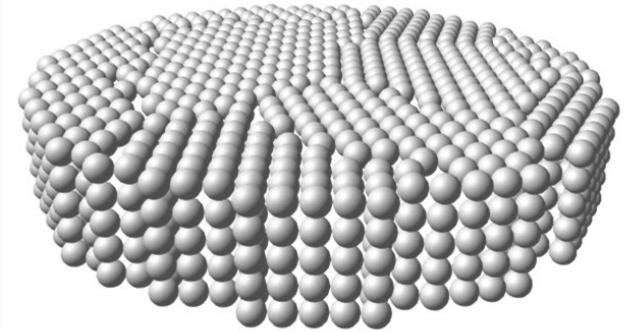


Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de Lorena

Departamento de Engenharia de Materiais



LOM 3080 – PROCESSOS DA INDÚSTRIA METALÚRGICA E SIDERÚRGICA

HISTÓRICO

REFERÊNCIAS:

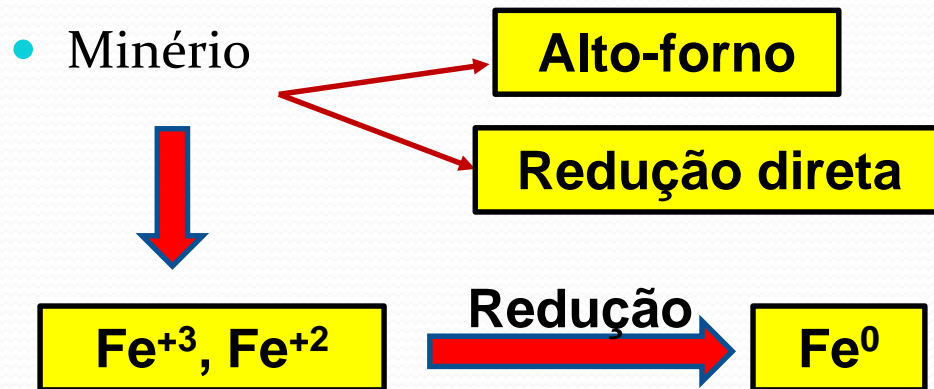
- **Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns**, Hubertus Colpaert, 4^a. Edição revisada e atualizada por **André Luiz Vasconcelos da Costa e Silva**, Editora Blücher – Villares Metals, **2008**;
- **Manual de siderurgia**, Luiz Antonio de Araujo, Vol1-2^a Edição-2005;
- Apostila de Siderurgia (CEFET-ES), Prof. Dr. Marcelo Lucas Pereira Machado, 2006.
- Aulas de reciclagem, Prof.Sandro Donnini Mancini, Prof. Isabel Trannin, Prof. Jorge Hamada;
- Aula: Siderurgia-A Elaboração do Aço - DEMEC –TM175 – Prof. Adriano Scheid.

FABRICAÇÃO DO AÇO

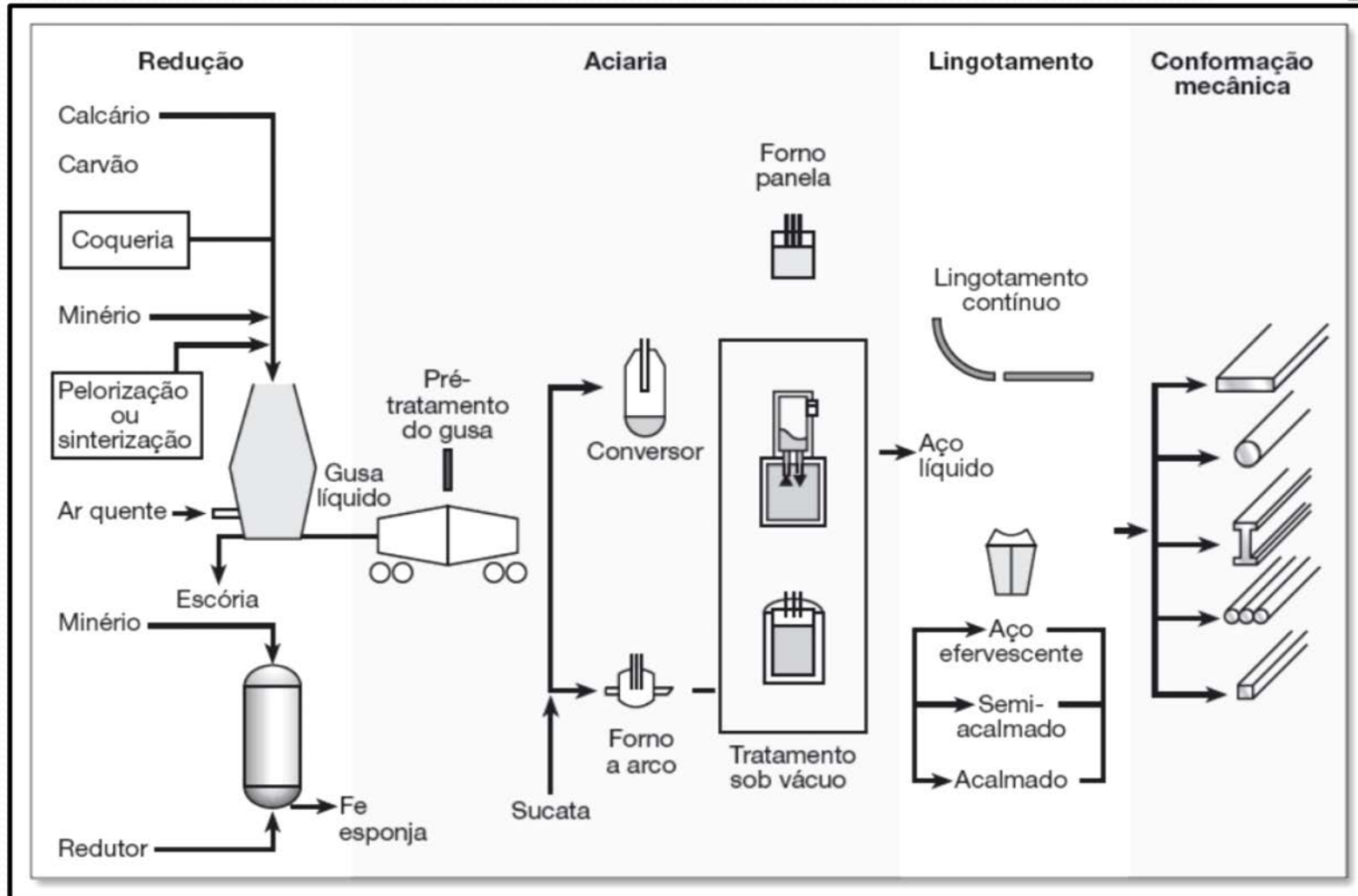
Somente depois da percepção que com adições significativas de carbono, o ponto de fusão das ligas de ferro se reduzia é que foi viabilizada a fabricação do aço em escala industrial, no século XVIII.

