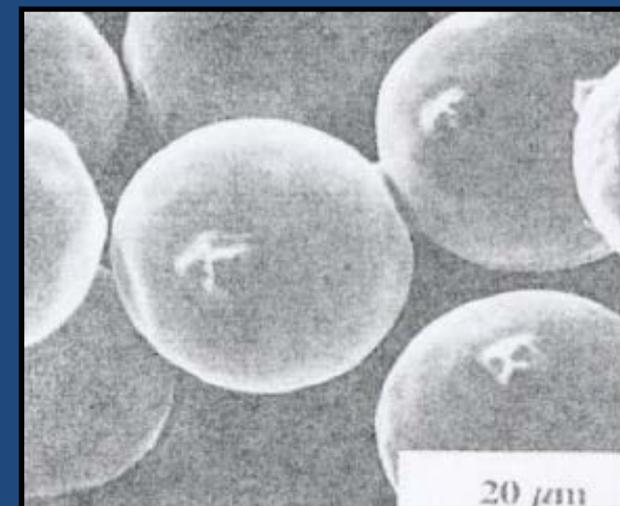
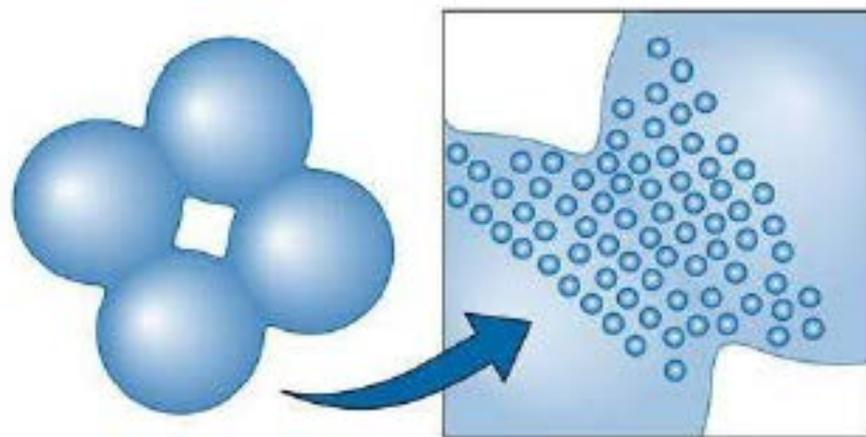


Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

Processo de Sinterização



Pó compacto



**AREA DE REDUÇÃO
SINTERIZAÇÃO**

DIFERENTES TIPOS DE MINÉRIOS COM
QUANTIDADES DISTINTAS DE FERRO E
RESIDUAIS (Especialmente P)

ÁREA DE REDUÇÃO SINTERIZAÇÃO



**Combinados na
sinterização ou na
mistura dos Altos-Fornos
para gerar um gusa mais
homogêneo**

- Coqueria é a **unidade industrial** que **transforma** mistura de **carvões minerais em coque**;
- O **coque metalúrgico** é empregado nos altos fornos, onde pode atuar como **combustível, redutor, fornecedor de carbono ao gusa e permeabilizador da carga**;
- No **custo** de produção do ferro gusa, a fatia do **coque supera 40%**, daí a importância que lhe é conferida na siderurgia;

O ciclo **operacional da coqueria** pode ser resumido nas seguintes fases:

**Preparação da mistura de carvões → Enfornamento
Aquecimento (COQUEIFICAÇÃO) → Desenfornamento
→ Apagamento → Preparação do coque → Tratamento
das matérias voláteis.**

ÁREA DE REDUÇÃO COQUERIA



Coqueria

- **Detalhes do processo**



Típica Bateria de coqueificação

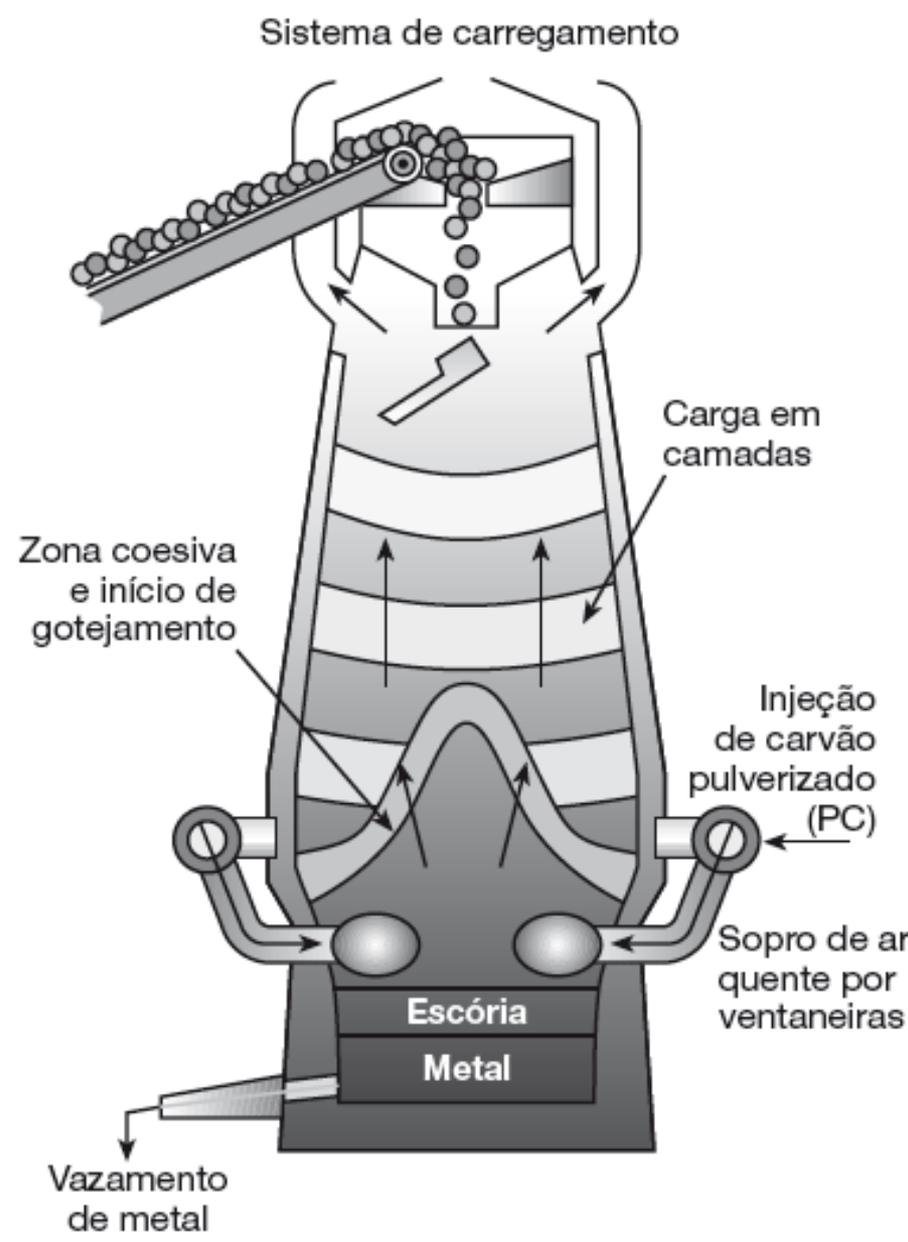
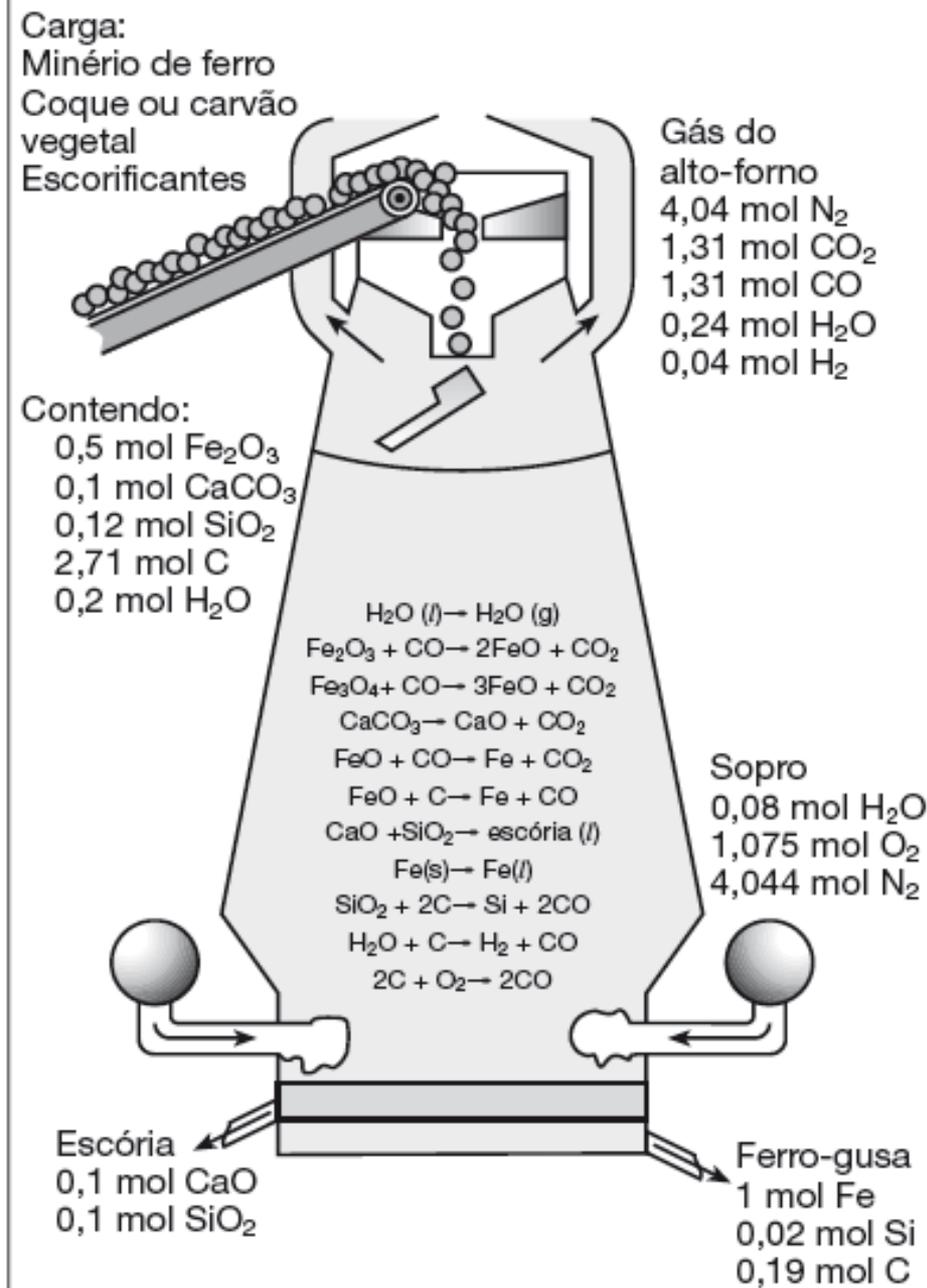


**Coque incandescente
pronto para ser descarregado**



ALTO-FORNO

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert



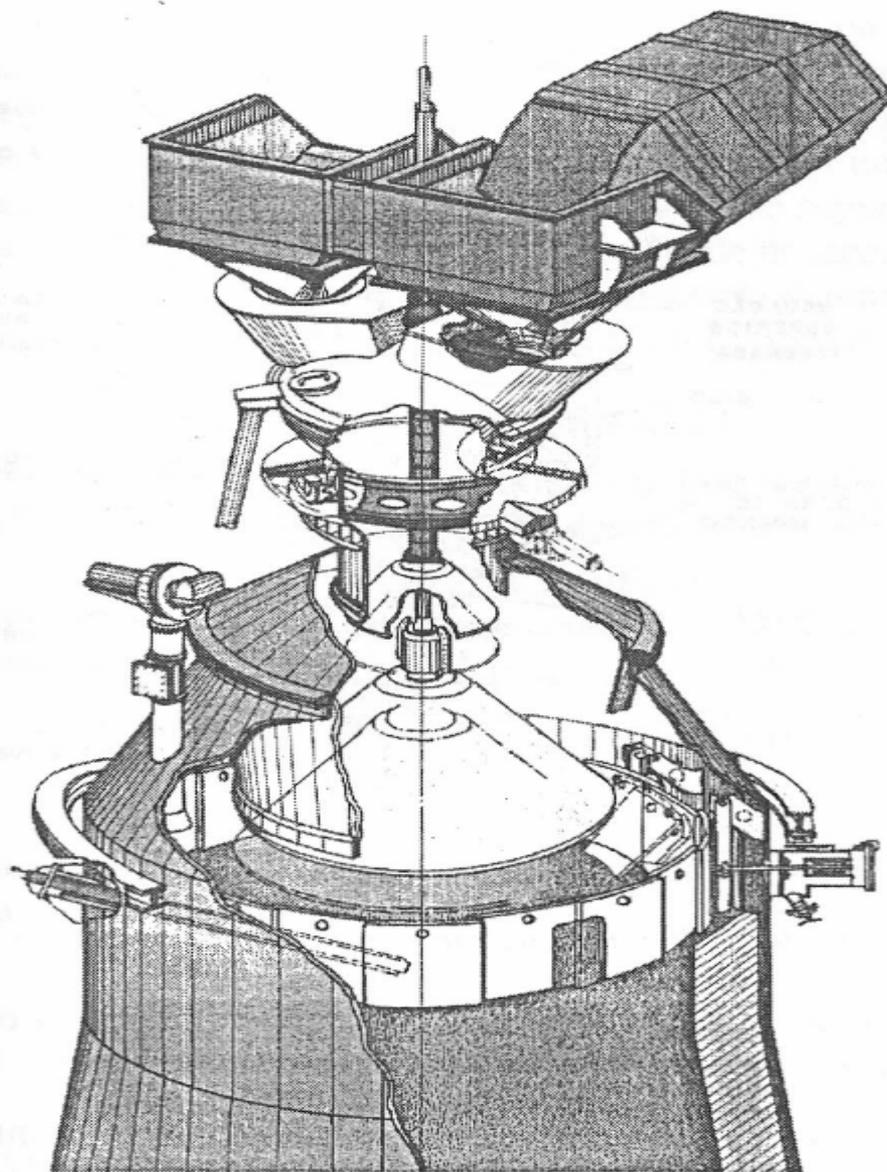
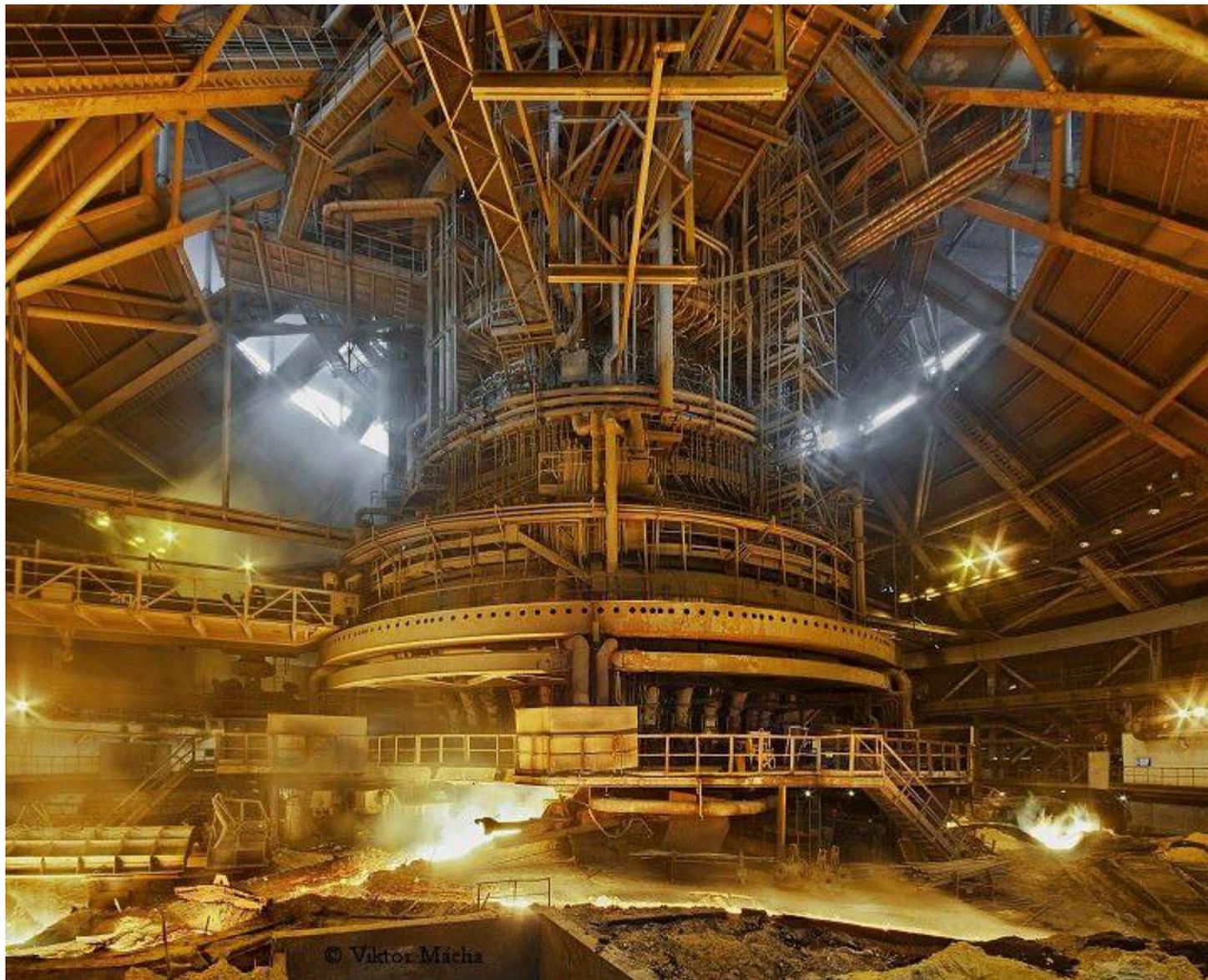


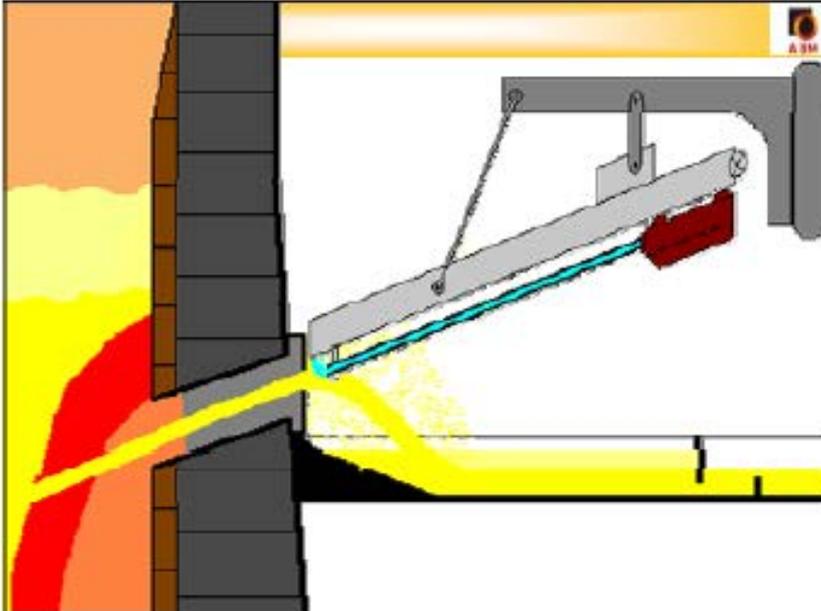
Fig. VIII/4 - Topo com dupla câmara

DISTRIBUIDOR - Sua função é igualar os efeitos da segregação dos pedaços maiores (minério, coque ou calcário) que, ao serem descarregados do skip, tendem a separar-se dos mais finos.

SOLEIRA DO ALTO-FORNO



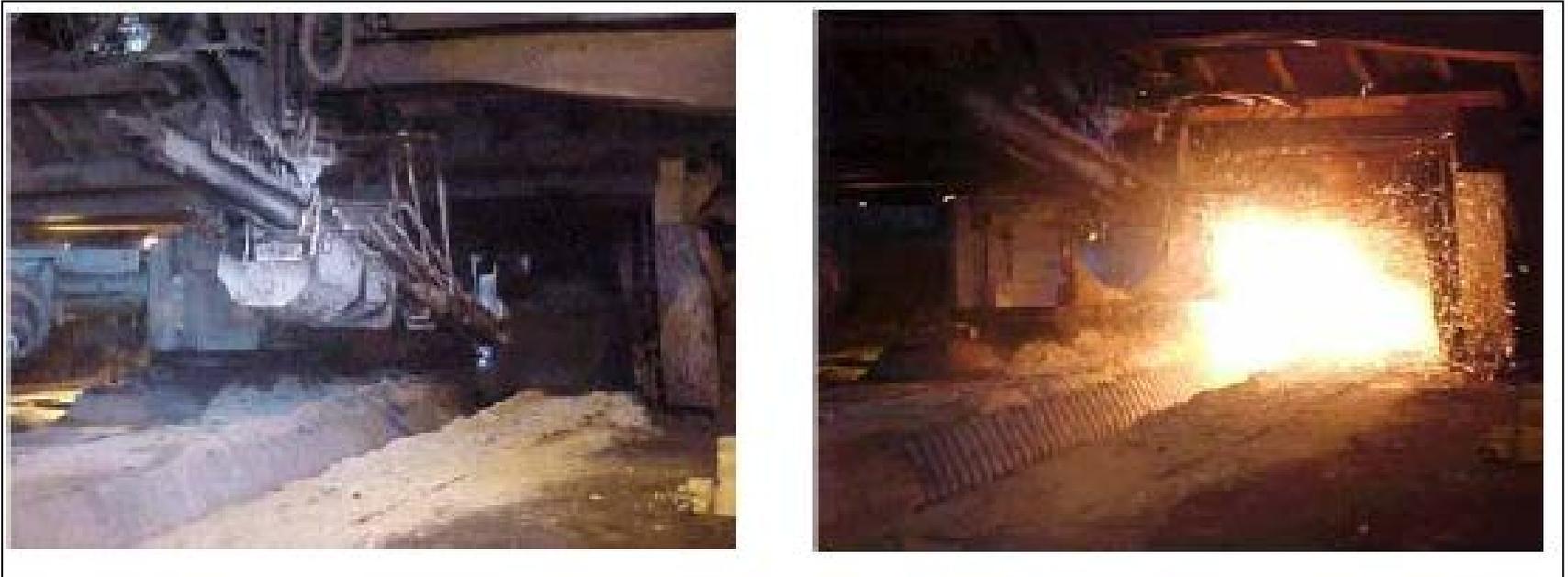
FURA-FORNO



TUBOS FURA-FORNO PARA INJEÇÃO DE OXIGÊNIO EM ALTO-FORNO
Tubos Aço Carbono preto ASTM A-53 sem costura extremidades reta.

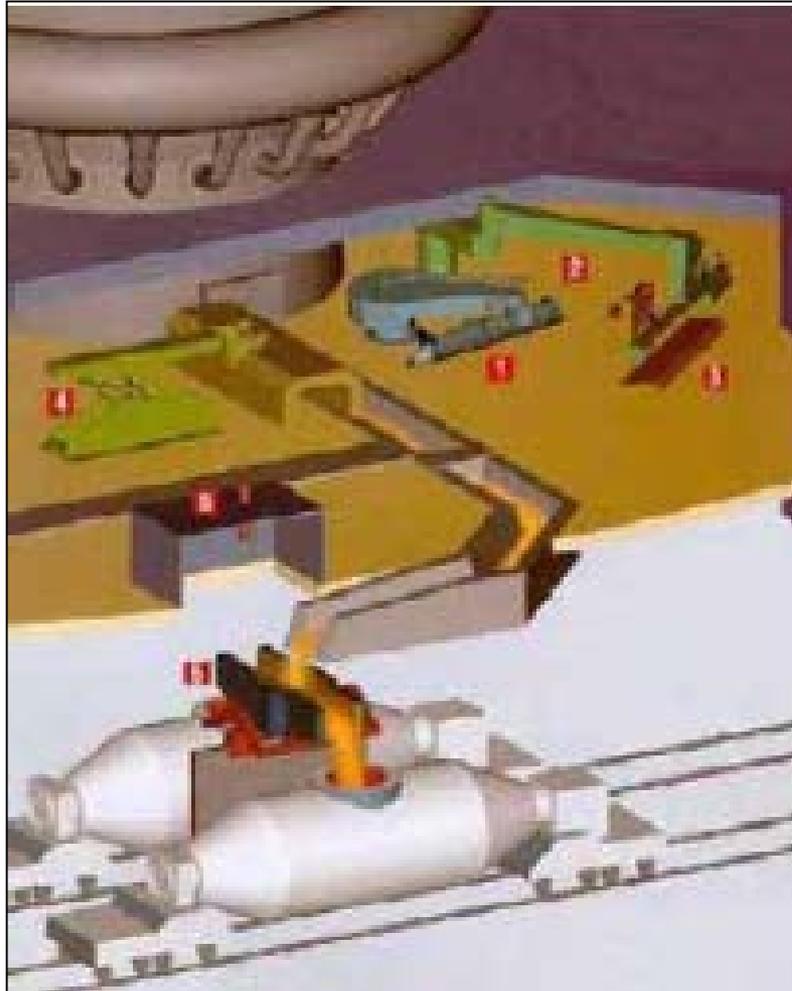
Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

VAZAMENTO DO GUSA



Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

VAZAMENTO DO GUSA NO CARRO TORPEDO



Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO FERRO GUSA:

CARBONO: 3,5 - 4,5%

SILÍCIO: 0,3 - 2,0%

ENXÔFRE: 0,01 - 0,1%

FÓSFORO: 0,05 - 2 %

MANGANÊS: 0,5 - 2%

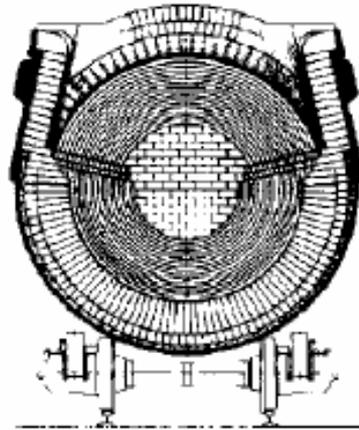


**SAÍDA DO FERRO
GUSA DO ALTO
FORNO PARA O
CARRO TORPEDO.**

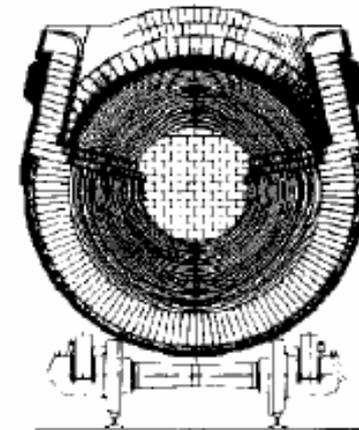


Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

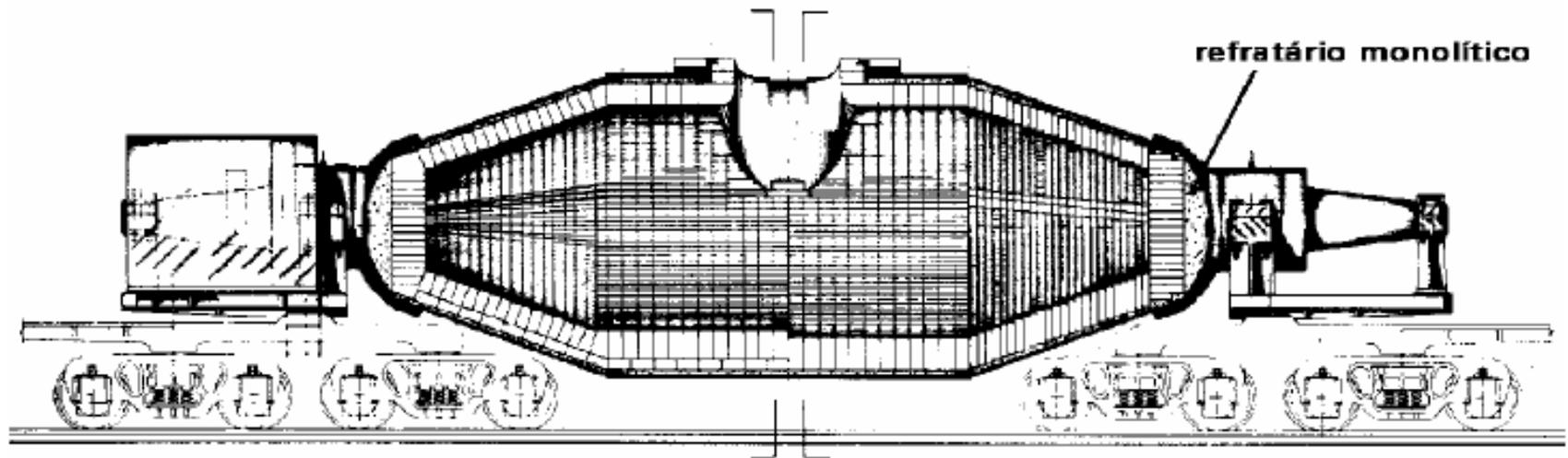
Carro-torpedo



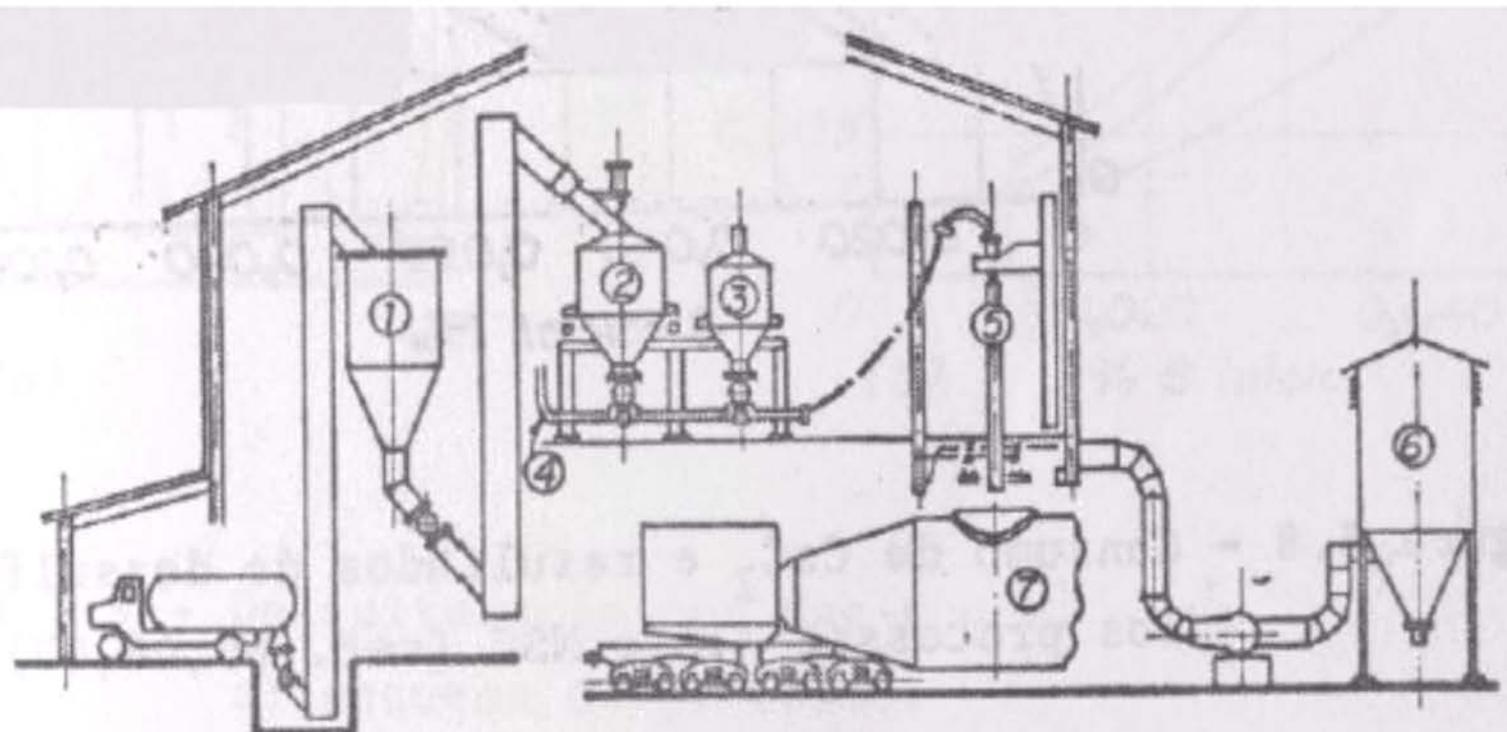
Combinação de argamassa refratária e tijolos de alta alumina (80% - 70%) e mantas de alta alumina



3 m



DESSULFURAÇÃO



- 1- Silo de estocagem
- 2- Silo de Injeção - CaC_2
- 3- - - - - CaCO_3
- 4- Gas de arraste

- 5- Lanca de injeção
- 6- Coletor de pó
- 7- Carro-torpedo

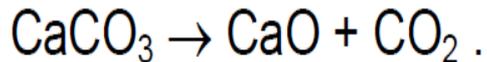
Esquema mostrando uma estação de dessulfuração de gusa no carro torpedo.

Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo

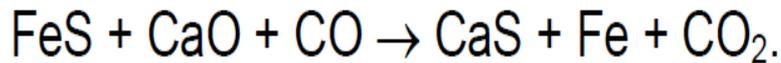
Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

REAÇÕES NA DESSULFURAÇÃO

Decomposição do calcário:



Escorificação do enxofre:



A mistura dessulfurante é introduzida no carro torpedo por meio de uma lança que forma um ângulo de injeção de 70°, nas 3 primeiras dessulfurações e de 110° nas demais, para garantir um desgaste uniforme do refratário do torpedo e evitar a formação localizada de cascão.

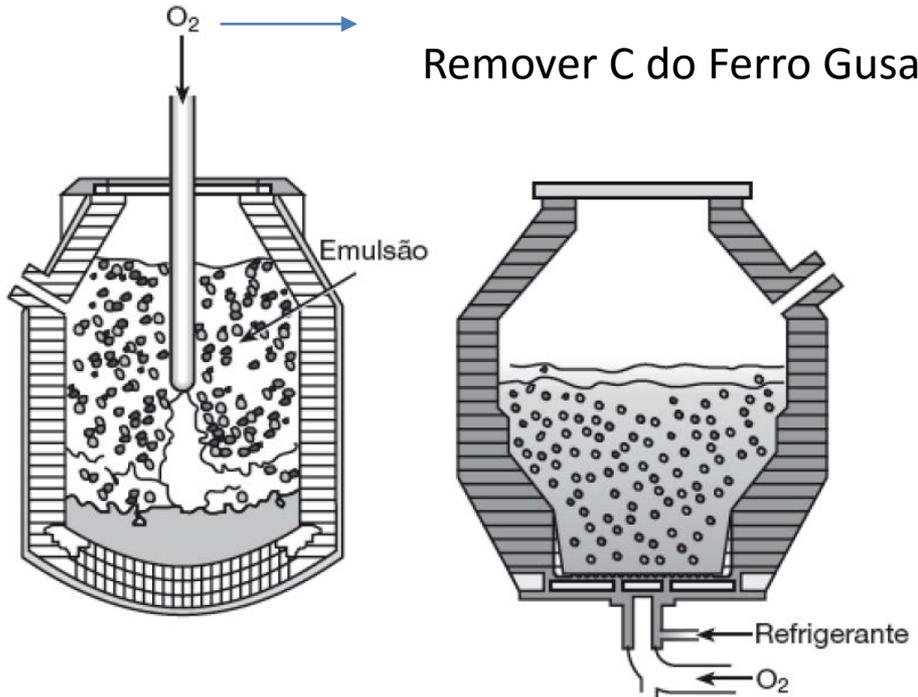
FABRICAÇÃO DO AÇO

Conversão do gusa

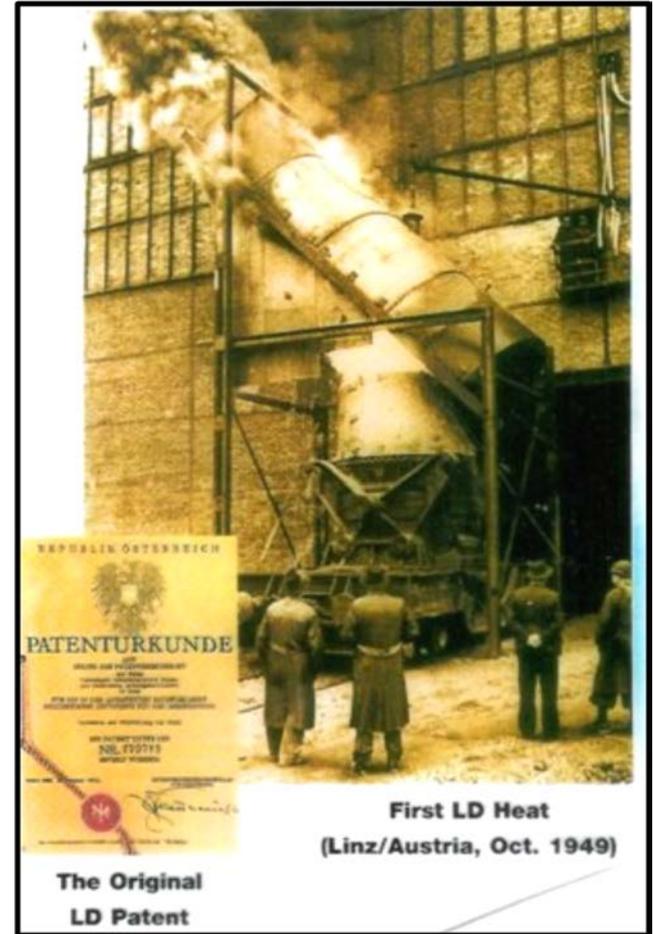
Conversor LD

L : LINZ NA ÁUSTRIA (VOEST ALPINE) – 1952.

D: DONAWITZ NA ÁUSTRIA – 1953.



(COLPAERT)



- O processo consiste em soprar O_2 puro verticalmente (com mais de 99% O_2 e pressão de 6 a 15 atm) sobre a superfície do banho metálico.
- Em 1948 a empresa VOEST decidiu dar ao processo o nome de LD, devido à instalação de dois conversores à oxigênio de 35 ton. nas cidades de Linz e Dona Witz na Austrália.
- A rápida seqüência das operações de refino em convertedores de capacidade (até 400 ton), conferem às aciarias L-D alta produtividade.
- O processo L-D foi introduzido no Brasil pela Cia. Siderúrgica Belgo-Mineira em 1957 (Monlevade).
- O processo LD, a fabricação de aços baixo e médio carbono e baixa liga é hoje seu domínio quase absoluto.

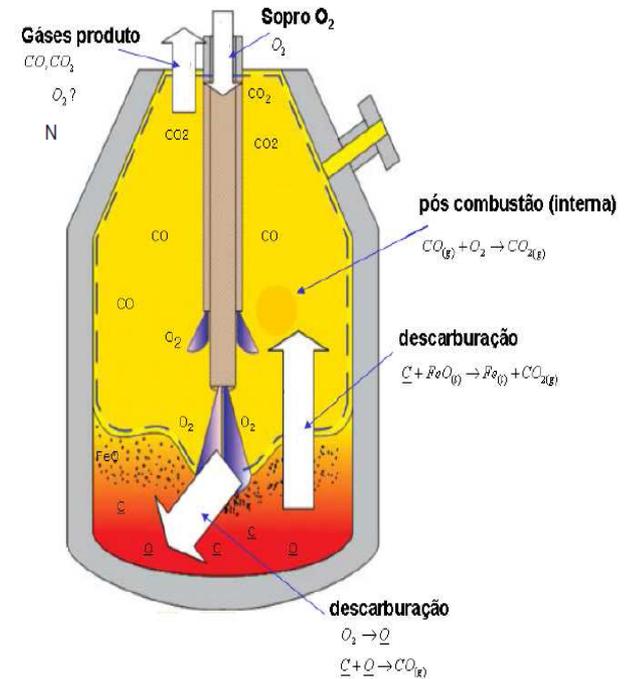
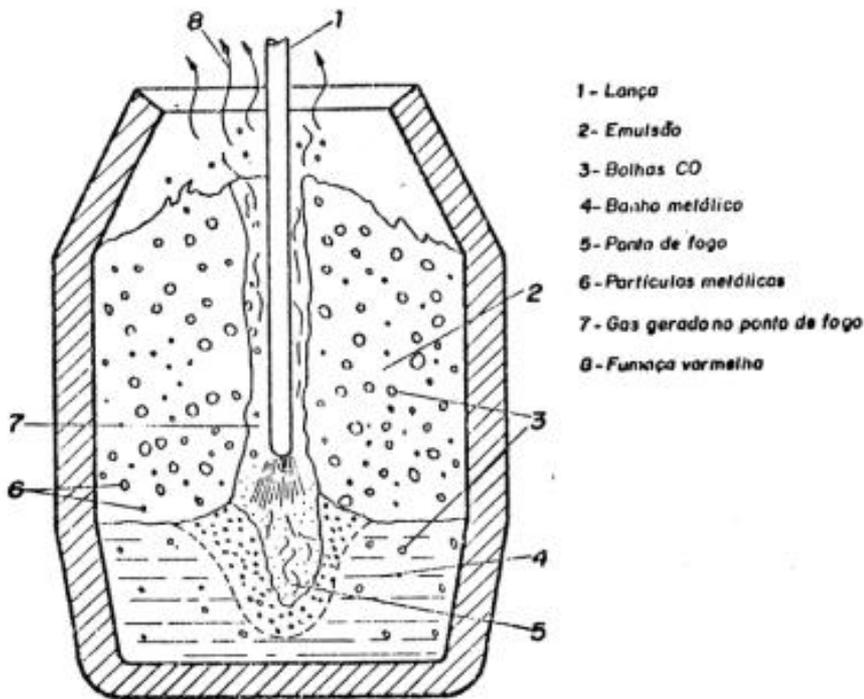