Em 1856, mundialmente, eram produzidas 40.000 t anuais de aço e no início do século XXI atingiu-se 1.000.000.000 t anuais.

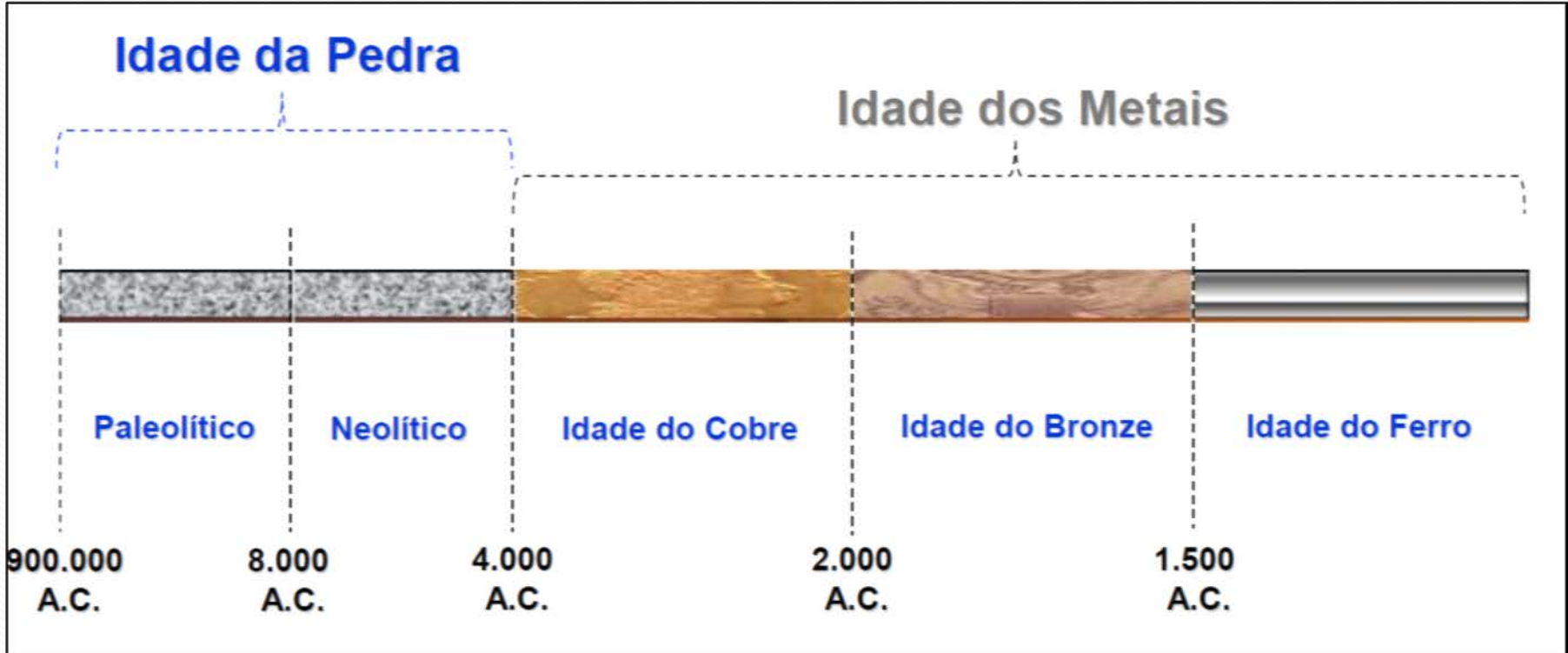
Processos de redução



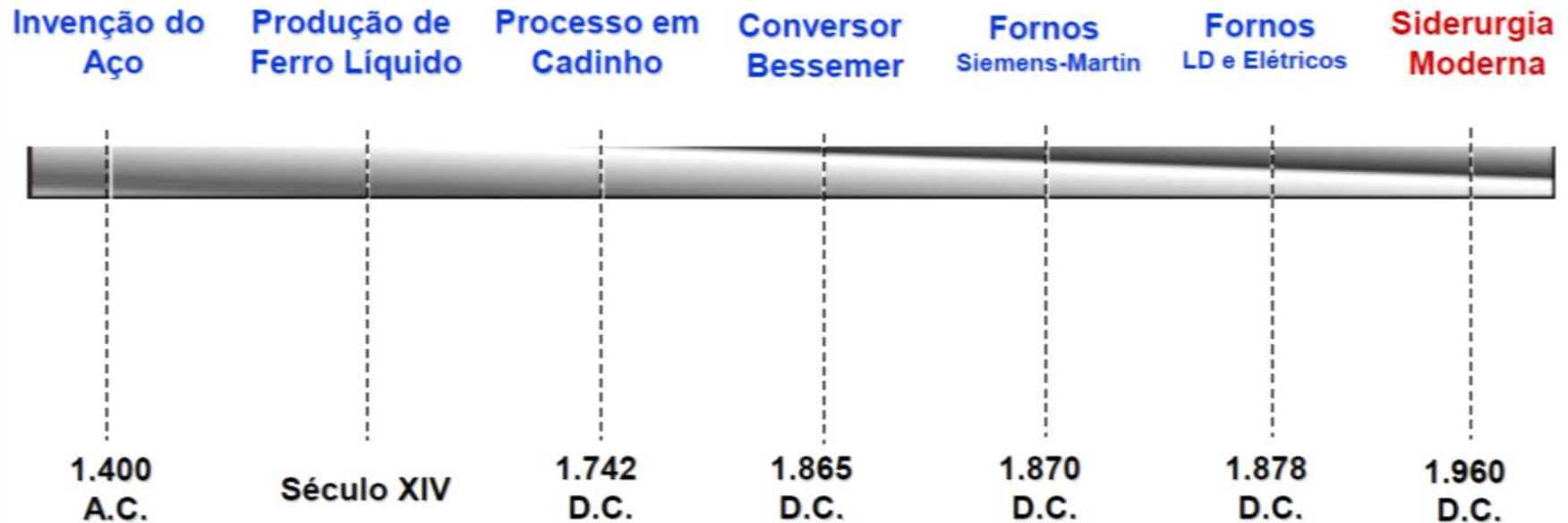
FABRICAÇÃO DO AÇO



(Colpaert)



Histórico do Aço



A fusão do Cobre no Altiplano Iraniano marca o nascimento da metalurgia. O metal era conhecido como “aes cyprium”(minério do Chipre), uma vez que a ilha do Chipre era a maior fornecedora de Cobre da antiguidade.