Figura 1-4 Desenho esquemático das reações de oxidação no conversor

FABRICAÇÃO DO AÇO

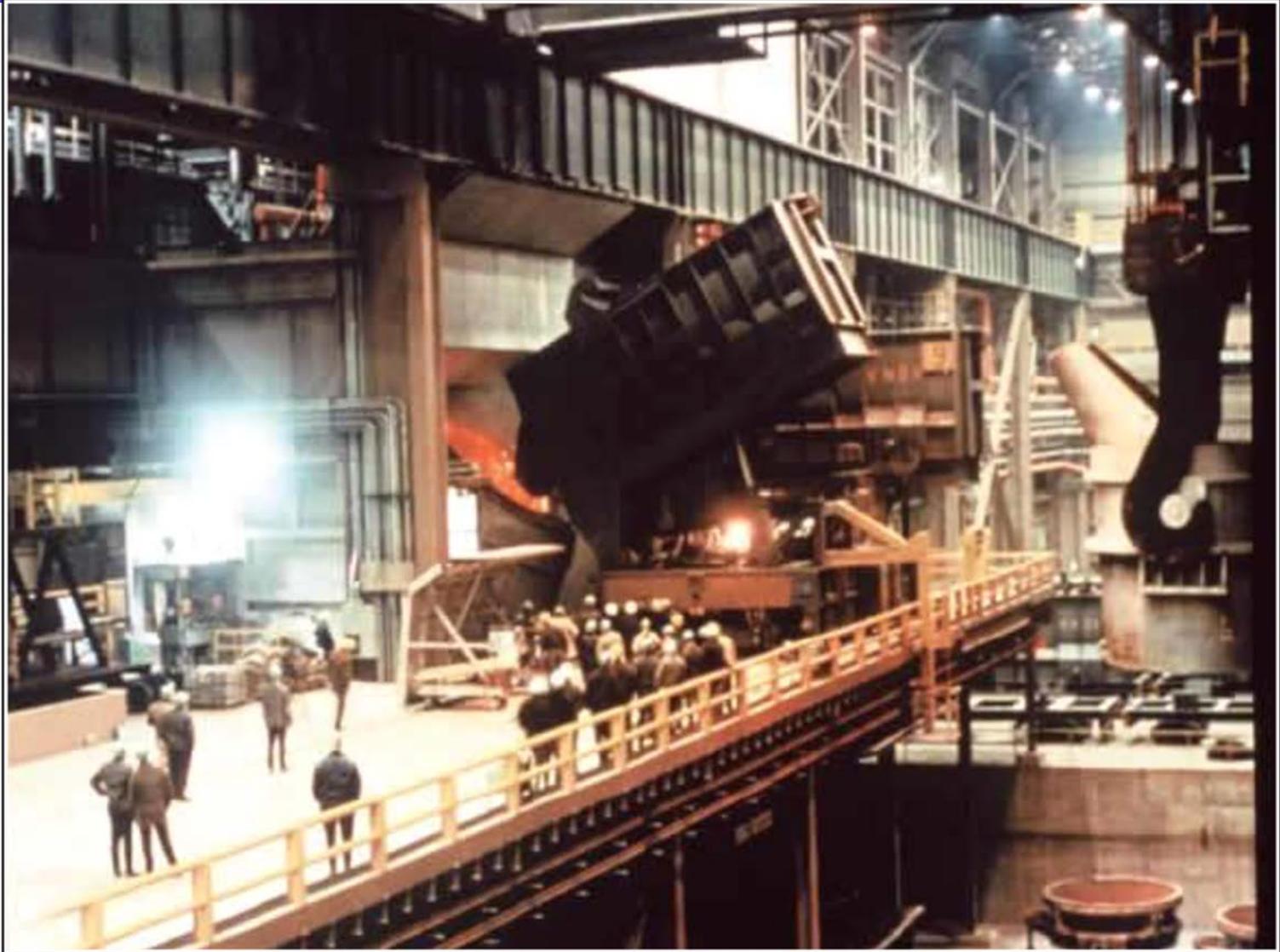
Conversão do gusa

DESCARREGAMENTO DO GUSA PARA OS CONVERSORES



Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

Conversor LD



FABRICAÇÃO DO AÇO

**ACIARIA
ELÉTRICA**

USP
e n a



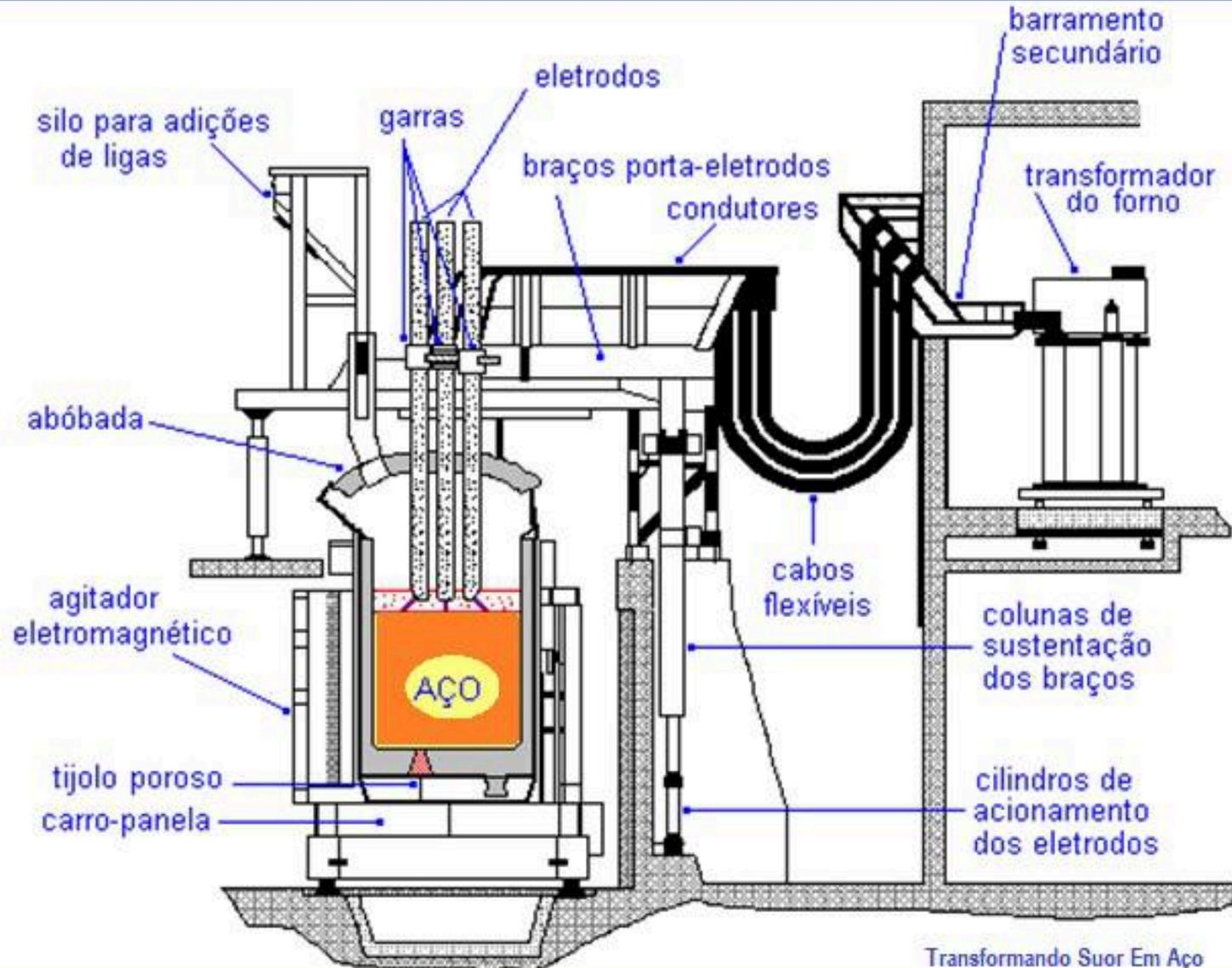
Aciaria Eléctrica



FORNO - PANELA

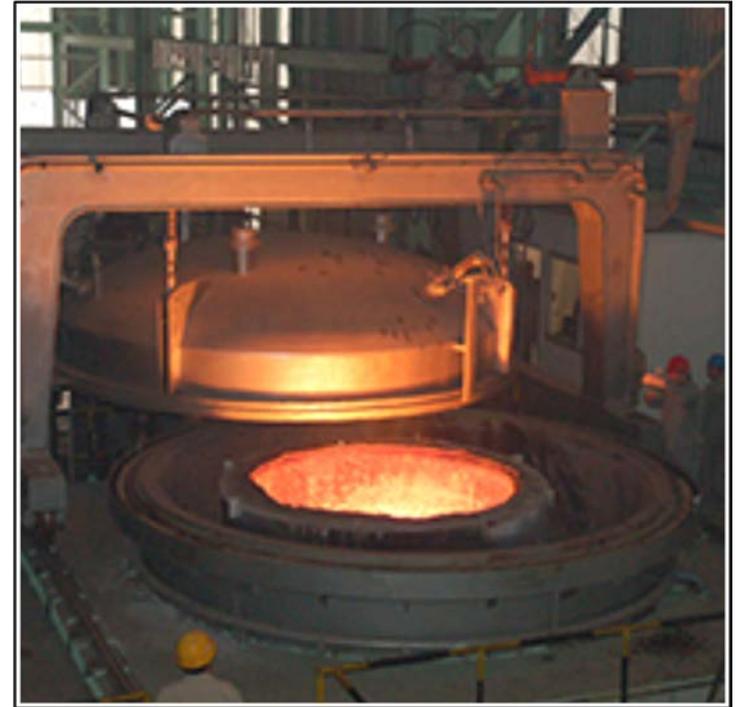
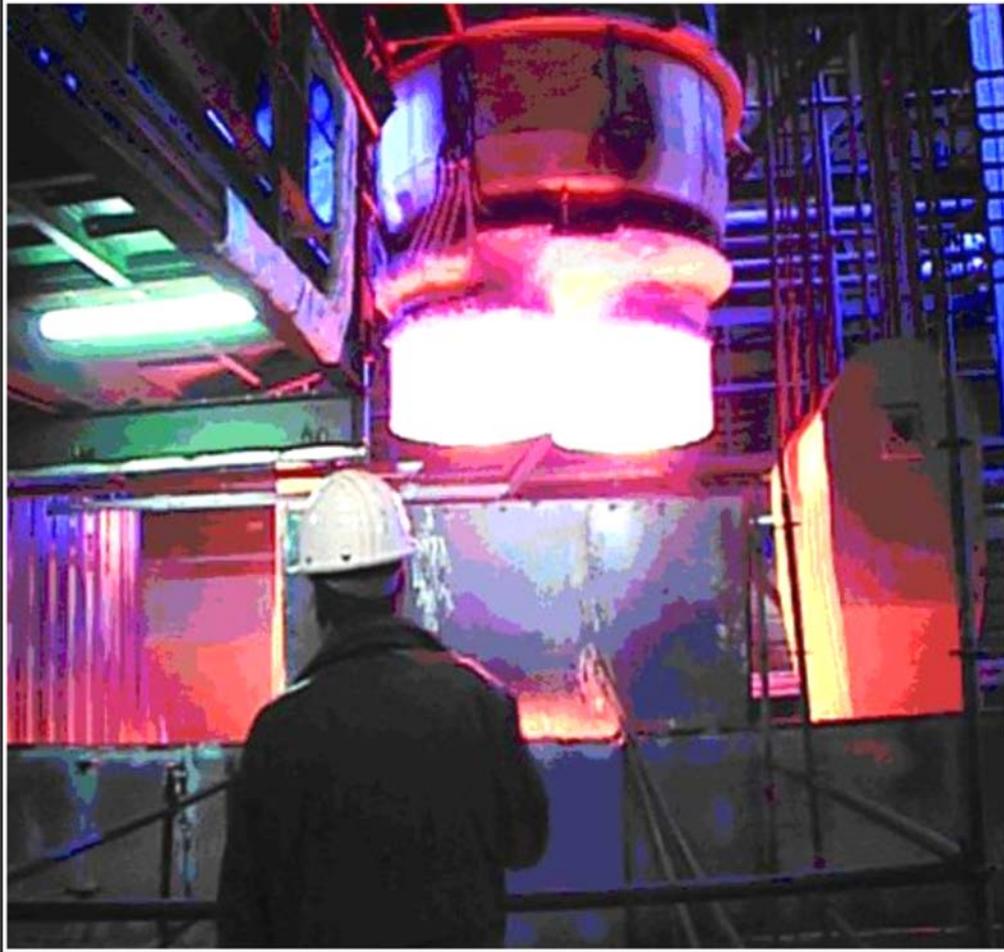


FORNO - PANELA



DESGASEIFICAÇÃO

Principal objetivo é eliminar os gases dissolvidos no aço líquido, especialmente o **hidrogênio**



(www.manutencaoesuprimentos.com.br)

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

Desgaseificação- histórico

Alguns fatos catastróficos , possivelmente causados por hidrogênio aceleraram o desenvolvimento dos processos de refino:

- **Fratura de um rotor de turbina a vapor de um gerador de 165MW, operando a 3600 rpm , causando a destruição da usina de Ridgeland, Chicago, (1954).**
- **Explosão de um rotor , produzido para a Arizona Public Service Co.**

A partir de então , a desgaseificação foi incluída no processo de elaboração de aços Ni – Mo – V para rotores que são aços mais susceptíveis a fragilização por hidrogênio.

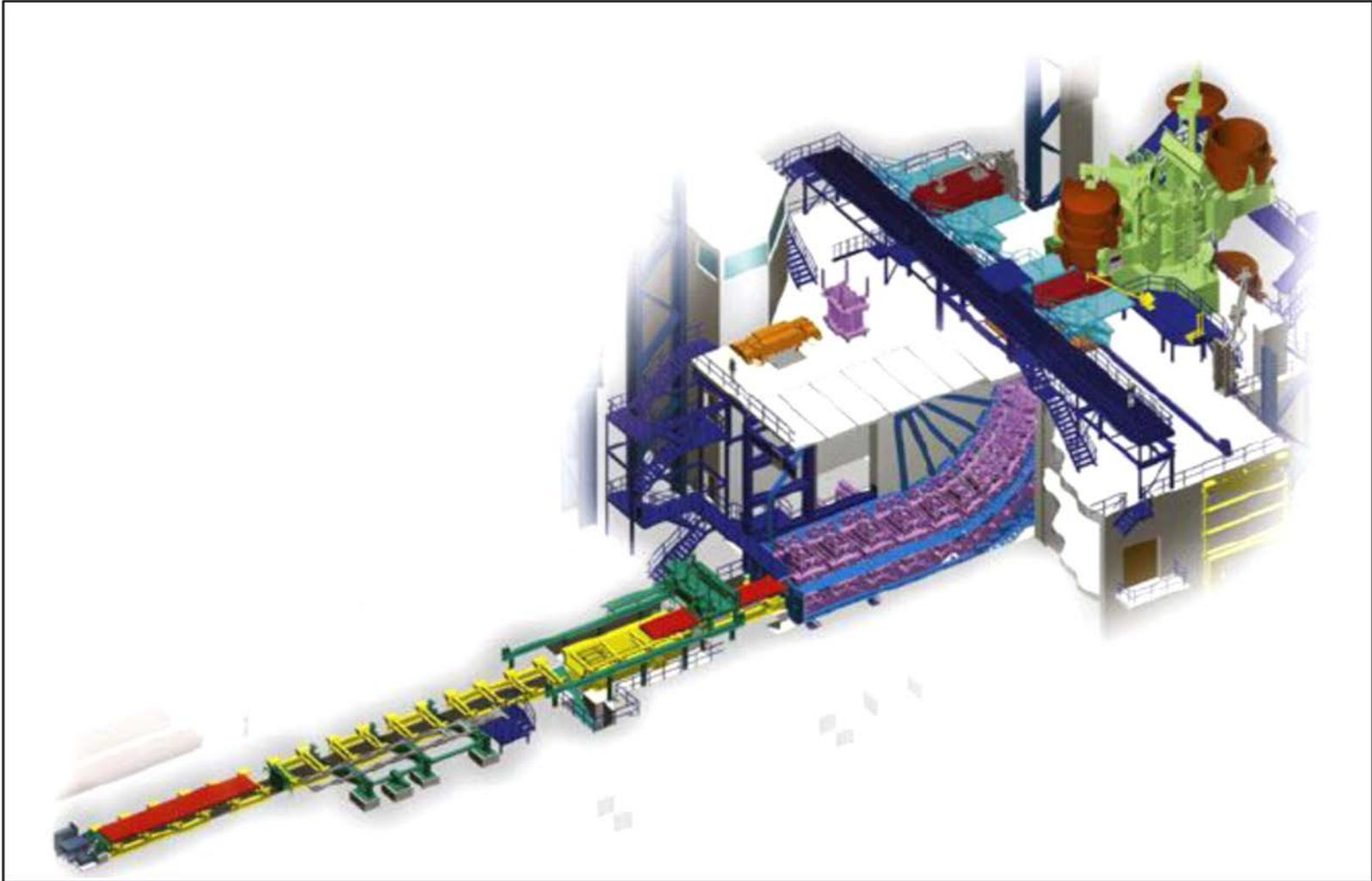
Lingotamento convencional



Lingotamento convencional

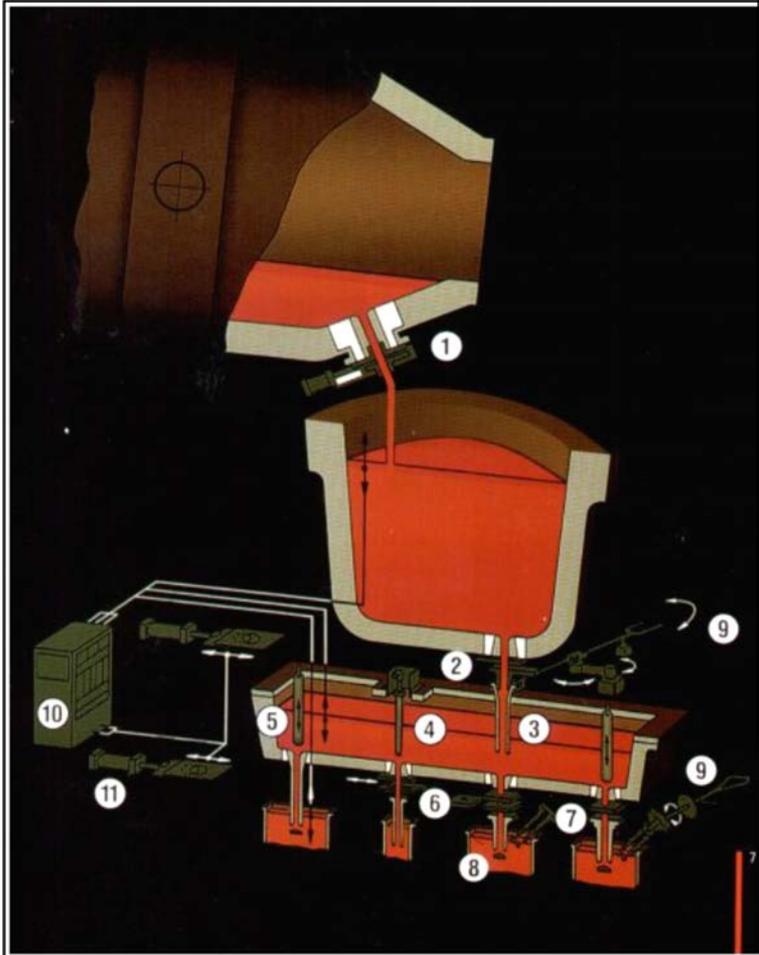


Lingotamento Contínuo



Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

Lingotamento Contínuo



(www.kaptandemir.com.tr)

(www.edef.net)

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

Lingotamento Contínuo



**MINÉRIO/SUCATA/CO
QUE/REFRATÁRIO
(S,P,Si)**

**CONVERSORES
(O₂)**

**TRATAMENTOS PARA
ACALMAR
(Ca,Al,Mn,Mg)**

**INCLUSÕES NÃO
METÁLICAS: ENDÓGENAS E
EXÓGENAS**

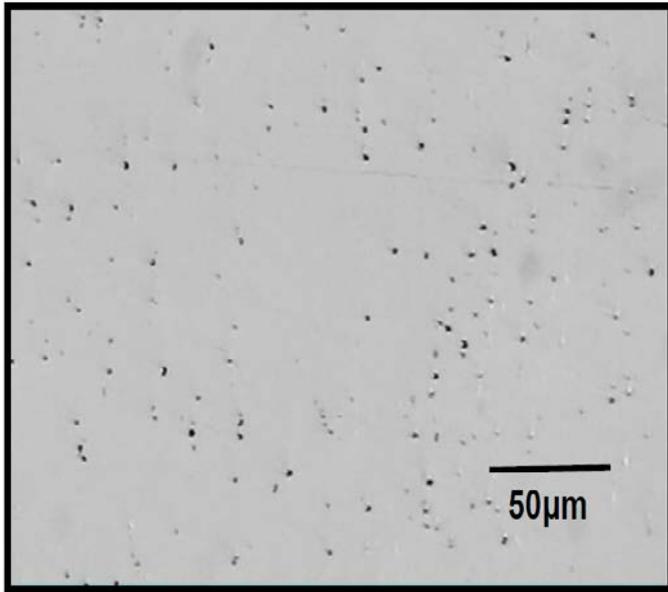
**TIPO A
SULFETOS
(Mn,Fe,Ca)**

**TIPO B
ALUMINA
(Al₂O₃)**

**TIPO C
SILICATOS
(SiO₂)**

**TIPO D
ÓXIDOS
GLOBULARES
(Mn,Fe,Ca)**

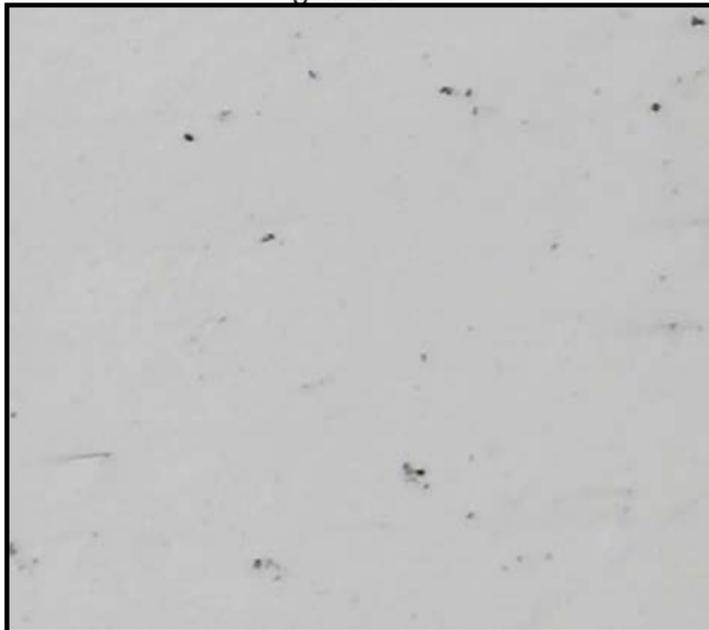
(MARCOMINI)



Amostra 3. Inclusões de óxido globular (tipo D), nível 3, série fina e grossa.



INCLUSÕES DE SULFETO-
1000X



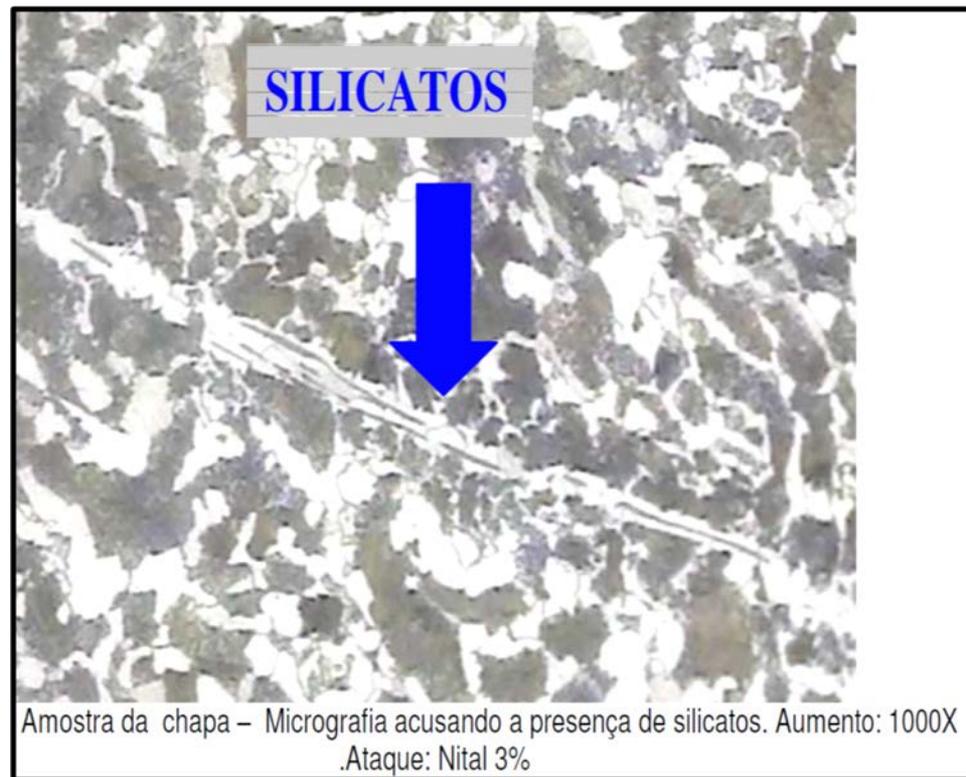
análise de microinclusões do CP3. Tipos A,B, nível1, série fina

ANÁLISE DE INCLUSÕES: AMOSTRA LONGITUDINAL, SEM ATAQUE AUMENTO DE 100X



Figura 17 – Microinclusões tipo C, série fina , nível 3 e tipo D série fina , nível 2, conforme ASTM E 45.

(MARCOMINI)



Amostra da chapa – Micrografia acusando a presença de silicatos. Aumento: 1000X
.Ataque: Nital 3%

(MARCOMINI)

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

REFINO EM PANELA (NO ESTADO LÍQUIDO)

Operações chamadas de “ Metalurgia de Panela” , realizadas após a fusão do aço em forno elétrico ou após a operação nos convertedores , ainda com o aço líquido. Essas operações são , principalmente:

- Desgaseificação;
- Desoxidação;
- Dessulfuração;
- Desfosforação;

REFINO COM REFUSÃO (APÓS LINGOTAMENTO)

Processos de “Refusão” : trata-se da refusão do lingote e solidificação controlada. Os principais processos de refusão são:

Refusão sob escória eletrocondutora(ESR)

Refusão a arco sob vácuo(VAR)

Refusão por feixe eletrônico

Fusão zonal

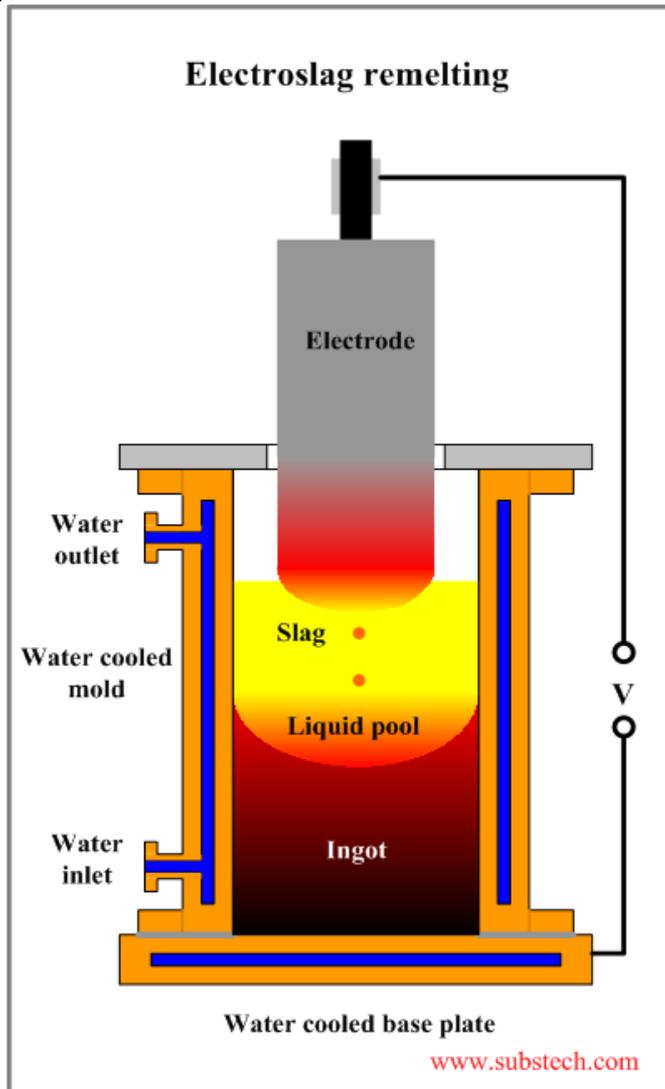
OBS:Fabricação com Forno de Indução a vácuo : Alguns aços especiais são elaborados em fornos com condições controladas como o forno por indução a vácuo.

Desenvolvido na antiga **URSS** na **década de 60** porém iniciou, em escala industrial, em **1963 na Inglaterra**.

O processo de refusão por escória eletrocondutora (**ESR – “electroslag remelting”**) tem como objetivo obter produtos de alta qualidade sob o ponto de vista de composição química, **nível de inclusões, macrossegregação** e de estrutura bruta de solidificação.

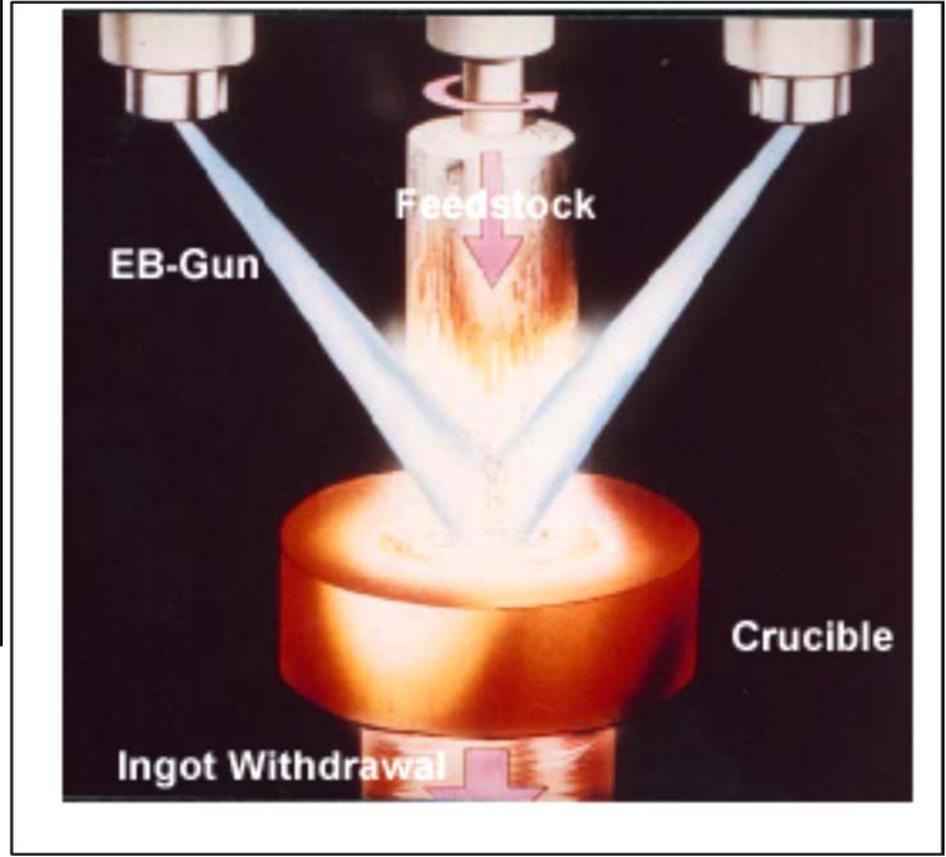
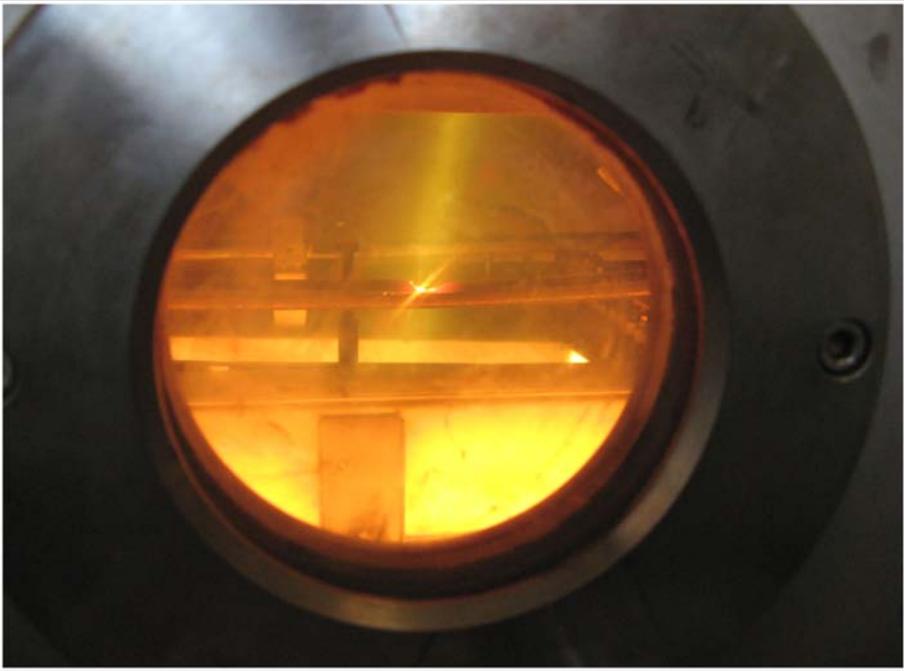
O processo consiste em **refundir um eletrodo sólido (próprio lingote)** através do aquecimento de uma escória eletrocondutora pela passagem da corrente elétrica e **posterior solidificação** em uma lingoteira de cobre refrigerada a água.

REFINO SECUNDÁRIO – REFUSÃO- ELETROESCÓRIA



Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

REFINO SECUNDÁRIO - FEIXE DE ELÉTRONS



Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

REFINO UTILIZADO TANTO
PARA AÇOS COMO PARA
METAIS REFRACTÁRIOS COMO
O **TÂNTALO** E O **NIÓBIO**

NIÓBIO



- O Brasil possui a maior reserva de nióbio do mundo, com 98% da produção mundial, seguido pelo Canadá e Austrália;
- O minério mais importante deste metal é o pirocloro;
- As reservas brasileiras apresentam teor médio de 0,73% de Nb_2O_5 ;



Columbita
(Fe, Mn)(Nb, Ta)₂O₆



Euxenita (Y, Ca, Ce, U, Th)
(Nb, Ta, Ti)₂O₆



Pirocloro (NaCaNb₂O₆F)

PROF.DR. DALTRO GARCIA PINATTI

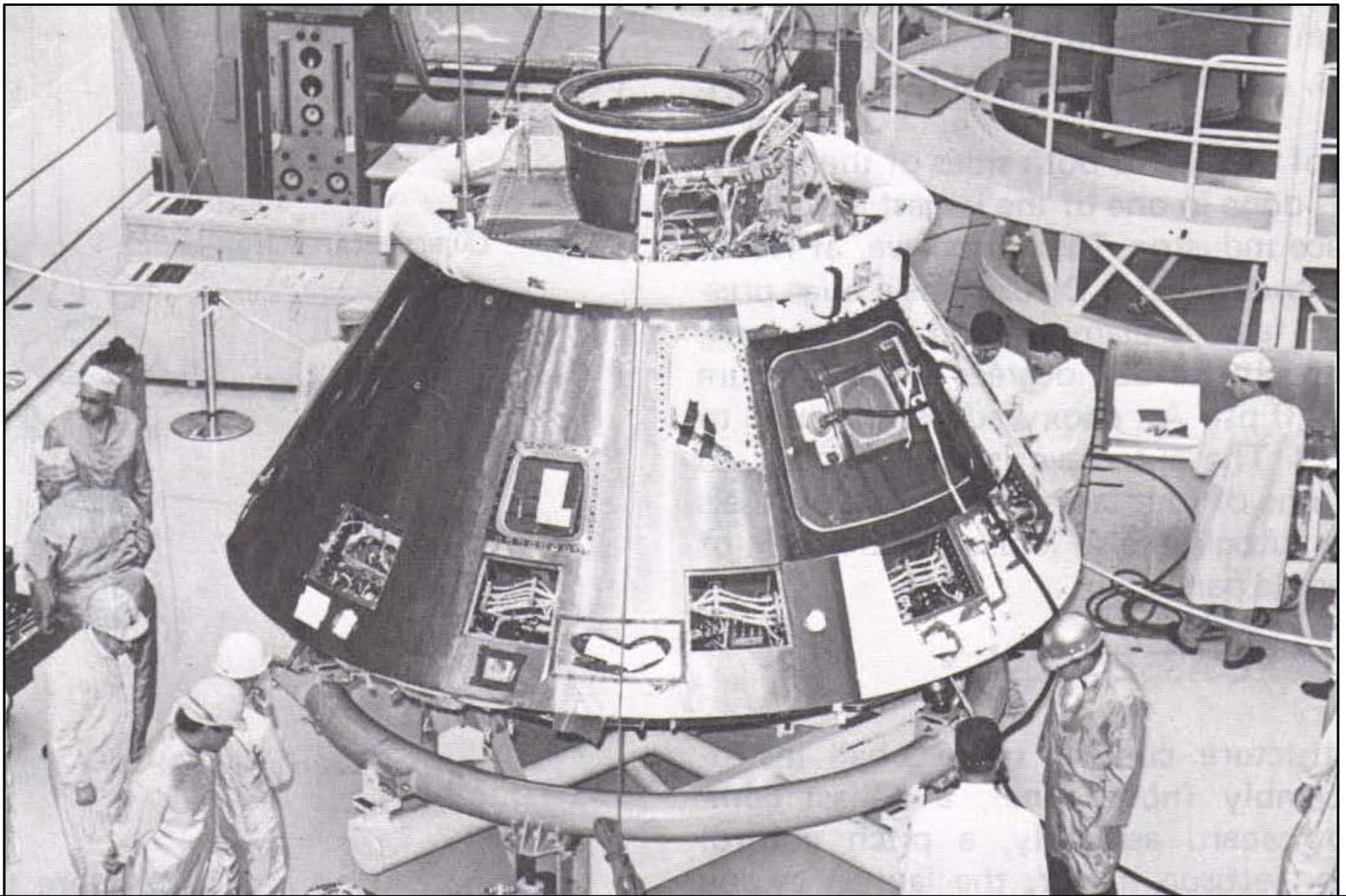




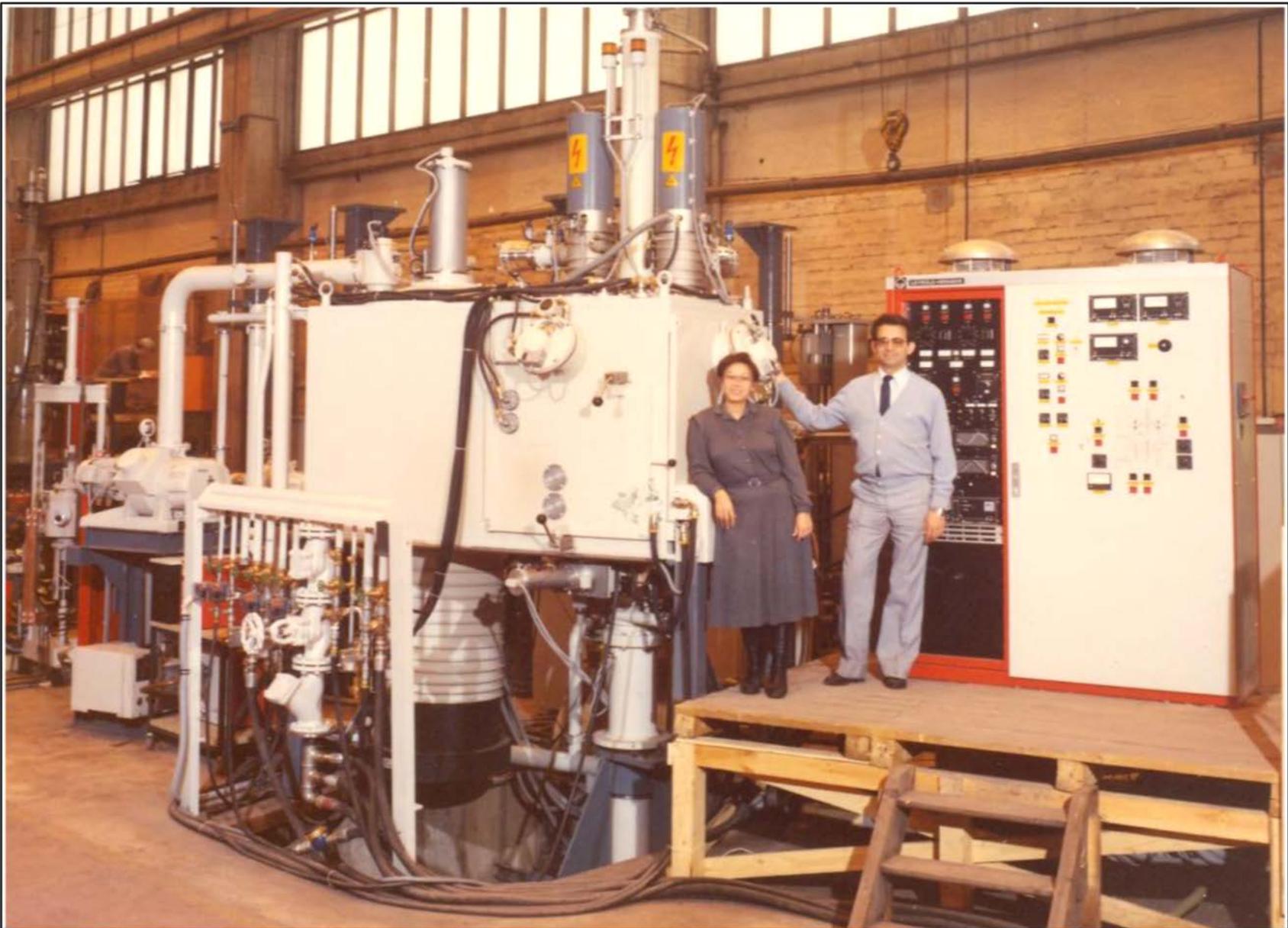
<u>GRADUADOS EM 1964</u>	
ADRIANO AUGUSTO DE ALENCAR TRONDI	FRANCISCO EDMIR BERTOLACCINI
ALBERTO FERRAZ DE ABREU	FRANCISCO UYTAKA HASHIMOTO
ALUIZIO GUIMARÃES CUPERTINO	FUMITAKA KAMIYA
ANDRÉ TUETÉ	GILSON FILISBERTO VASCONCELOS
ANTONIO CARLOS BARBIERI	GLAUCOS DA COSTAMARQUES
ANTONIO CARLOS DO AMARAL ZAITUNE	HANS GEORGE ARENS
ANTONIO CARLOS DORINI	IVAN ROTTA
ANTONIO CLAUDIO RODRIGUES	JAIRO LANDARES PEREIRA
ANTONIO EDUARDO SOUZA DE ALMEIDA	JOÃO BOSCO DAVID
CARLOS AMADEU PALLEROSI	JOÃO ROBERTO ZANIBONI
CAROL FISCHBACH	JOSÉ CARLOS GUEDES LINDO
DALTON GOMES DE MELLO	JOSÉ CELSO CONTADOR
DALTRO GARCIA PINATTI	JOSÉ VECCHIATO
DIETRICH SCHIEL	JURANDYR POVINELLI
DRAUSIO MEDAGLIA	LEOPOLDO JOSÉ DE LIMA ÁVILA
EDSON DE PAULA SANTORO	LUIZ CELSO BOCCO LIA
ETIEENE HENRIQUE JENSES	LUIZ HENRIQUE ENGRACIA TELLES
EUFÊMIO RODOFREDO VENEGAS CORONADO	MARCIO FABIO ROSA

Figura 1 – A) Placas com os nomes dos formandos da EESC-USP. B) Detalhe da placa com os nomes dos formando em Engenharia Civil da EESC-USP, do ano de 1964, dentre os quais, Daltro Garcia Pinatti. Fonte: autor.

- Primeiro bolsista FAPESP- orientador: Prof. Dr. Sergio Mascarenhas de Oliveira ;
- Estudou “Efeito Costa Ribeiro”: PINATTI, D. G.; MASCARENHAS, S.,
CORRENTES ELÉTRICAS PRODUZIDAS DURANTE A SOLIDIFICAÇÃO DA
ÁGUA. Journal of Applied Physics , v. 38, p. 2648, 1967;
- Primeiro doutor em Engenharia de Materiais do Brasil, formado na Universidade do Rice, Texas, EUA, dentro do Programa de Materiais da NASA. Contribuiu com a ideia para a blindagem térmica da Apollo 11 na reentrada;



“The base of the CM consisted of a heat shield made of brazed stainless steel honeycomb filled with a phenolic epoxy resin...”