ERA DO BRONZE: LIGA DE COBRE E ESTANHO, MAIS DURO QUE O COBRE “PURO”



Molde talhado em pedra



ORIGEM DO TERMO SIDERURGIA



- 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.

ORIGEM DA SIDERURGIA

- Suspeita-se que o **primeiro metal** surge na história quando o **minério de ferro** que circundava as **fogueiras**, utilizadas para aquecer as cavernas no período **Neolítico**, era **reduzido** a ferro metálico, pelo calor e pelo contato com a madeira carbonizada;
- **Pedaços de meteoritos** recolhidos por tribos seminômades da **Ásia Menor** podem ter sido utilizados em artefatos;
- **Contas de ferro** foram encontradas nas tumbas de El-Gezilah (Egito), datando de **4.000A.C.**



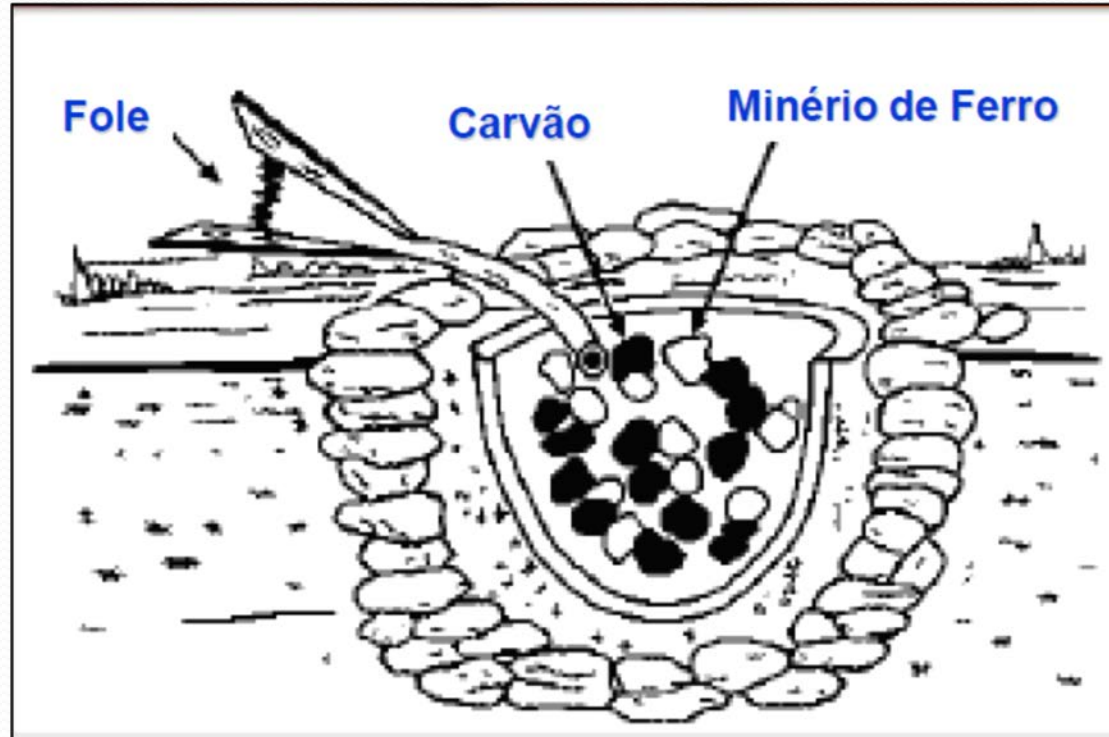
Robert Franklin Mehl (March 30, 1898–January 29, 1976). Traduzido pelo Prof. Dr. José Roberto Gonçalves da Silva: “O desenvolvimento histórico da Metalurgia Física”

• **2.800 A.C. – Fusão redutora do Fe (ferro esponja) e, possivelmente, fabricação do aço (Tutancamon);**

OBS: A redução direta do Fe: o óxido de ferro é convertido em ferro pelo gás redutor composto de H_2 e CO .

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;

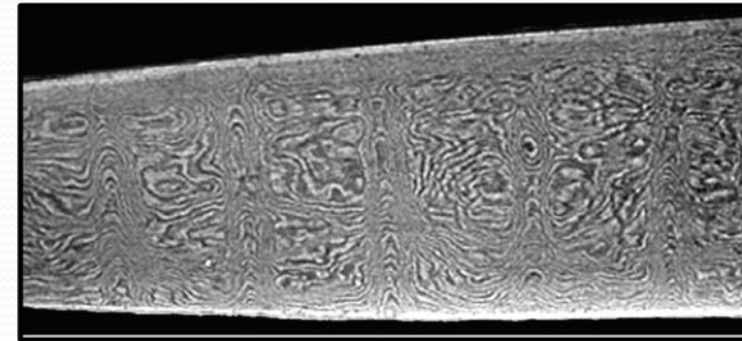
23-79 D.C. - primeiros registros de estudos metalúrgicos -manuscritos de Pliny.