**PROF.DR.PINATTI E PROFA.DRA. ROSA CONTE- FEIXE DE ELÉTRONS-
COMISSIONAMENTO-ALEMANHA-1980**

Rota tradicional

purificação química do óxido do metal de interesse (99,9xxx % de pureza)

- redução do óxido com sódio metal sob a forma de pó (puro porque óxido já era puro)
- fusão do pó do metal por feixe de elétrons metal consolidado na forma de lingotes
- conformação mecânica barras, fios e outros

Rota desenvolvida por Pinatti

- Abandonar a purificação química do óxido do metal de interesse;
- Fazer uma redução com alumínio de um óxido de grau técnico (química sumária);
- Obter um metal bruto, cujas impurezas principais eram o alumínio e os intersticiais (O, N, H,C, Si), transferindo para o forno de feixe de elétrons a função de fundir e purificar o metal;
- **Aprisionar as impurezas evaporadas do metal em painéis de Cu refrigerados a água, dentro da câmara de fusão.**

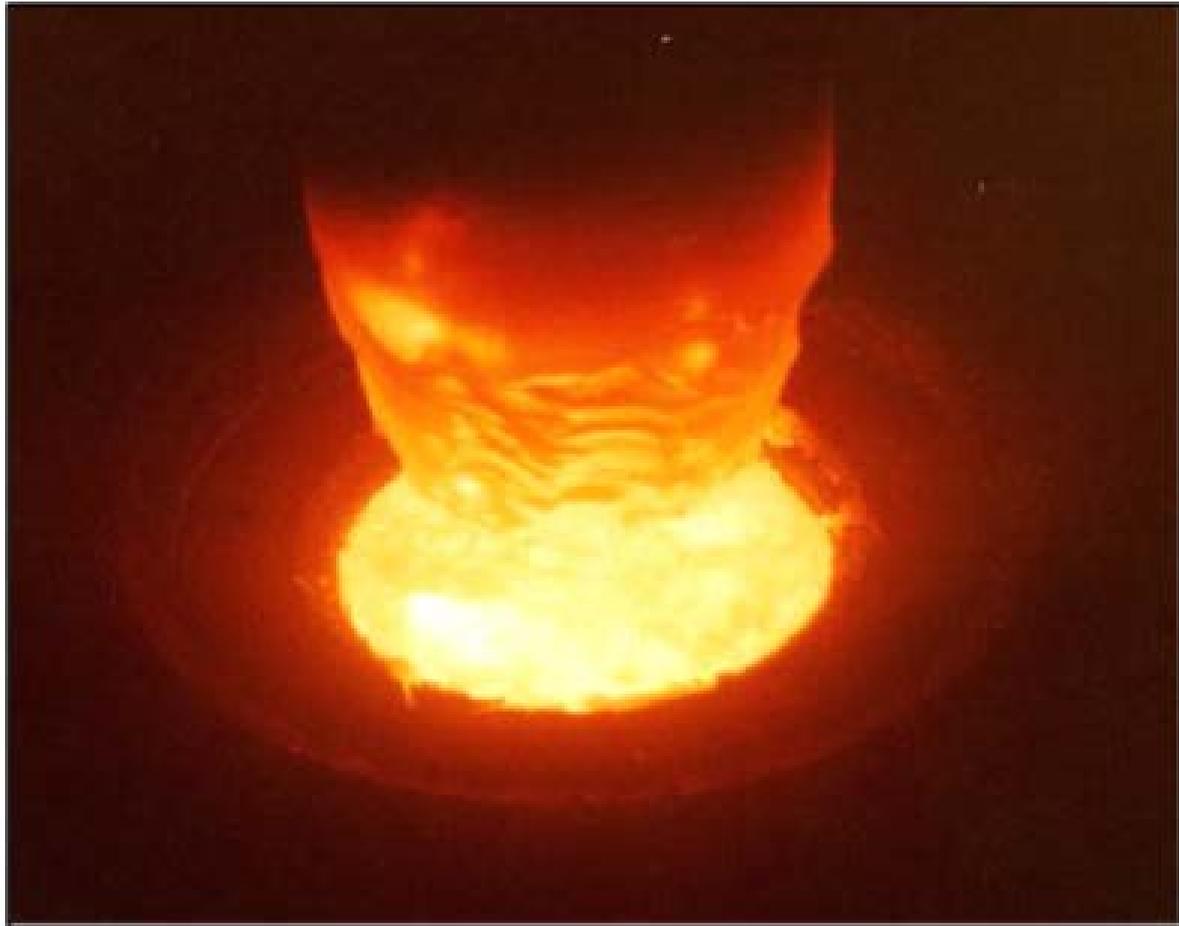
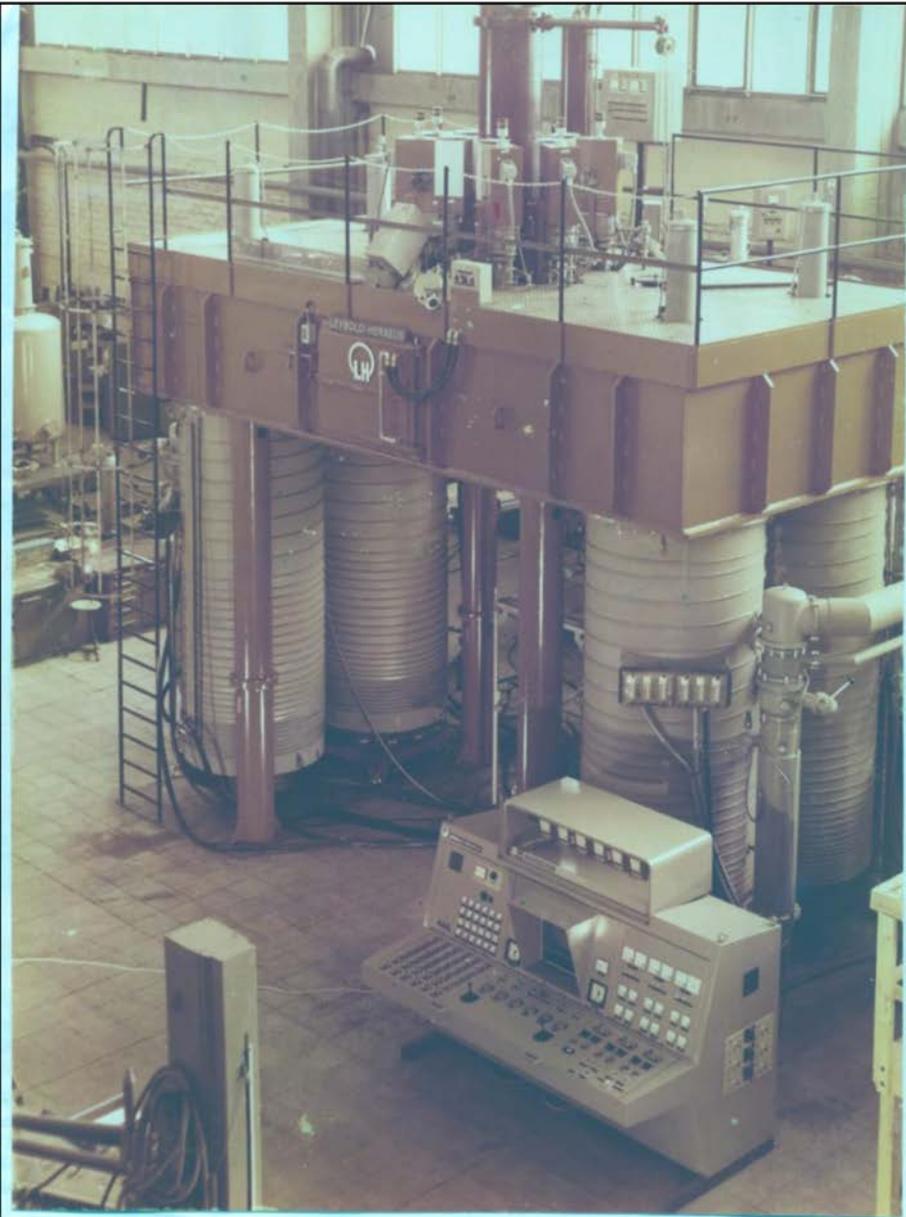


Figura 2 – Refino do Nb por feixe de elétrons. Fonte: [5].

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert



**FORNO DE FEIXE DE ELÉTRONS
ANTES E DEPOIS DA
TECNOLOGIA DESENVOLVIDA
PELO DR. PINATTI**

o Figueiredo Terra Ruchert



Figura 6 - Prêmios Metal Leve e Companhia Brasileira de Alumínio ABM, 1982.

APLICAÇÕES

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert



Imagem 2 - Turbinas da liga Inconel 718 utilizadas na indústria aeronáutica.

O nióbio também é utilizado nas superligas para fabricação de turbinas das aeronaves a jato, na produção de ligas supercondutoras com titânio para fabricação de magnetos para tomógrafos de ressonância magnética, em cerâmicas eletrônicas e como componente dos vidros das lentes para câmeras.

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

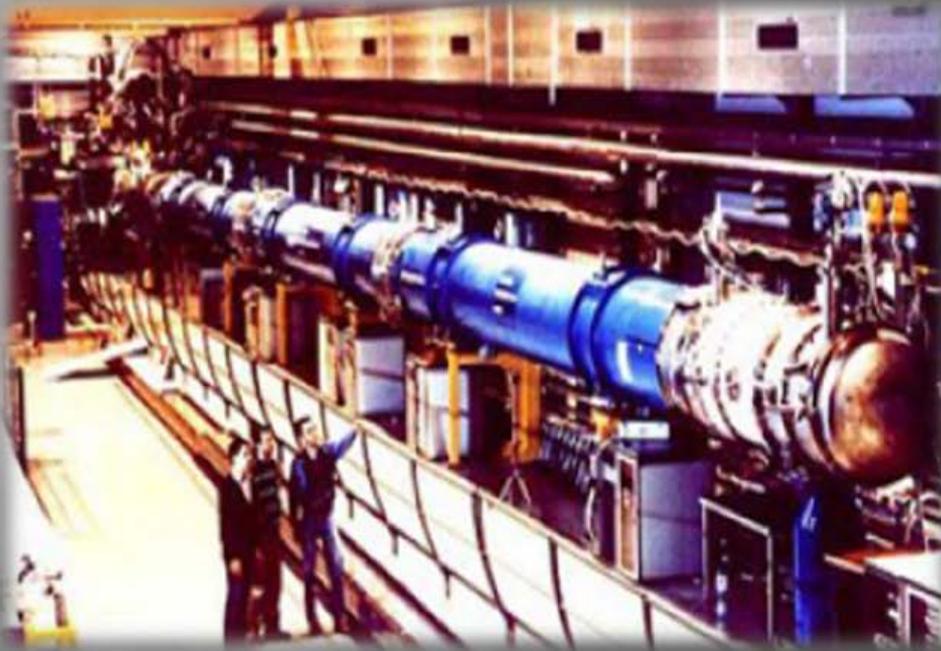
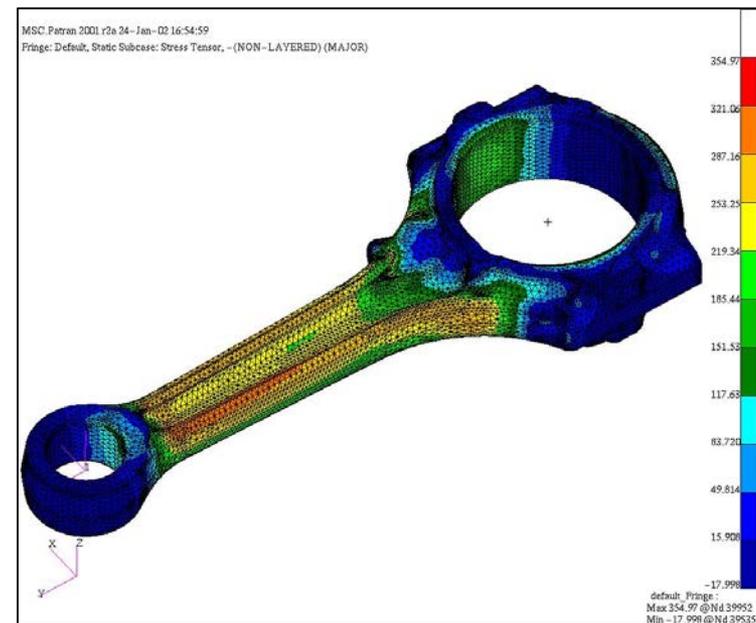


Figura 7- Acelerador de partículas com magnetos construídos com liga super condutora de nióbio e titânio.

Em estado puro, o nióbio encontra aplicação em aceleradores de partículas subatômicas. O Grande Colisor de Hádrons (LHC sigla em inglês). Visa detectar a existência de partículas elementares da matéria, inferidas pela física teórica, porém jamais observadas como o bóson de Higgs, o que poderia confirmar a existência da matéria escura e, conseqüentemente, confirmar as teorias atuais sobre a origem do universo. Neste supercondutor, há magnetos compostos pela liga nióbio-titânio.



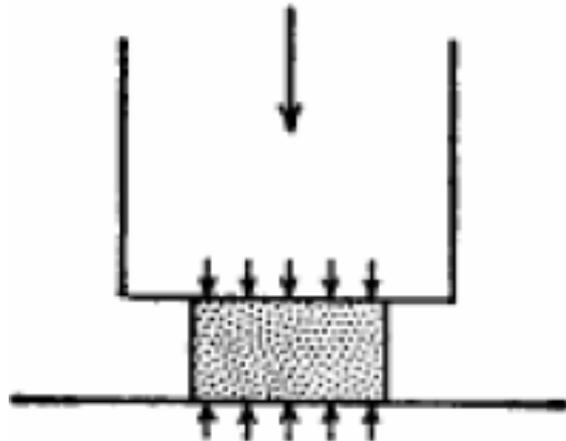
Figura 4- Plataformas marítimas com estrutura projetada em aços microligados ao nióbio..



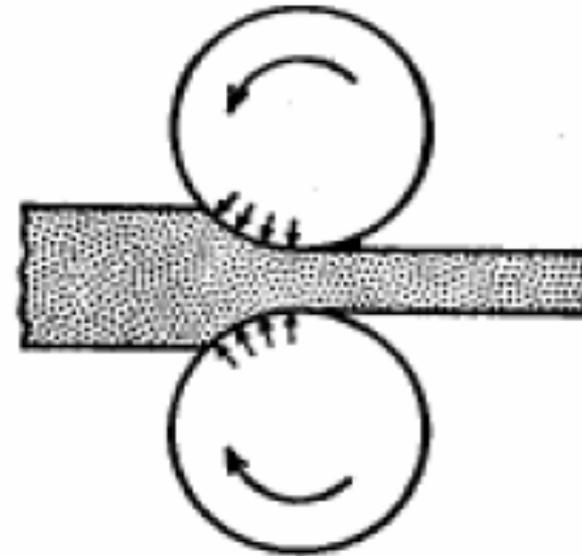
AÇOS MICROLIGADOS

Conformação

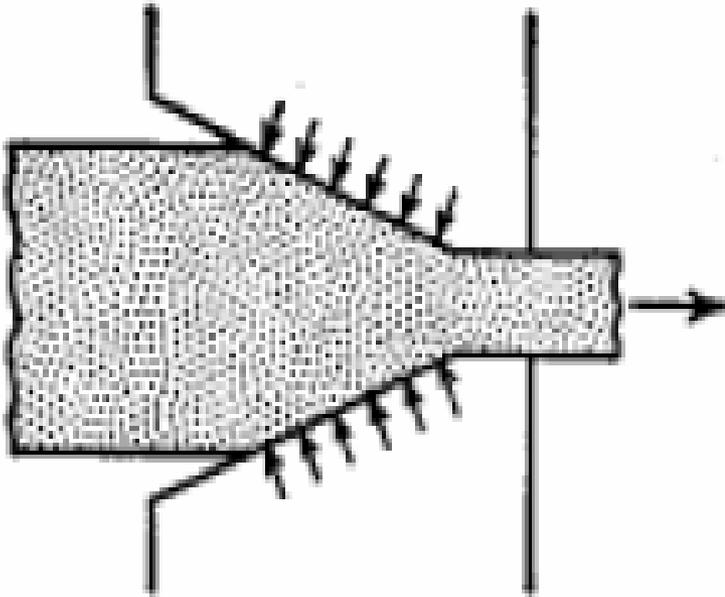
Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert



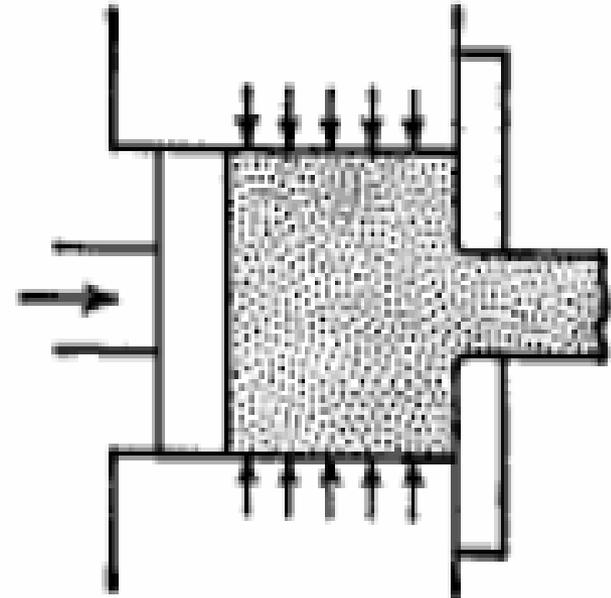
Forjamento



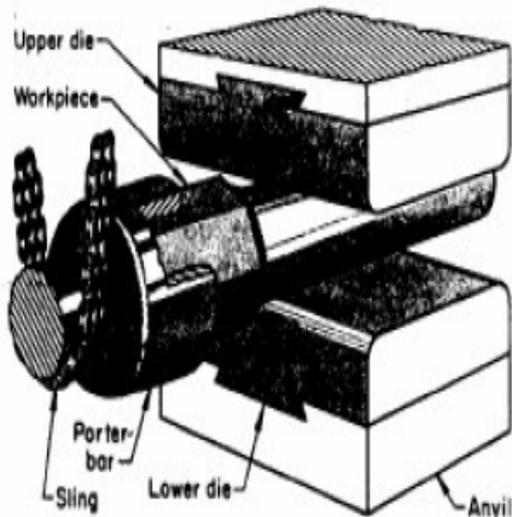
Laminação



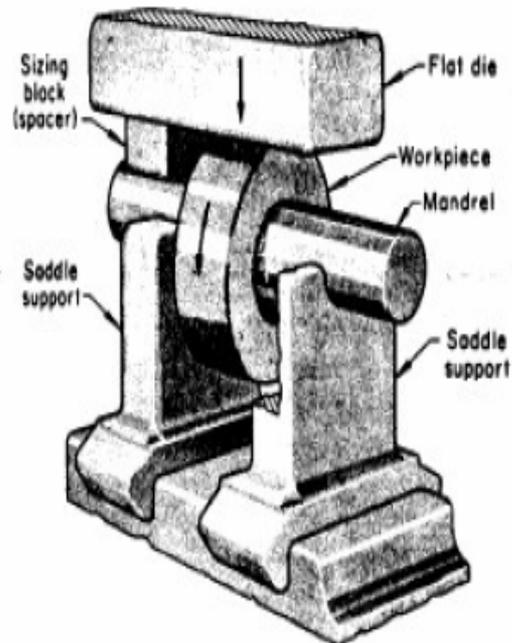
Trefilação



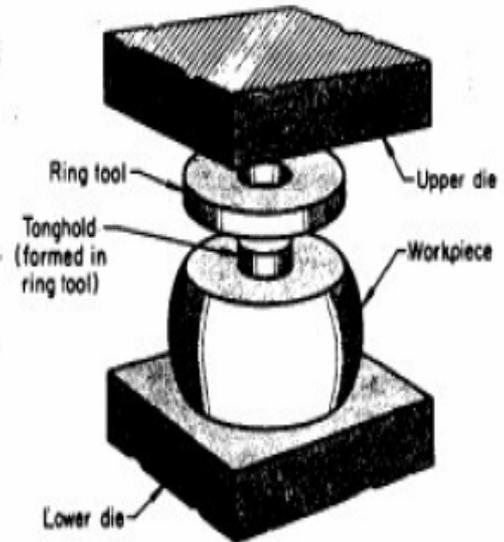
Extrusão



Forjamento de barras

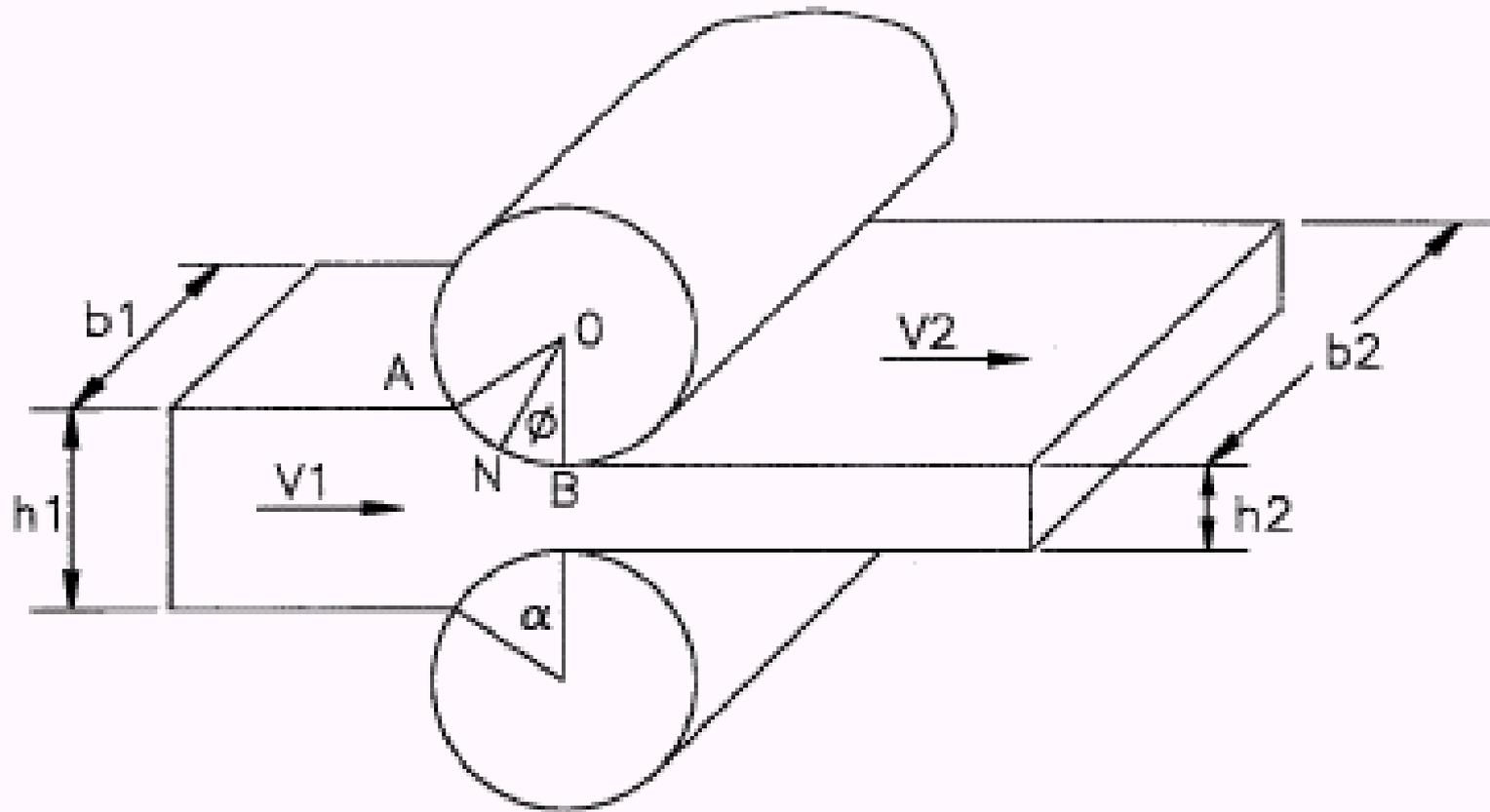


Forjamento de anéis



Forjamento de uma engrenagem (redução de diametro) com o emprego de um anél.