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

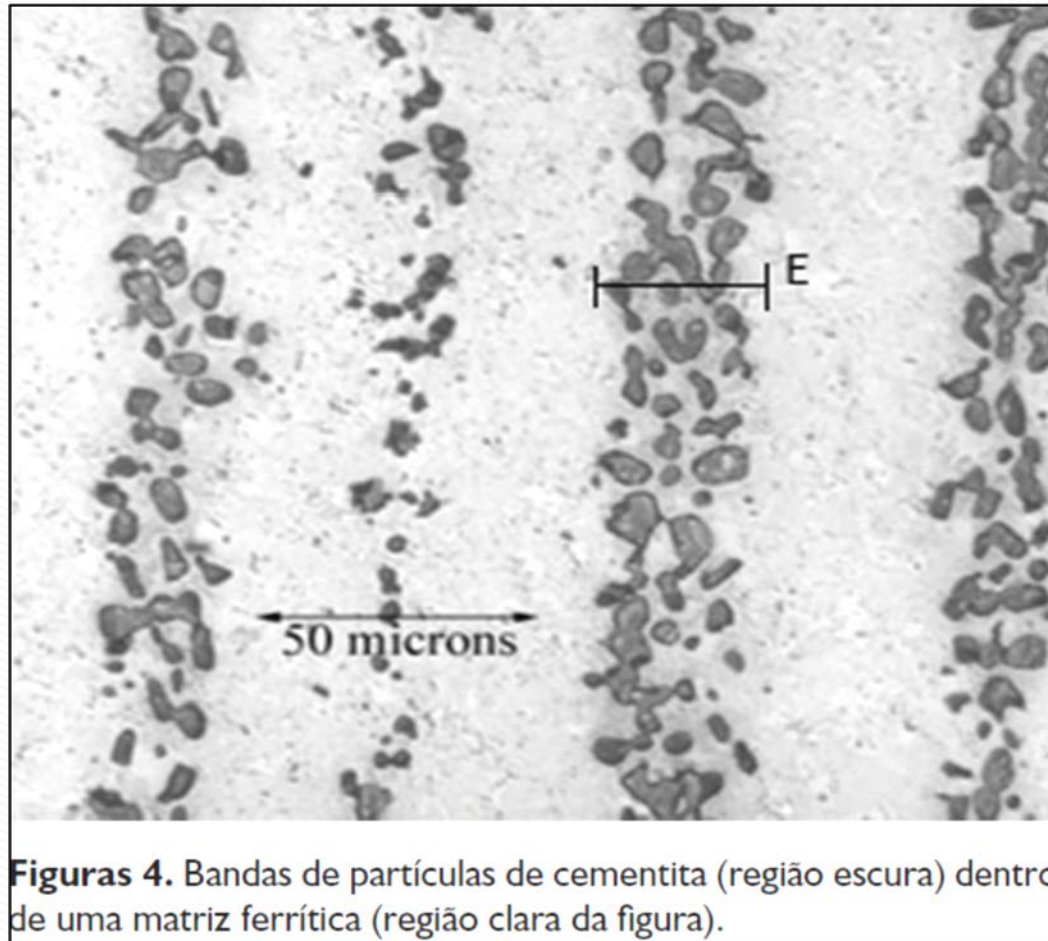
Journal of Materials Engineering and Performance 286—Volume 9(3) June 2000 *John D. Verhoeven*



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

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





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

CARBONETOS ALINHADOS EM MATRIZ PERLÍTICA.

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

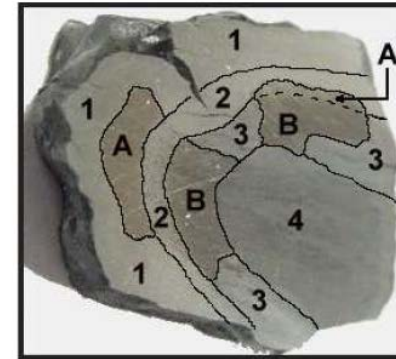
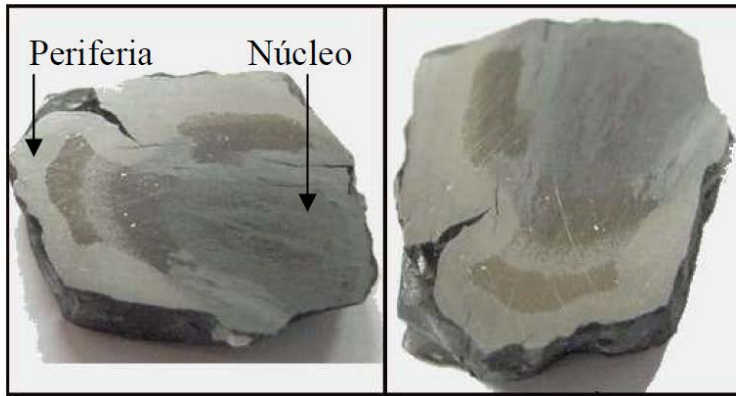
Forjamento e tratamentos térmicos cíclicos



Redução direta

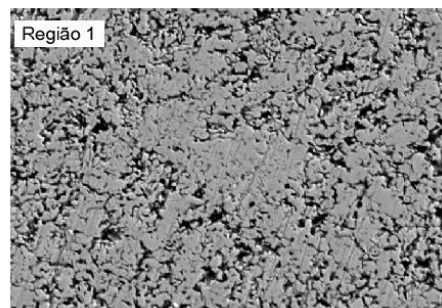
- Precederam o alto-forno;
- Produto sólido: ferro esponja (poroso);
- Hoje ainda-matéria-prima para aciaria elétrica: fonte de carbono (Fe_3C);
- Até início do séc. XX : obtenção do Fe com baixo teor de C “Forjamento”;
- Final do séc. XVII - “Forjas”: minério de Ferro+ carvão vegetal+ calcário (reduzir o PF) – Forja de ferreiro- Ferro Forjado;
- Séc.XVIII – Henry Cort: redução direta em fornos de pudlagem (Puddle-argila);
- Produto: Ferro pudlado (escórias, inclusões).

Ferro Esponja

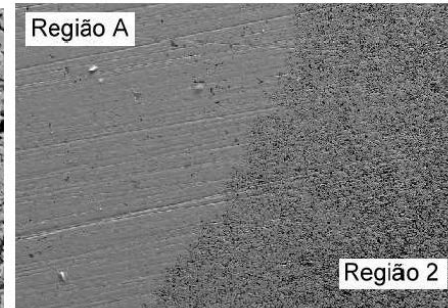


- Classificação da morfologia da face interna de um granulado de ferro-esponja.

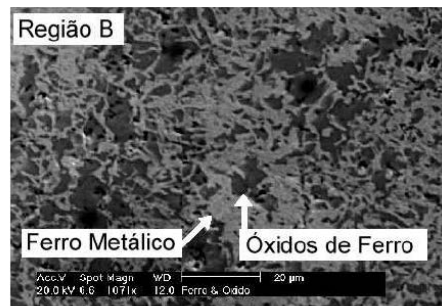
- Foto da face interna lixada e polida de um granulado da amostra I



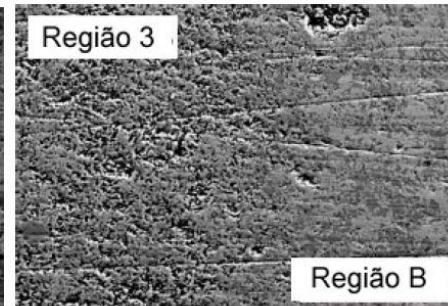
(a) Porosa, essencialmente Fe metálico.



(b) Ambas Fe metálico, sendo A densa e 2 Porosa.



(c) Região densa, ferro metálico e seus óxidos.



(d) Porosa e densa, com Fe metálico e óxidos.

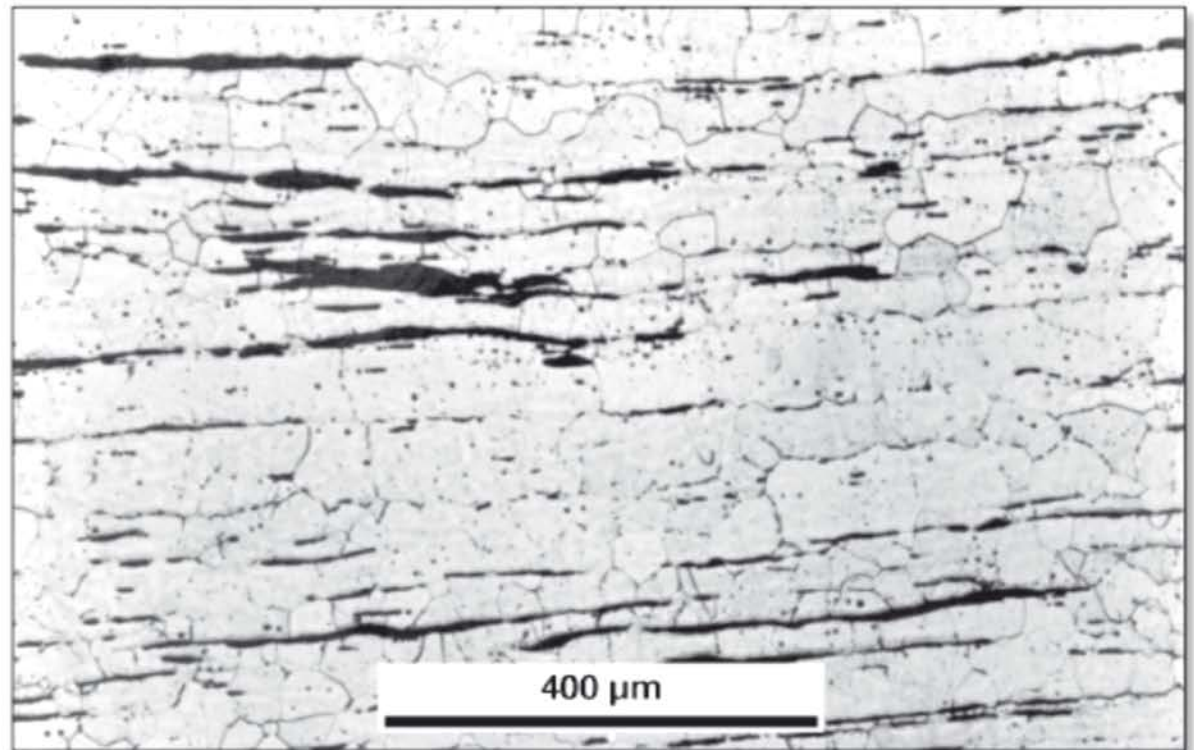
Ferro pudlado é um produto siderúrgico obtido no estado pastoso com numerosas partículas de escória em virtude de seu processo particular de fabricação: vazado em moldes e depois "pudlado", quer dizer, agitado ao ar por meio de barras, para a redução do teor de carbono, com consequente formação do aço.

Processos antecessores

Antes do processo de Bessemer, o aço era feito pelo aquecimento de barras de ferro pudlado junto com carvão por períodos de até uma semana. As barras eram então quebradas em pedaços e fundidas em pequenos cadinhos que continham cerca de 20 kg cada. Até 3 toneladas de coque muito caro eram queimadas para cada tonelada de aço produzida.

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)