LAMINAÇÃO

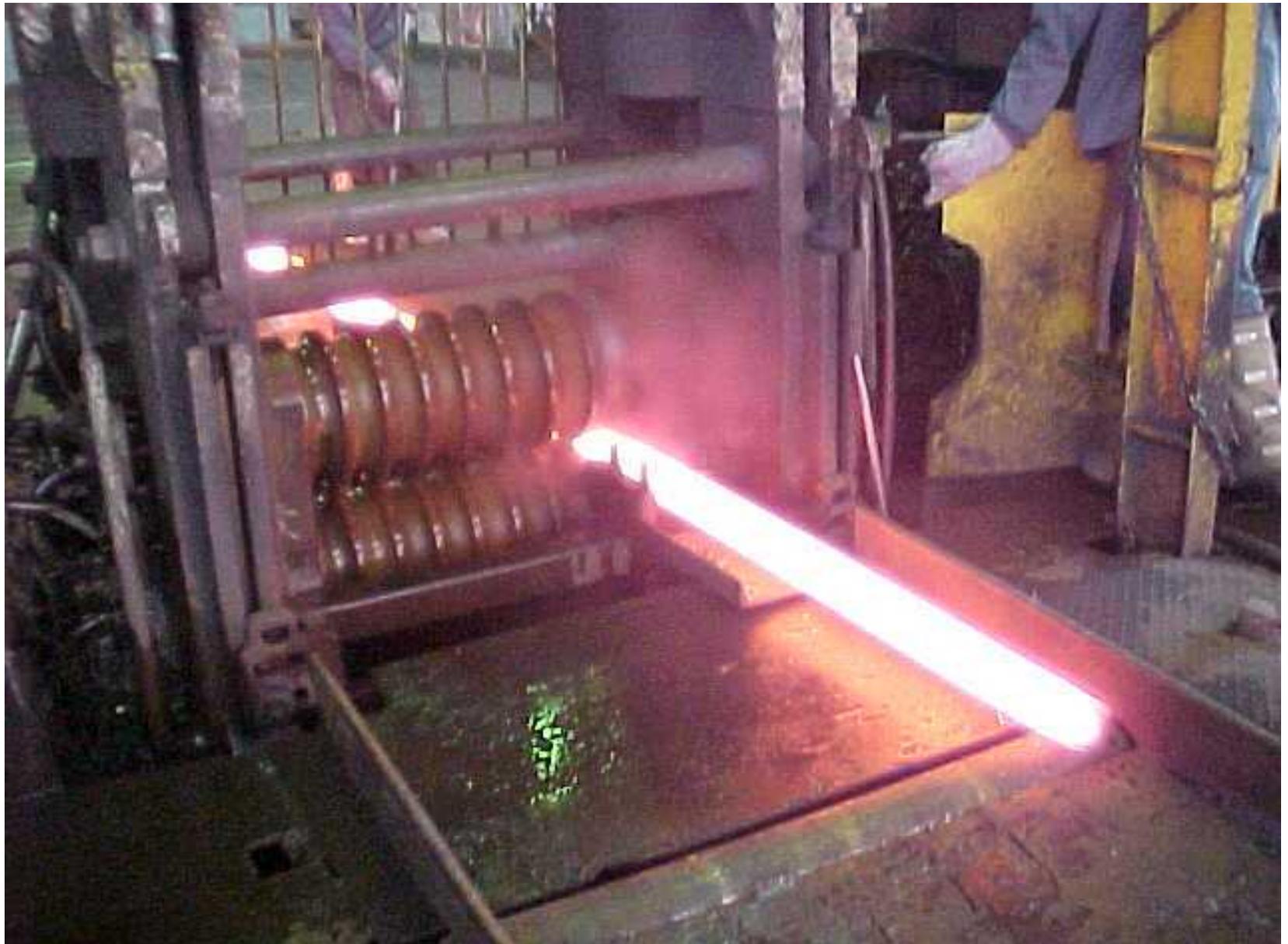


VISÃO GERAL DA LAMINAÇÃO

















Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

FORJAMENTO

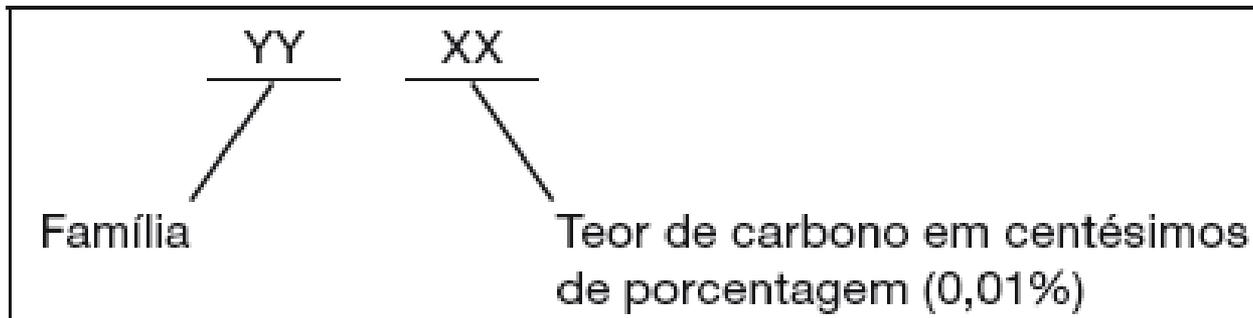


**FORJAMENTO EM MATRIZ
ABERTA E MATRIZ FECHADA.**



Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Kuchert

CLASSIFICAÇÃO DOS AÇOS: AISI, SAE, ABNT



(ADAPTADO: COLPAERT)

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

Tabela 10.1

Principais famílias de aços conforme a classificação ABNT (similar a AISI e SAE)

Aços carbono	10xx	Aço carbono
	11xx	Aço carbono resulfurado (corte fácil)
	12xx	Aço carbono resulfurado e refosforado (corte fácil)
Aços de baixa liga (construção mecânica)	13xx	Mn 1,75%
	23xx	NI 3,5%
	25xx	NI 5,0%
	31xx	NI 1,25%, Cr 0,65%
	33xx	NI 3,50%, Cr 1,55%
	40xx	Mo 0,25%
	41xx	Cr 0,50% ou 0,95%, Mo 1,12% ou 0,20%
	43xx	NI 1,80%, Cr 0,50% ou 0,80%, Mo 0,25%
	46xx	NI 1,55% ou 1,80%, Mo 0,20% ou 0,25%
	47xx	NI 1,05%, Cr 0,45%, Mo 0,20%
	48xx	NI 3,50%, Mo 0,25%
	50xx	Cr 0,80% ou 0,40%
	51xx	Cr 0,80% a 1,05%
	5xxxx	Cr 0,50% ou 1,00% ou 1,45%, C 1,00%
	61xx	Cr 0,80% ou 0,95%, V 0,10% ou 0,15% mínimo
	86xx	NI 0,55%, Cr 0,50% ou 0,65%, Mo 0,20%
	87xx	NI 0,55%, Cr 0,50%, Mo 0,25%
	92xx	Mn 0,85%, Si 2,00%
93xx	NI 3,25%, Cr 1,20%, Mo 0,12%	
98xx	NI 1,00%, Cr 0,80%, Mo 0,25%	

COMPOSIÇÃO QUÍMICA:

- NORMA ABNT NM87
- NORMA SAE J 403 E J 404

COMPOSIÇÃO QUÍMICA E

DUREZA:

- NORMA SAE J 1268

ESTIMATIVA DE PROPRIEDADES MECÂNICAS:

- NORMA SAE J 1397

NORMAS ASTM E DIN:

COMPOSIÇÃO QUÍMICA E PROPRIEDADES MECÂNICAS

CÓDIGO ASME: PETROQUÍMICA-SOLDAGEM-MATERIAIS-ENSAIOS

N-034.004.001



**ABNT-Associação
 Brasileira de
 Normas Técnicas**

Sede:
 Rio de Janeiro
 Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar
 CEP 20003-900 - Caixa Postal 1680
 Rio de Janeiro - RJ
 Tel.: PABX (021) 210-3122
 Fax: (021) 220-1762/220-6436
 Endereço Telegráfico:
 NORMATÉCNICA

Copyright © 2000,
 ABNT-Associação Brasileira
 de Normas Técnicas
 Printed in Brazil
 Impresso no Brasil
 Todos os direitos reservados

OUT 2000

NBR NM 87

Aço carbono e ligados para construção mecânica - Designação e composição química

Origem: NM 87:1996
 ABNT/CB-28 - Comitê Brasileiro de Siderurgia
 NBR NM 87 - Carbon steel and alloy steel for general engineering purpose -
 Designation and chemical composition
 Descriptors: Steel. Chemical composition
 Esta Norma cancela e substitui a NBR 6006:1994
 Válida a partir de 30.11.2000

Palavras-chave: Aço, Composição

19 páginas

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

Designación COPANT del acero/ Designação COPANT do aço	Composición química de colada (%) (1) / Composição química de corrida (%) (1)						
	Carbono (C)	Manganeso/ Manganês (Mn)	Silicio (Si)	Níquel (Ni)	Cromo (Cr)	Molibdeno/ Molibdênio (Mo)	Vanadio/ Vanádio (V)
1330	0,28-0,33	1,60-1,90	0,15-0,35	-	-	-	-
1345	0,43-0,48	1,60-1,90	0,15-0,35	-	-	-	-
3015	0,12-0,17	0,40-0,60	0,15-0,40	1,40-1,70	1,40-1,70	-	-
3115	0,13-0,18	0,40-0,50	0,15-0,35	1,10-1,40	0,55-0,75	-	-
3519	0,15-0,20	0,40-0,60	0,15-0,40	1,80-2,10	1,80-2,10	-	-
4015	0,12-0,20	0,40-0,80	0,10-0,35	-	-	0,25-0,35	-
4113	0,10-0,18	0,40-0,70	0,10-0,35	-	0,70-1,10	0,45-0,65	-
4117	0,15-0,22	0,60-0,90	0,10-0,40	-	0,85-1,15	0,10-0,40	-
4118	0,18-0,23	0,70-0,90	0,15-0,35	-	0,40-0,60	0,08-0,15	-
4120	0,17-0,22	0,60-0,90	0,15-0,40	-	0,30-0,50	0,40-0,50	-
4122	0,17-0,22	0,70-1,00	0,15-0,40	-	0,30-0,60	0,40-0,50	-
4125	0,23-0,28	0,70-0,90	0,15-0,35	-	0,40-0,60	0,20-0,30	-
4126	0,22-0,29	0,60-0,90	0,15-0,40	-	0,90-1,20	0,15-0,30	-
4127	0,23-0,29	0,60-0,90	0,15-0,40	-	0,40-0,60	0,40-0,50	-
4130	0,28-0,33	0,40-0,60	0,15-0,35	-	0,80-1,10	0,15-0,25	-
4133 ^A	0,29-0,35	0,60-0,85	0,15-0,35	-	0,90-1,20	0,15-0,30	-
4135	0,33-0,38	0,70-0,90	0,15-0,35	-	0,80-1,10	0,15,0,25	-
4136	0,30-0,37	0,60-0,90	0,15-0,40	-	0,90-1,20	0,15-0,30	-
4137	0,35-0,40	0,70-0,90	0,15-0,35	-	0,80-1,10	0,15-0,25	-
4140	0,38-0,43	0,75-1,00	0,15-0,35	-	0,80-1,10	0,15,0,25	-
4141	0,38-0,45	0,60-0,90	0,15-0,40	-	0,90-1,20	0,15-0,30	-
4142	0,40-0,45	0,75-1,00	0,15-0,35	-	0,80-1,10	0,15-0,25	-
4145	0,43-0,48	0,75-1,00	0,15-0,30	-	0,80-1,10	0,15,0,25	-
4150	0,48-0,53	0,75-1,00	0,15-0,35	-	0,80-1,10	0,15,0,25	-
4151	0,46-0,54	0,50-0,80	0,15-0,40	-	0,90-1,20	0,15-0,30	-
4161	0,56-0,64	0,75-1,00	0,15-0,35	-	0,70-0,90	0,25-0,35	-
4210	0,08-0,15	0,40-0,70	0,50 max	-	2,00-2,50	0,90-1,20	-
4320	0,17-0,22	0,45-0,65	0,15-0,35	1,65-2,00	0,40-0,60	0,20-0,30	-
4340	0,38-0,43	0,60-0,80	0,15-0,35	1,65-2,00	0,70-0,90	0,20-0,30	-
4517	0,15-0,20	0,40-0,60	0,15-0,40	1,40-1,70	1,50-1,80	0,25-0,35	-
4534	0,30-0,38	0,40-0,70	0,15-0,40	1,40-1,70	1,40-1,70	0,15-0,30	-
4620	0,17-0,22	0,45-0,65	0,15-0,35	1,65-2,00	-	0,20-0,30	-
4720	0,17-0,22	0,50-0,70	0,15-0,35	0,90-1,20	0,35-0,55	0,15-0,25	-
4815	0,13-0,18	0,40-0,60	0,15-0,35	3,25-3,75	-	0,20-0,30	-
4820	0,18-0,23	0,50-0,70	0,15-0,35	3,25-3,75	-	0,20-0,30	-
5016	0,12-0,18	0,40-0,60	0,15-0,40	-	0,40-0,70	-	-
5046	0,43-0,48	0,75-1,00	0,15-0,35	-	0,20-0,35	-	-
5060	0,56-0,64	0,75-1,00	0,15-0,35	-	0,40-0,60	-	-
5115	0,13-0,18	0,70-0,90	0,15-0,35	-	0,70-0,90	-	-
5116	0,14-0,19	1,00-1,30	0,15-0,35	-	0,80-1,10	-	-
5120	0,17-0,22	0,70-0,90	0,15-0,35	-	0,70-0,90	-	-
5121 ^B	0,17-0,22	1,10-1,40	0,15-0,35	-	1,00-1,30	-	-
5123 ^C	0,20-0,25	0,60-0,80	0,12 max	-	0,80-1,00	-	-
5125 ^C	0,23-0,28	0,60-0,80	0,12 max	-	0,80-1,00	-	-
5130	0,28-0,33	0,70-0,90	0,15-0,35	-	0,80-1,10	-	-
5132	0,30-0,35	0,60-0,80	0,15-0,35	-	0,75-1,00	-	-

	DIN EN 10083-3	DIN
--	-----------------------	------------

ICS 77.140.10

Supersedes
DIN EN 10083-3:2006-10

**Steels for quenching and tempering –
Part 3: Technical delivery conditions for alloy steels
English version of DIN EN 10083-3:2007-01**

Vergütungsstähle –
Teil 3: Technische Lieferbedingungen für legierte Stähle
Englische Fassung DIN EN 10083-3:2007-01

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

EN 10083-3:2006 (E)

Table 3 — Steel grades and chemical composition (cast analysis)

Steel designation		Chemical composition % by mass ^{a,b}							
Name	Number	C	Si max.	Mn	P max.	S	Cr	Mo	Ni
Steels without boron ^c									
38Cr2	1.7003	0,35 to 0,42	0,40	0,50 to 0,80	0,025	max. 0,035	0,40 to 0,60	-	-
46Cr2	1.7006	0,42 to 0,50	0,40	0,50 to 0,80	0,025	max. 0,035	0,40 to 0,60	-	-
34Cr4	1.7033	0,30 to 0,37	0,40	0,60 to 0,90	0,025	max. 0,035	0,90 to 1,20	-	-
34CrS4	1.7037					0,020 to 0,040			
37Cr4	1.7034	0,34 to 0,41	0,40	0,60 to 0,90	0,025	max. 0,035	0,90 to 1,20	-	-
37CrS4	1.7038					0,020 to 0,040			
41Cr4	1.7035	0,38 to 0,45	0,40	0,60 to 0,90	0,025	max. 0,035	0,90 to 1,20	-	-
41CrS4	1.7039					0,020 to 0,040			
25CrMo4	1.7218	0,22 to 0,29	0,40	0,60 to 0,90	0,025	max. 0,035	0,90 to 1,20	0,15 to 0,30	-
25CrMoS4	1.7213					0,020 to 0,040			
34CrMo4	1.7220	0,30 to 0,37	0,40	0,60 to 0,90	0,025	max. 0,035	0,90 to 1,20	0,15 to 0,30	-
34CrMoS4	1.7226					0,020 to 0,040			
42CrMo4	1.7225	0,38 to 0,45	0,40	0,60 to 0,90	0,025	max. 0,035	0,90 to 1,20	0,15 to 0,30	-
42CrMoS4	1.7227					0,020 to 0,040			

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

Table 8 — Mechanical properties ^a at room temperature in the quenched and tempered condition (+QT)

Steel designation		Mechanical properties for the ruling section (see EN 10083-1:2006, Annex A) with a diameter (<i>d</i>) or for flat products thickness (<i>t</i>) of																			
		<i>d</i> ≤ 16 mm <i>t</i> ≤ 8 mm					16 mm < <i>d</i> ≤ 40 mm 8 mm < <i>t</i> ≤ 20 mm					40 mm < <i>d</i> ≤ 100 mm 20 mm < <i>t</i> ≤ 60 mm					100 mm < <i>d</i> ≤ 160 mm 60 mm < <i>t</i> ≤ 100 mm				
Name	Number	<i>R_e</i>	<i>R_m</i>	A	Z	<i>KV^b</i>	<i>R_e</i>	<i>R_m</i>	A	Z	<i>KV^b</i>	<i>R_e</i>	<i>R_m</i>	A	Z	<i>KV^b</i>	<i>R_e</i>	<i>R_m</i>	A	Z	<i>KV^b</i>
		min.		min.	min.	min.	min.		min.	min.	min.	min.		min.	min.	min.	min.	min.		min.	min.
		MPa ^c		%	%	J	MPa ^c		%	%	J	MPa ^c		%	%	J	MPa ^c		%	%	J
38Cr2	1.7003	550	800 to 950	14	35	-	450	700 to 850	15	40	35	350	600 to 750	17	45	35	-	-	-	-	-
46Cr2	1.7006	650	900 to 1100	12	35	-	550	800 to 950	14	40	35	400	650 to 800	15	45	35	-	-	-	-	-
34Cr4	1.7033	700	900 to 1100	12	35	-	590	800 to 950	14	40	40	460	700 to 850	15	45	40	-	-	-	-	-
34CrS4	1.7037																				
37Cr4	1.7034	750	950 to 1150	11	35	-	630	850 to 1000	13	40	35	510	750 to 900	14	40	35	-	-	-	-	-
37CrS4	1.7038																				
41Cr4	1.7035	800	1000 to 1200	11	30	-	660	900 to 1100	12	35	35	560	800 to 950	14	40	35	-	-	-	-	-
41CrS4	1.7039																				
25CrMo4	1.7218	700	900 to 1100	12	50	-	600	800 to 950	14	55	50	450	700 to 850	15	60	50	400	650 to 800	16	60	45
25CrMoS4	1.7213																				
34CrMo4	1.7220	800	1000 to 1200	11	45	-	650	900 to 1100	12	50	40	550	800 to 950	14	55	45	500	750 to 900	15	55	45
34CrMoS4	1.7226																				
42CrMo4	1.7225	900	1100 to 1300	10	40	-	750	1000 to 1200	11	45	35	650	900 to 1100	12	50	35	550	800 to 950	13	50	35
42CrMoS4	1.7227																				
50CrMo4	1.7228	900	1100 to 1300	9	40	-	780	1000 to 1200	10	45	30	700	900 to 1100	12	50	30	650	850 to 1000	13	50	30

COMO INTERPRETAR A NOMENCLATURA DE AÇOS NA NORMA DIN

AÇOS CARBONO

Podem ser classificados de duas formas: **pelo limite de resistência à tração** ou **pela composição química**.

Pelo **limite de resistência à tração**, utiliza-se o símbolo St (de stahl, que significa aço em alemão), seguido do limite de resistência à tração mínimo.

Ex: **St 42** – aço com limite de resistência à tração mínimo de **42 kgf/mm²**.

Pela **composição química**, emprega-se a letra C seguida do teor de carbono multiplicado por 100.

Ex: **C 45** - aço com teor médio de carbono de 0,45%. Equivalente ao **SAE/ABNT 1045**

AÇOS LIGADOS

No caso de **aços baixa liga**, estes são representados de acordo com o seguinte exemplo:

Aço DIN 42 Cr Mo 4, da norma DIN EN 10083-3 (equivalente ao **SAE4140**) :

- **42** é o teor de **carbono** multiplicado por 100 (ou seja **0,42%**);
- **Cr e Mo** são símbolos dos elementos de liga;
- **4** é o multiplicador do teor do elemento de liga em maior quantidade .



5 - AÇOS GERDAUL E EQUIVALÊNCIAS COM NORMAS

5.1 - AÇOS CONSTRUÇÃO MECÂNICA

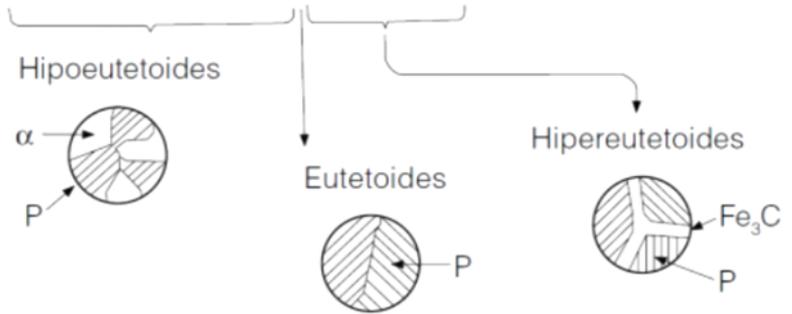
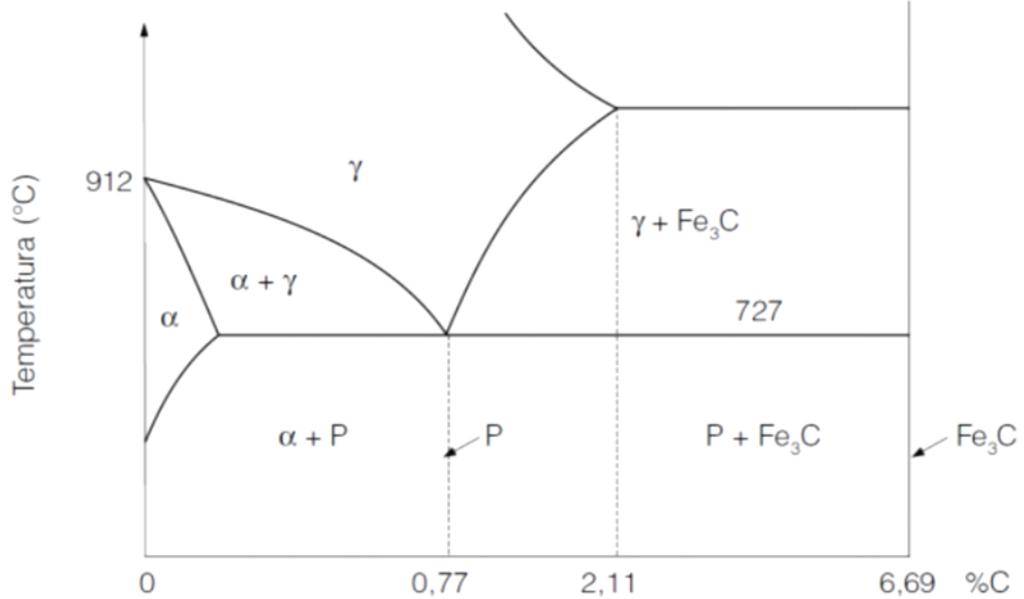
5.1.1 - AÇOS CARBONO NÃO RESSULFURADOS

QUAL. GERDAUL	ABNT/SAE AISI/ASTM	DIN	UNI	JIS	BS	AFNOR
1010	1010	(C10/C10E/Cq10)	(C10)	(S 10C)	(045A10)	C12
1015	1015	(C15/C15E/C15R/Cq15)	(C15-C16)	(S 15C)	(080A15)	-
1018	1016/1018/1019	-	-	-	080A17	(C20)
1020	1020	(C20/C20E/C20R/Cq22)	(C20)	(S 20C)	(050A20)	(C20)
1022	1022	(C22/C22E/Cq22)	-	(S 22C)	-	-
1030	1030	(C30/C30E/C30R)	(C30/C31)	(S 30C)	080A30	(XC32)
1035	1035	(C35/C35E/C35R/Cq35/Cf35)	(C35/C36)	(S 35C)	080A35	(C35)
1040	1038/1040	(C40/C40E/C40R)	(C40/C41)	(S 40C)	080A40	(C40)
1541	1541	---	-	(SMn2H/SMn 3H)	080A40 (150M36)	(XC42)
1045	1045	(C45/C45E/C45R/Cq45/Cf45)	(C45/C46)	(S 45C)	080A47	(C45)
1050	1050	(C50/C50E/C50R)	(C50/C51/	(S 50C)	(080A52)	XC50
1060	1060	(C60/C60E/C60R)	C53)	(S 58C)	-	-
1084	1080/1084	(C85/85Mn3)	(C60/C61)	-	080A83	(X80)
NORMAS	-	-	-	G 4051	970 part1	33-101

5.1.3 - AÇOS LIGADOS PARA BENEFICIAMENTO

QUAL. GERDAU	ABNT/SAE AISI/ASTM	DIN	UNI	JIS	BS	AFNOR
1330	1330	(30Mn5)	-	(SMn 2H)	(120M36)	-
4037	4037	-	-	-	(605A37)	-
41 Cr 4	5140	41Cr4	41Cr4	SCr 4H	(530H40)	42C4
4130	4130	(30CrMo4)	(30CrMo4)	SCM 3H	(708A30)	(30CD4)
4140	4140	(42CrMo4)	(42CrMo4)	(SCM 4H)	(708M40)	(42CD4)
4142	4142	41CrMo4	41CrMo4	(SCM 4H)	(708A42)	(42CD4)
4150	4150	(50CrMo4)	-	(SCM 5H)	(708A47)	-
42CrMo4	(4140)	42CrMo4	42CrMo4	(SCM 24H)	708M40	42CD4
4340	4340	(40CrNiMo6)	-	(SNM 21H)	(817M40)	(35NCD6)

NOMENCLATURA QUANTO AO TEOR DE CARBONO



(ADAPTADO:
AÇOS E LIGAS
ESPECIAIS-
Costa & Silva e
Mei)

Figura 1.14 Diagrama de "fases" Fe-Perlita.

QUANTO MAIOR O TEOR DE CARBONO E ELEMENTOS DE LIGA, O AÇO PODE ALCANÇAR MAIOR DUREZA E RESISTÊNCIA MECÂNICA



AÇOS PARA CONSTRUÇÃO MECÂNICA

Denominações			Composições Químicas Médias (%)									Acabamento de fornecimento	Recozimento Pleno (°C)	Dureza HB Max.
Sae	Gerdau	Villares	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Outros			
4340	4340	VM 40	0,38 0,43	0,15 0,35	0,60 0,80	0,03 máx.	0,04 máx.	0,70 0,90	1,65 2,00	0,20 0,30	-	LAMINADO TREFILADO RETIFICADO	830	220
8640	8640	VM 40	0,38 0,43	0,15 0,35	0,75 1,00	0,03 máx.	0,04 máx.	0,40 0,60	0,40 0,70	0,15 0,25	-		830	230
4140	4140	VM 40	0,38 0,43	0,15 0,35	0,75 1,00	0,03 máx.	0,04 máx.	0,80 1,10	-	0,15 0,25	-		845	200
1045	1045	VT 45	0,43 0,50	0,15 0,35	0,60 0,90	0,03 máx.	0,05 máx.	-	-	-	-	LAMINADO TREFILADO RETIFICADO	845	185
1020	1020	VT 30	0,18 0,23	0,15 0,35	0,30 0,60	0,03 máx.	0,05 máx.	-	-	-	-	LAMINADO TREFILADO RETIFICADO	870	111

AÇOS INOXIDÁVEIS

ÁÇOS INOXIDÁVEIS: ALTO Cr>12% CARBONO ABAIXO DE 0,10%.

AUSTENÍTICOS: SÉRIE 300 – Cr (16- 30%) E Ni (8-35%) EX: 316, 304.

MARTENSÍTICOS: SÉRIE 400- Cr(11-18%) EX: 410, 420.

DUPLEX: Cr(18-27%), Ni(4-7%) E Mo(1-4%). EX: 2205.

AÇOS INOXIDÁVEIS MARTENSÍTICOS

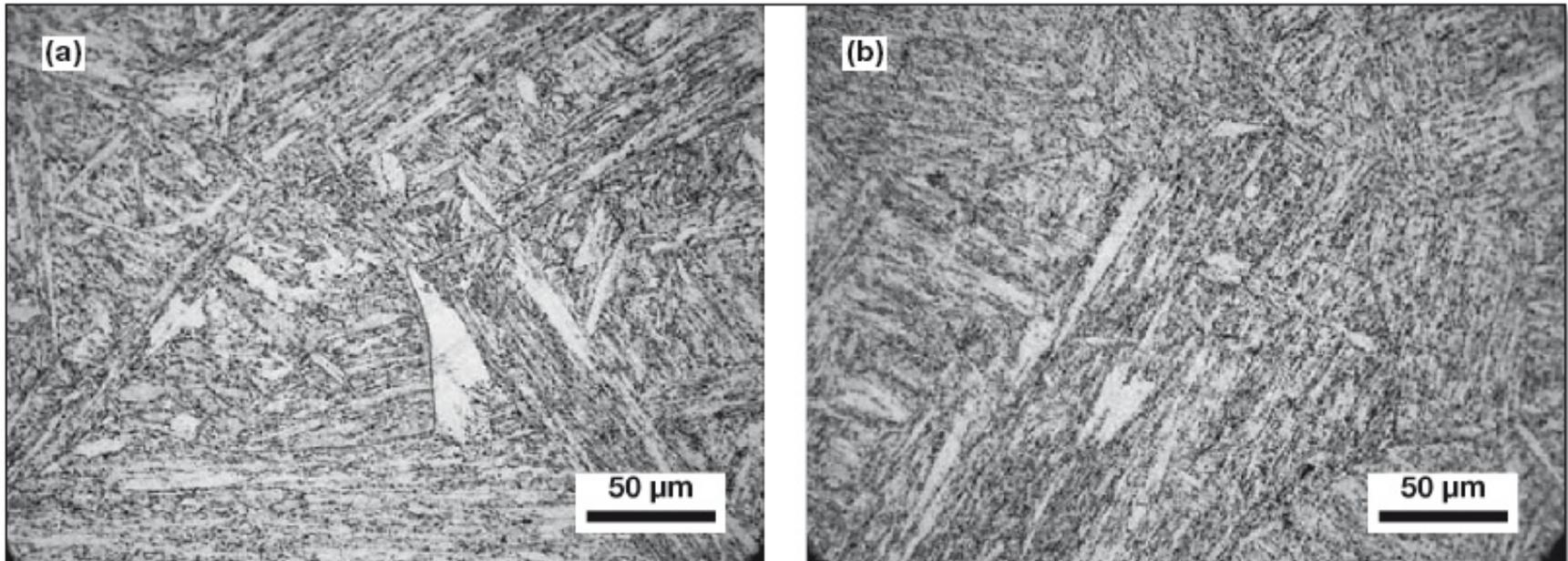


Figura 16.2(a)

Aço inoxidável martensítico AISI 410 temperado e revenido. (a) e (b) Martensita revenida. Ataque: Kalling. Cortesia A. Zeeemann, Tecmetal, Rio de Janeiro, Brasil.

(ADAPTADO: COLPAERT)

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS

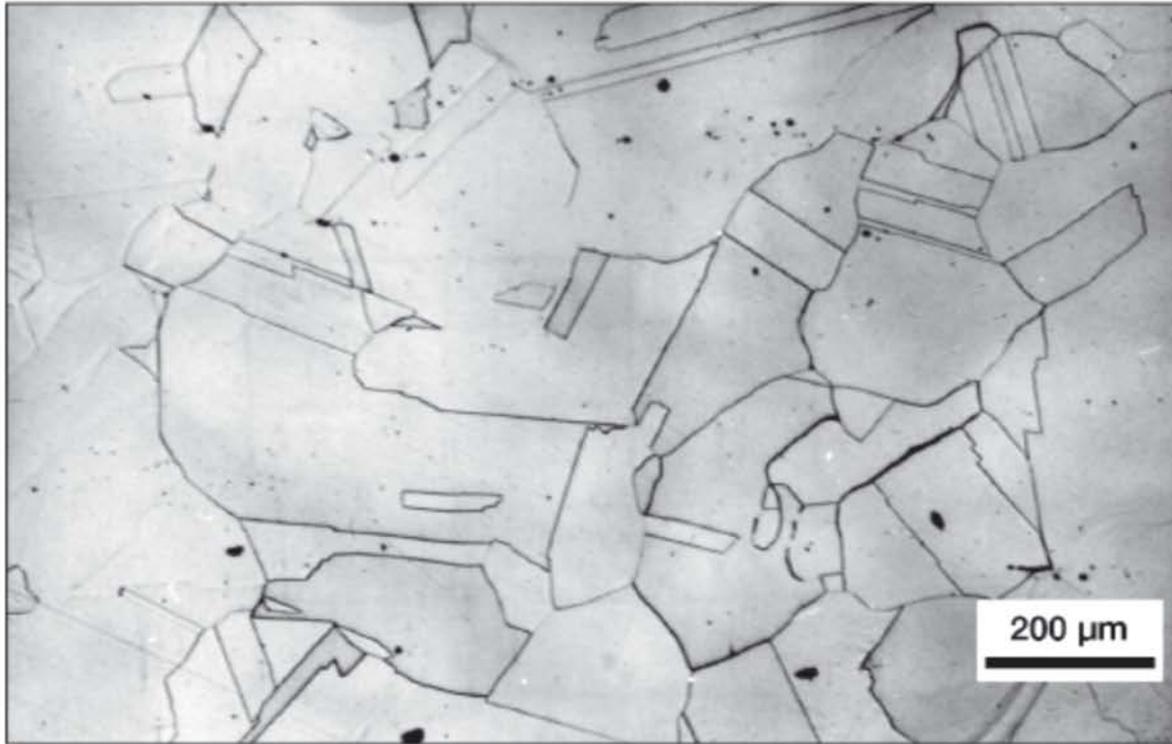


Figura 16.12

Aço austenítico W.Nr. 1.4439 forjado e solubilizado. Austenita, tamanho de grão austenítico ASTM 2-4.

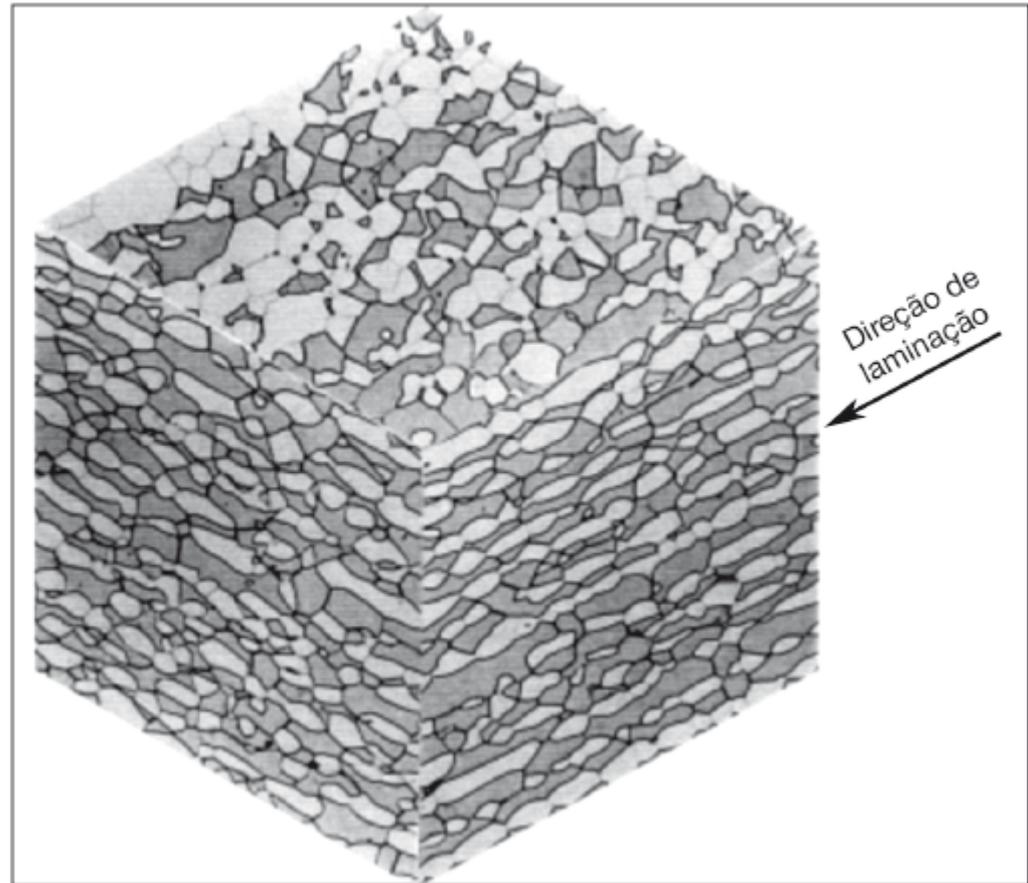
(ADAPTADO: COLPAERT)

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

AÇOS INOXIDÁVEIS DUPLEX

Figura 16.28

Microestrutura de chapa do aço inoxidável dúplex UNS S31803 laminada e solubilizada a 1050 °C por 30 minutos. Ferrita (escura) e ilhas de austenita (clara). A conformação se dá no campo bifásico. Ataque eletrolítico com solução 30% (vol) HNO₃. Cortesia A Ramirez, LNLS, Campinas, SP, Brasil [23].



(ADAPTADO: COLPAERT)

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

APLICAÇÕES EM PETROQUÍMICA

Tipo	Denominação	Composição Química				Fy (MPA)	PREN
		Cr	Ni	MO	Cu		
13Cr	Cromo-13	13	***	***	***	550	13
S13Cr	Super-Cromo	13	5	2	***	550	20
316	Inox (Austenítico)	17	12	2,2	***	205	24
317	Inox (Austenítico)	18	15	4,5	***	205	29
31803	Inox Duplex	22	5,6	2,8	***	450	34
32750	Super-Duplex	25	7	3,5	***	550	41
904	Superaustenítico	20	25	4,2	1,5	220	36
31266	Superaustenítico	25	22	5,8	1,5	220	55
825	Incoloy	22	42	3	2,5	440	32
625	Inconel	21	70	9	***	517	51
C276	Hasteloy	16	68	16	***	355	68

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

Ferros fundidos

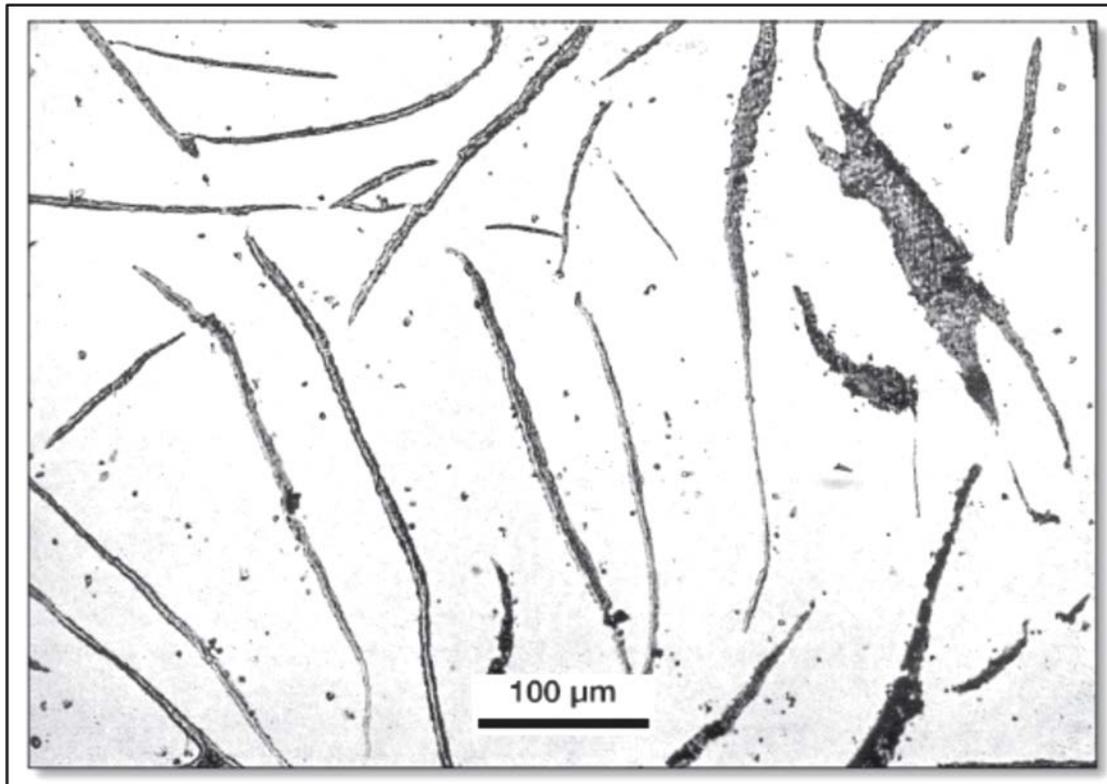
Ligas ferrosas contendo 2.1%-4% C e 1%-3% Si

- composição torna-os excelentes para fundição
- a fabricação de ferros fundidos é várias vezes superior a de qualquer outro metal fundido, excepto lingotes e tarugos de aço que serão posteriormente trabalhados.