FABRICAÇÃO DO AÇO

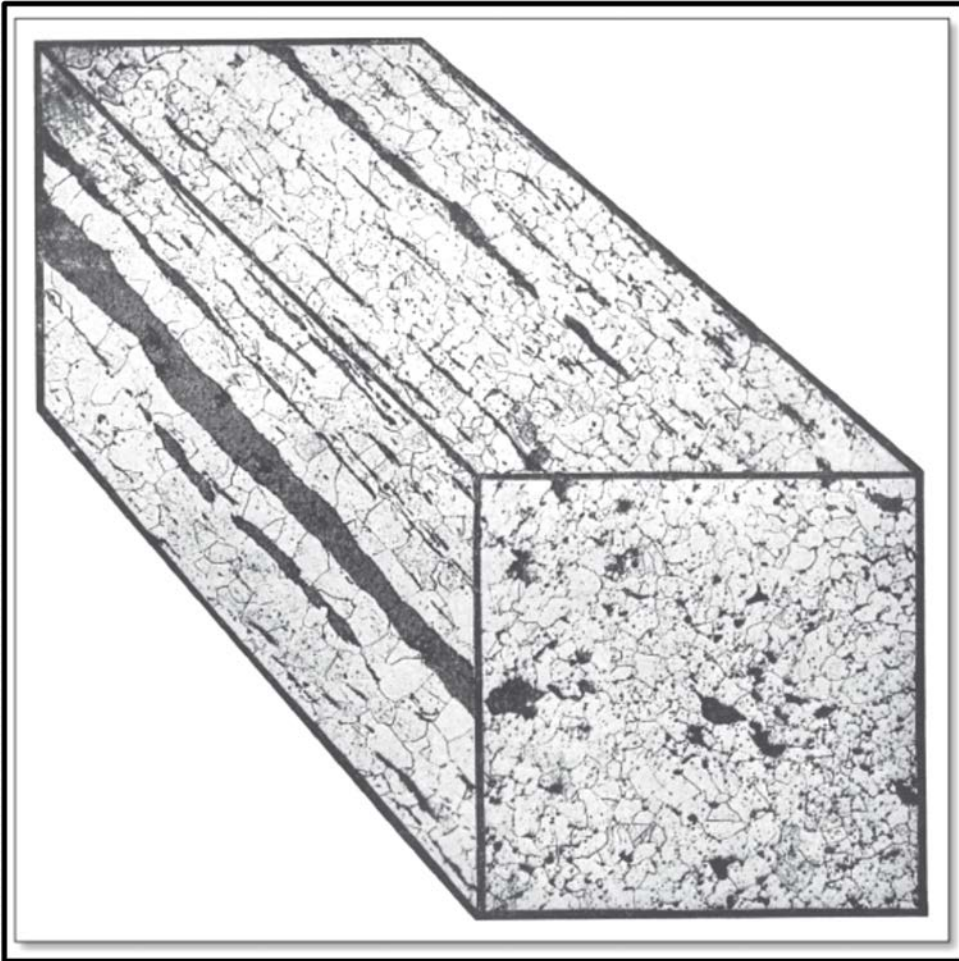


Figura 2.5

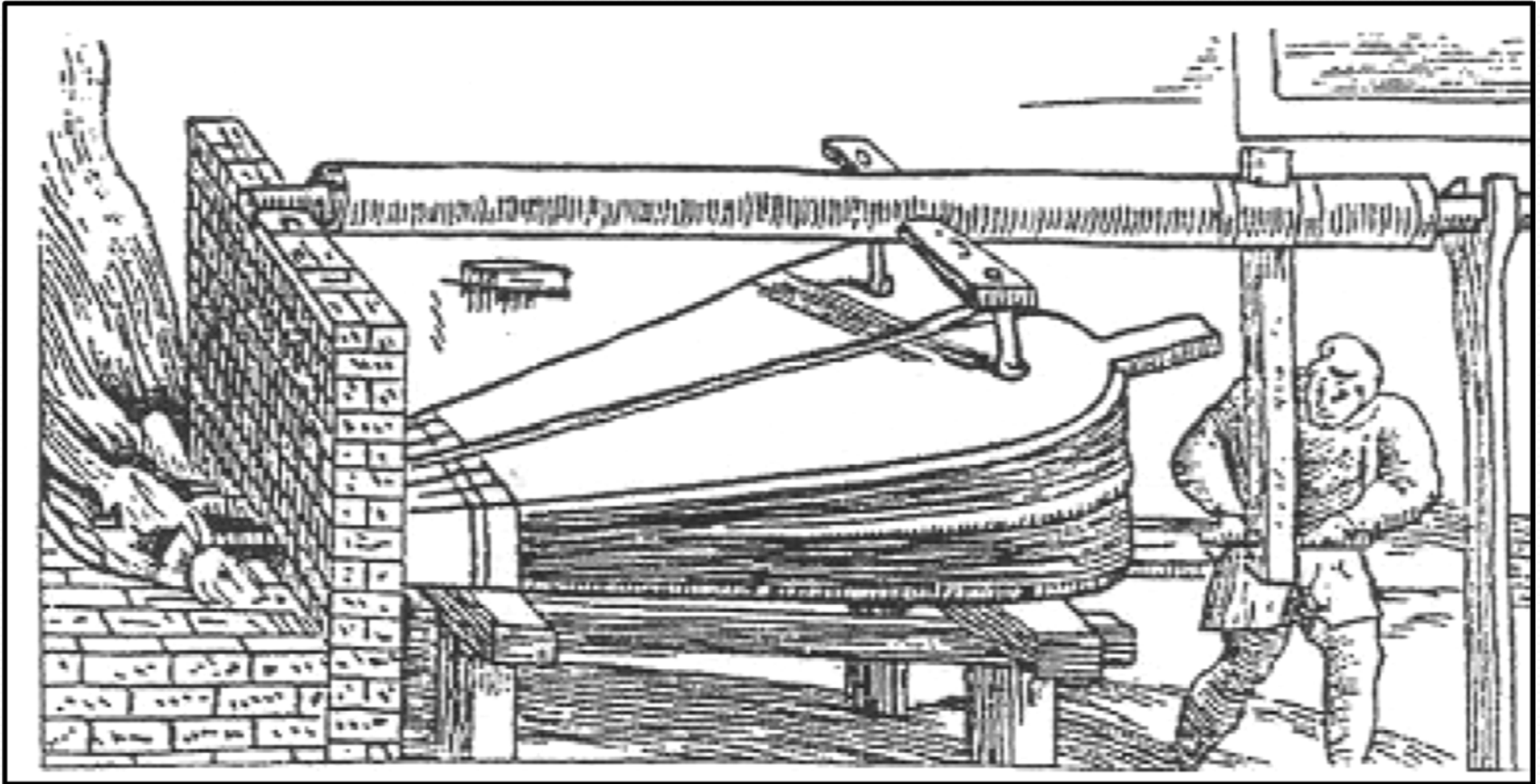
Ferro “forjado”. Reconstrução tridimensional com três micrografias. Reproduzido de [8]. Observa-se o alongamento das inclusões não-metálicas na direção de forjamento.

FERRO “PUDLADO”

(Colpaert)

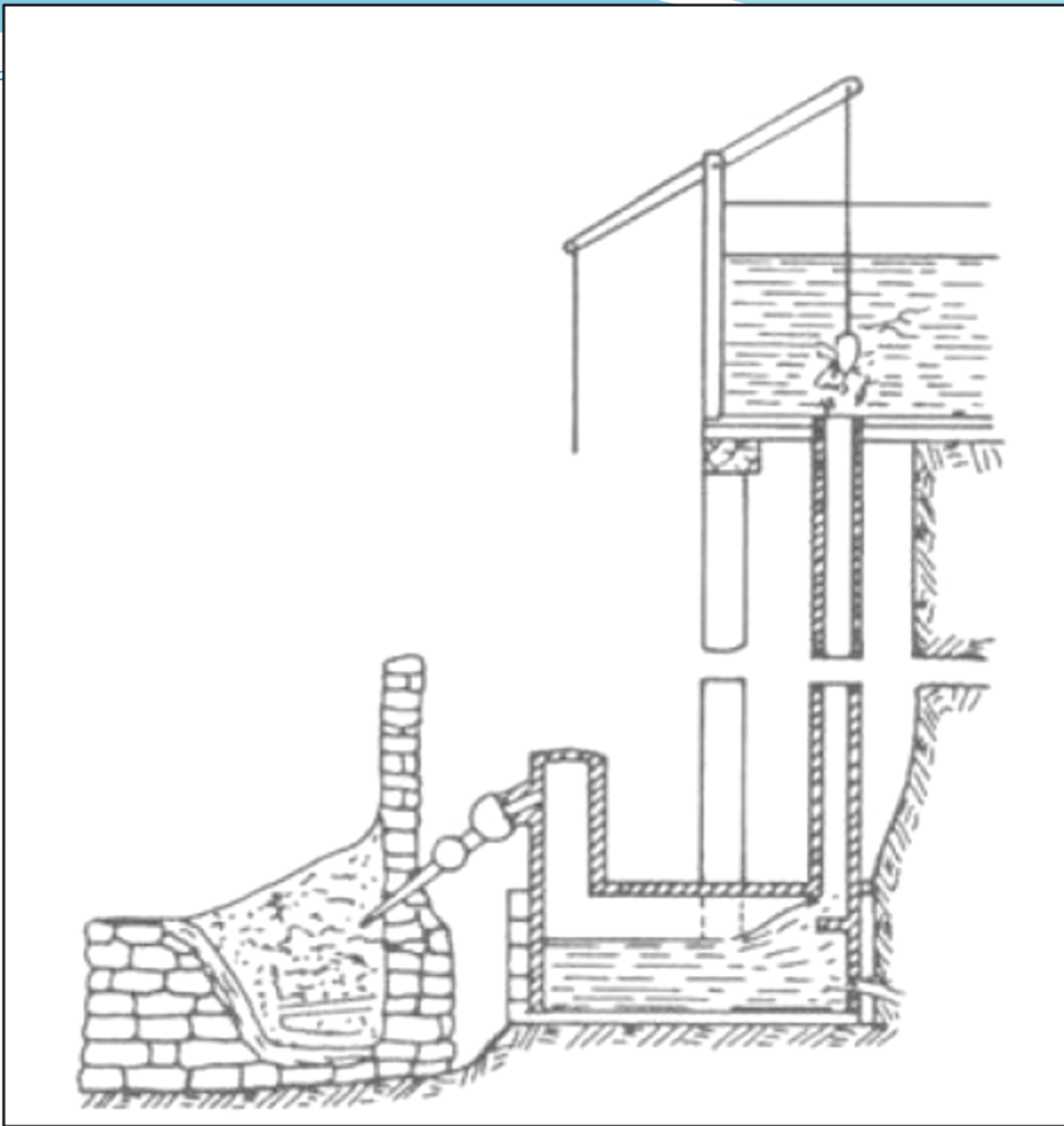
- **1556** - Agrícola escreve “**de re metallica**”;
- **1600**- primeira **observação da alotropia do ferro** - **Gilbert**
- **1622** – **Primeiro alto forno** - Falling Creek nos EUA – **nunca** foi utilizado. **Os índios mataram** o mestre de obras, os trabalhadores e **destruíram o equipamento**;
- **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**.

FABRICAÇÃO DO AÇO



Forja com insuflação de ar manual

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



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 foies.

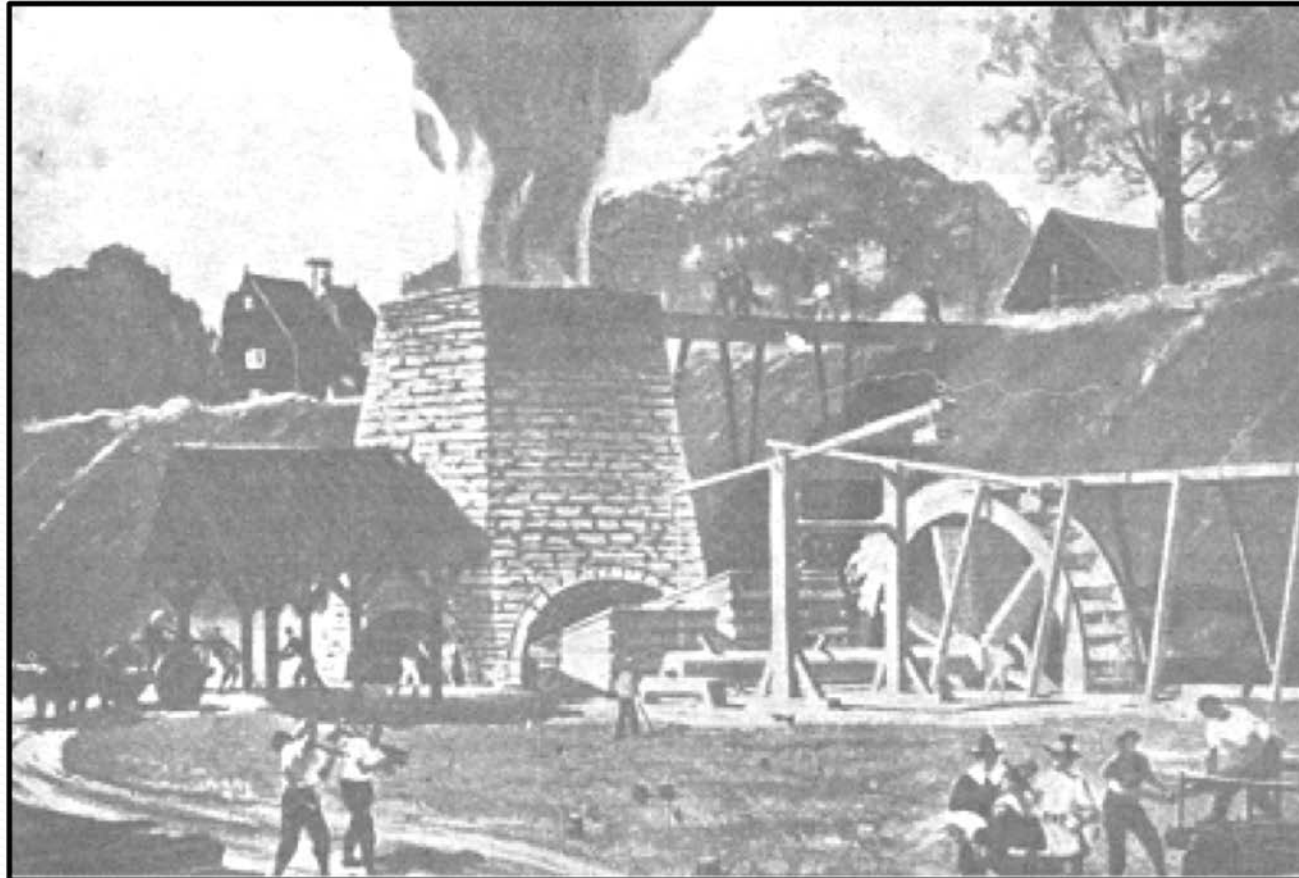
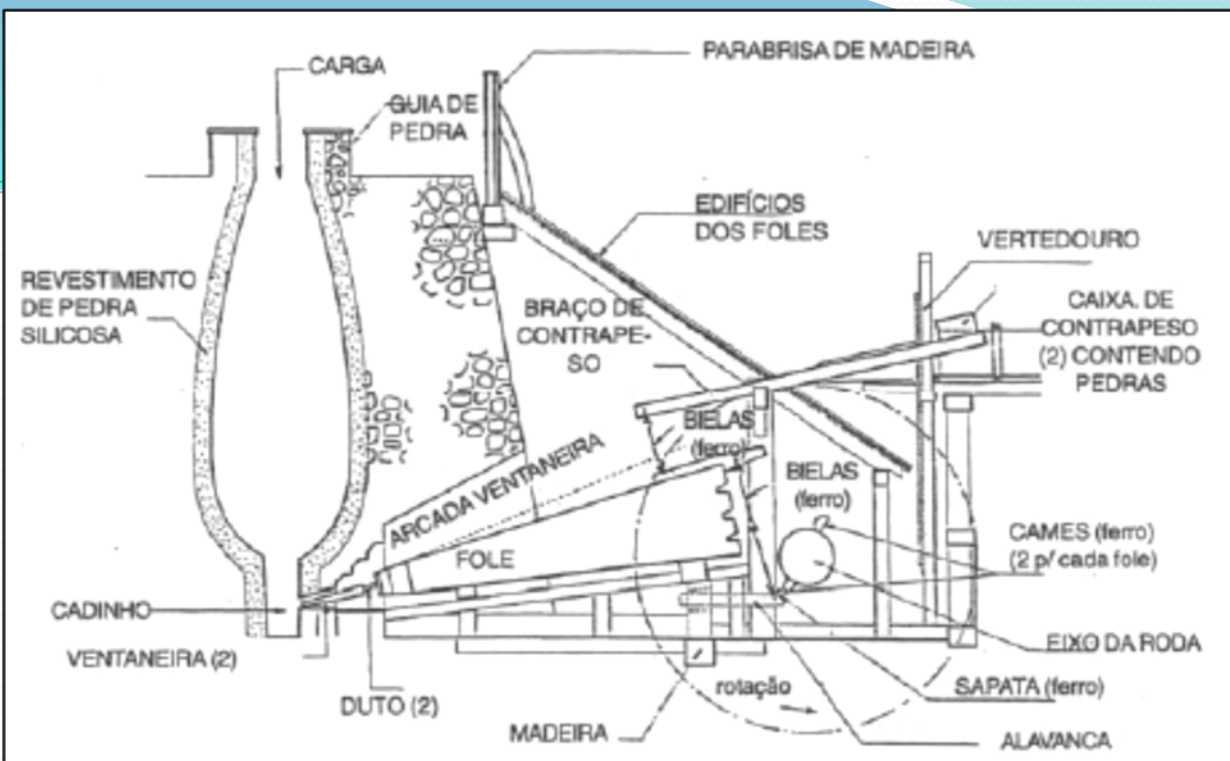


Foto de um alto forno americano do século XVII, com foles acionados por roda d'água



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

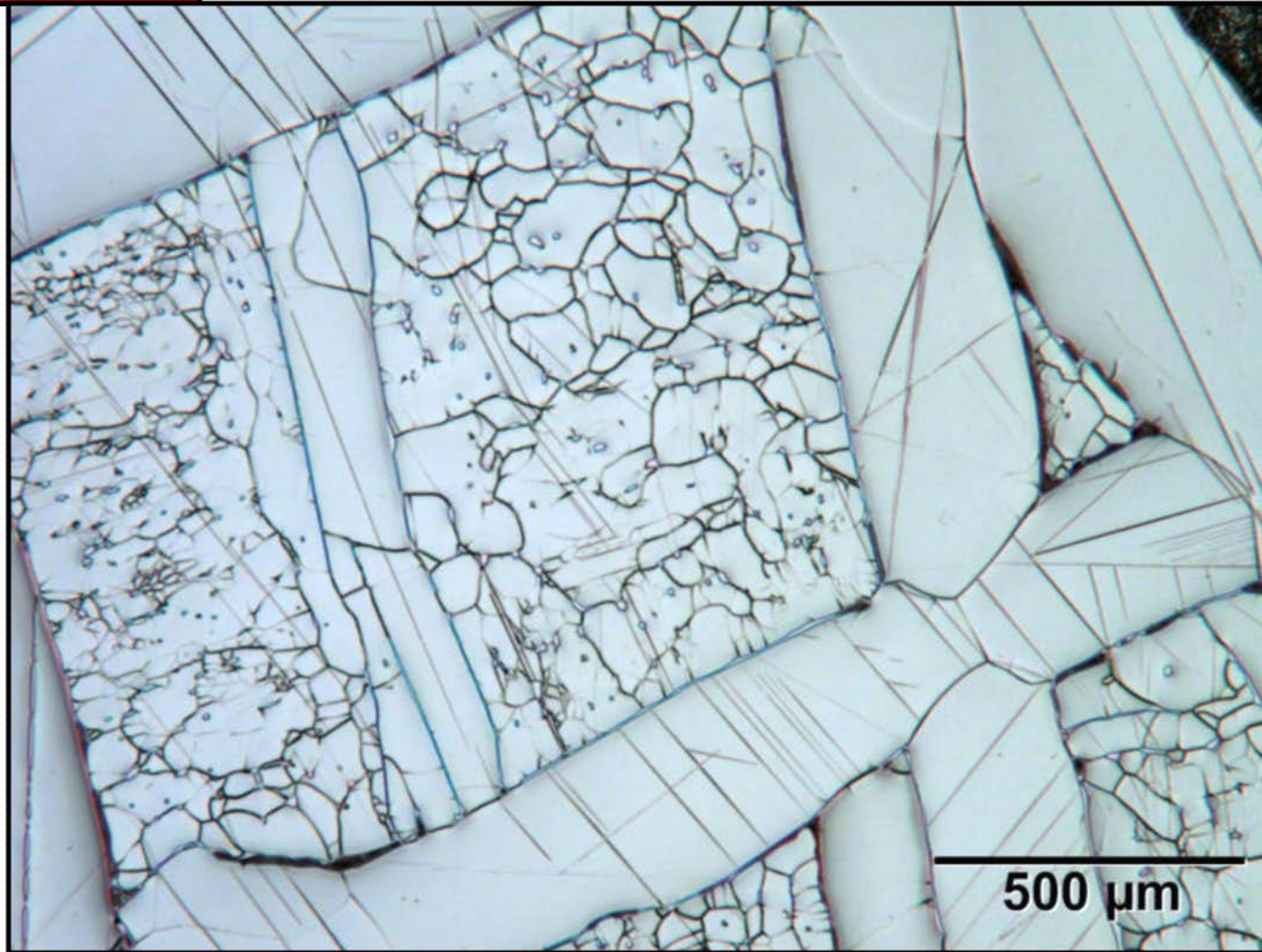
Alto forno (