FoFo CINZENTO:

- GRAFITA EM VEIOS;
- FRÁGIL SOB TENSÃO TRATIVA;
- RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO;
- RESISTÊNCIA AO DESGASTE;
- EXCELENTE ABSORÇÃO DE VIBRAÇÕES;

(ADAPTADO: COLPAERT)



chert

FoFo DÚTIL OU NODULAR:

- ADIÇÃO DE Mg OU Ce NO FoFo CINZENTO;
- GRAFITA EM NÓDULOS;
- MATRIZ PERLITICA—MELHOR DUTILIDADE;

(ADAPTADO: COLPAERT)

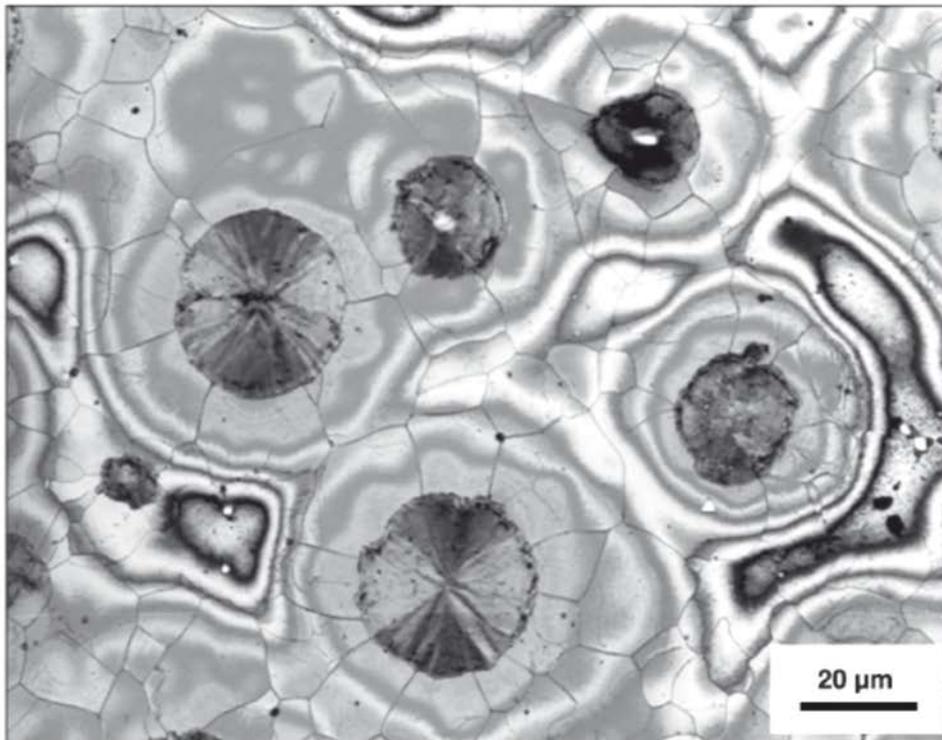
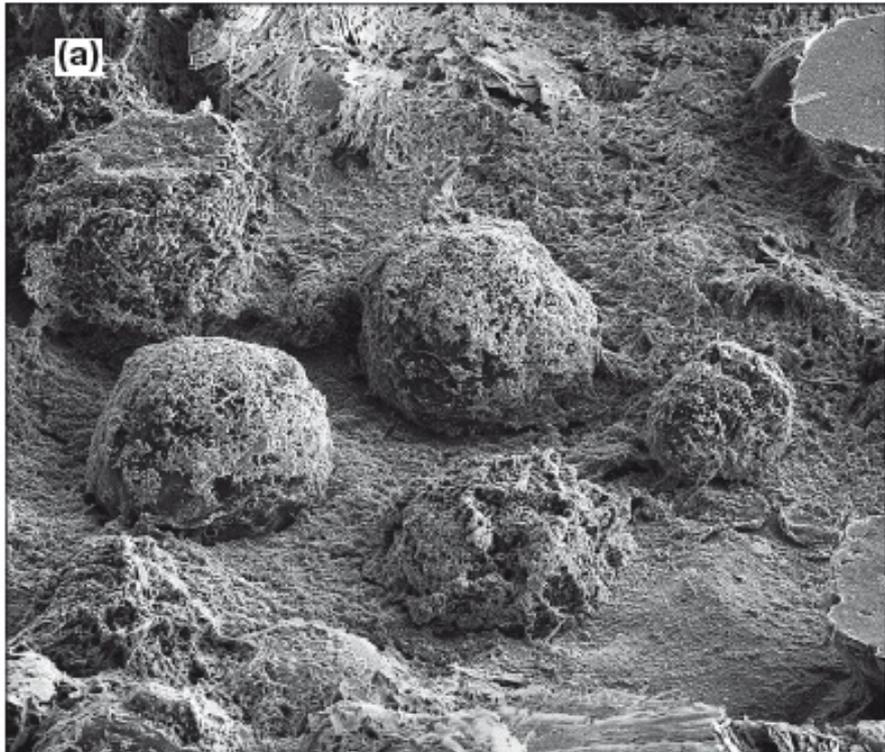


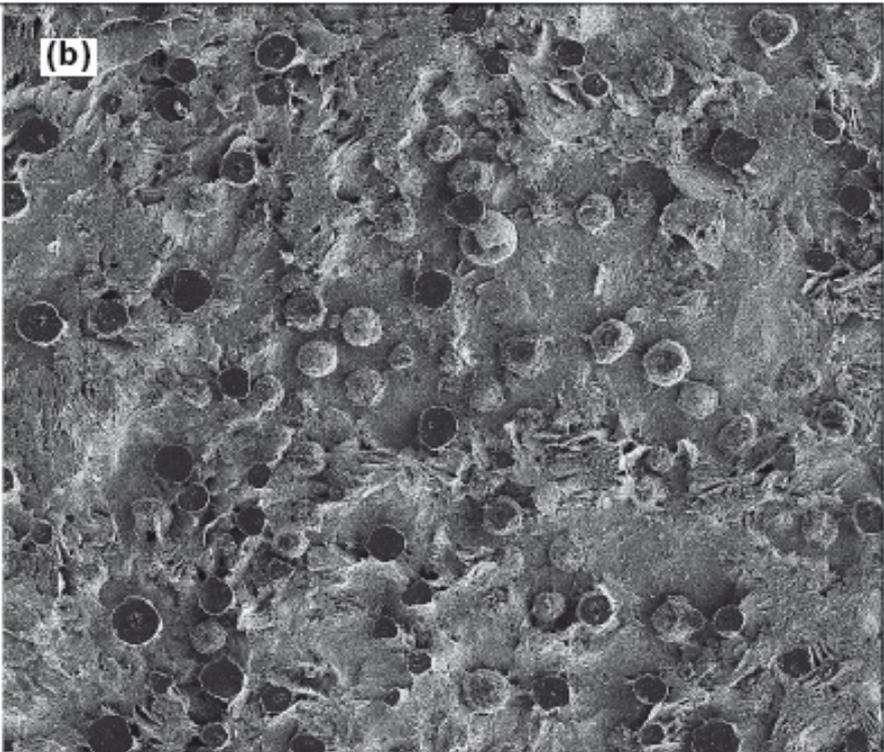
Figura 17.82

Ferro fundido nodular, recozido (Fe-3.9%, C-2.9%, Si-0.32%, Mn-0.06%, P-0.037%, Mg-1.5%, Ni-0.57% Cu). O ataque⁽¹²⁾ revela a segregação de silício, cujo teor vai se reduzindo a medida que a distância do nódulo aumenta. Cortesia de J. Radzikowska, Foundry Research Institute-Krakow, Polónia.

FoFo DÚTIL OU NODULAR



E-Beam	Spot	Tilt	Mag	FWD	HFWD	Det	20 µm	
5.00 kV	3	52.0°	1.50 kX	4.905	101 µm	SED		



E-Beam	Spot	Tilt	Mag	FWD	HFWD	Det	100 µm	
5.00 kV	3	0.0°	250 X	5.000	608 µm	SED		

(ADAPTADO: COLPAERT)

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

FoFo DÚTIL OU NODULAR

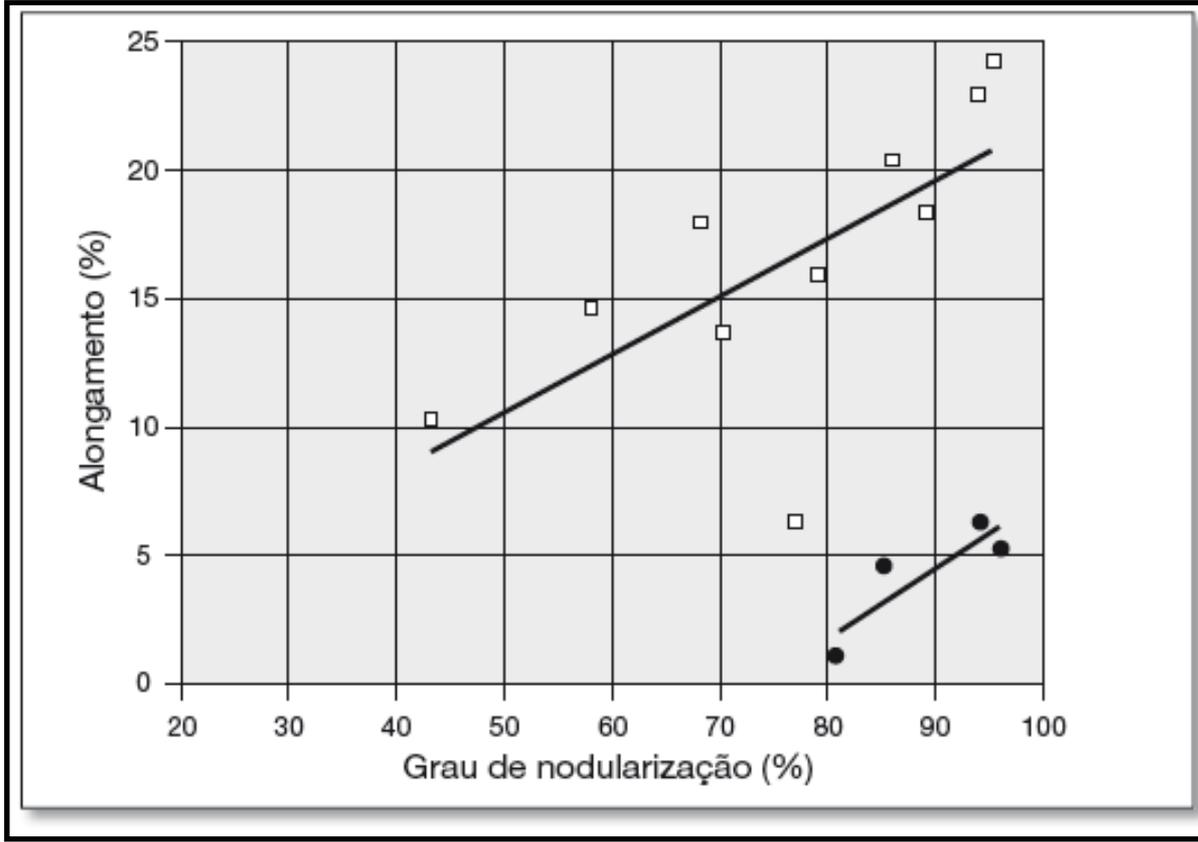


Figura 17.77
Efeito do grau de nodularização (medi-
do por metalografia quantitativa) sobre o
alongamento medido no ensaio de tração
para dois tipos de ferro fundido nodular.
Adaptado de [38].

(ADAPTADO: COLPAERT)

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

FoFo BRANCO:

- DURO E FRÁGIL;
- EXCELENTE RESISTÊNCIA AO DESGASTE;
- <1,0%Si.

(ADAPTADO: COLPAERT)

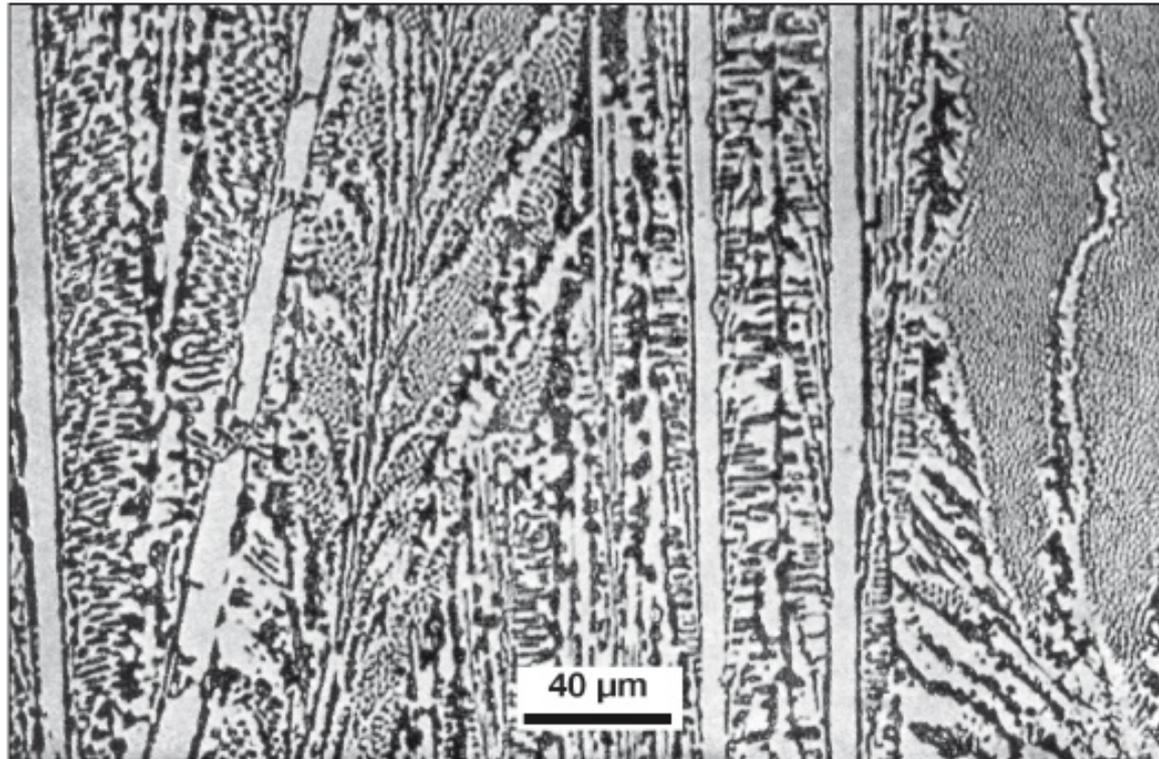


Figura 17.16

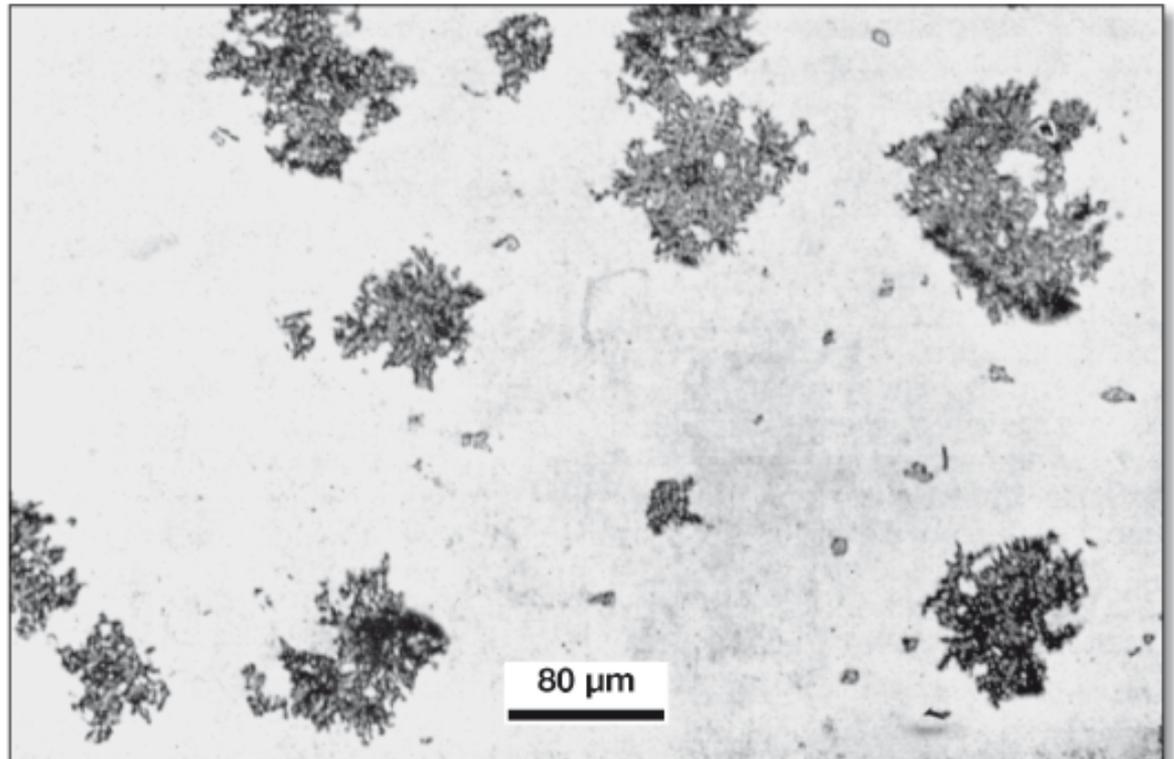
Microestrutura do ferro fundido branco da Figura 17.15, observada com maior aumento. Ataque: Picral.

FoFo MALEÁVEL:

- MODIFICAÇÃO DO FoFo BRANCO ATRAVÉS DE TRATAMENTO TÉRMICO;
- MAIOR DUTILIDADE QUE O BRANCO;
- GRAFITA EM NÓDULOS DIFUSOS.

Figura 17.102

Ferro fundido maleável de núcleo preto.
Nódulos de grafita. Sem ataque.



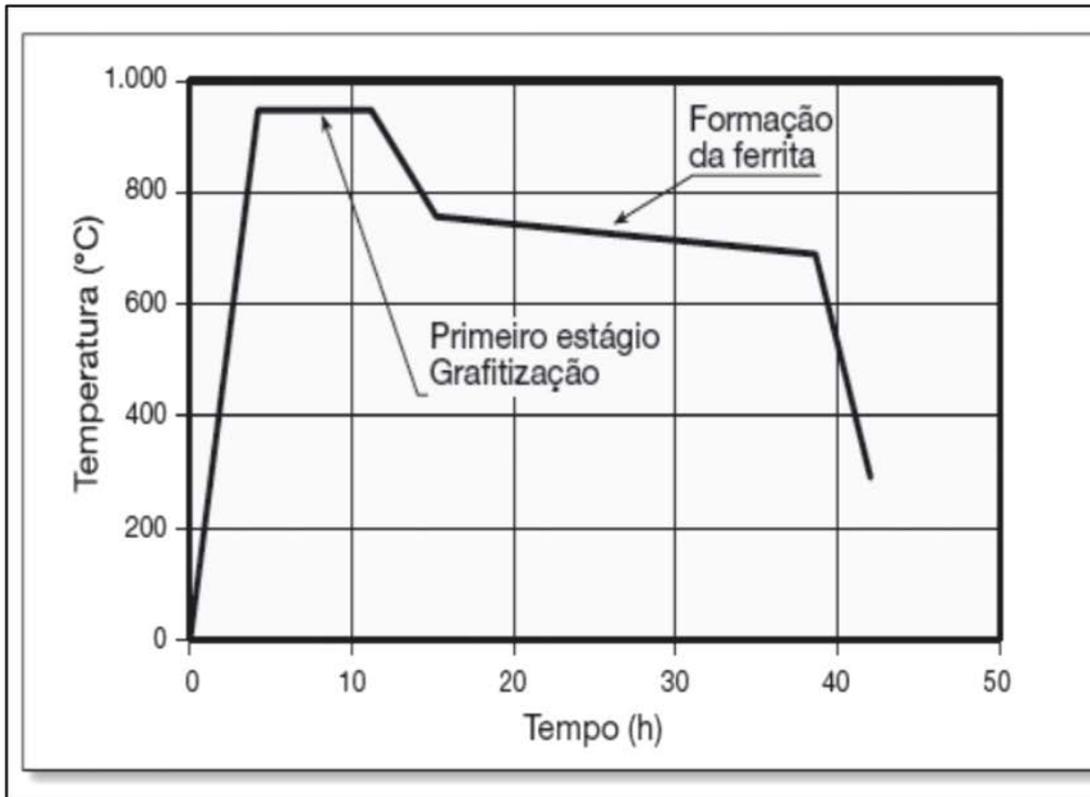


Figura 17.103

Ciclo de tratamento térmico típico para a obtenção de ferro fundido maleável preto ferrítico. O primeiro estágio em que a cementita é transformada em grafita pode levar cerca de 8 h. O resfriamento, no campo austenítico, deve levar à precipitação adicional de grafita, evitando a supersaturação da austenita em carbono. Por fim, o resfriamento lento na região crítica permite que a ferrita cresça, rejeitando o carbono para a austenita e precipitando-o como grafita.

APLICAÇÕES DO FoFo



(VÁLVULA-SULZER)



(VÁLVULA GLOBO-KSB)

APLICAÇÕES DO FoFo



**BARRAMENTO DE TORNO E
BLOCO DE MOTOR**



Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

FIM

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert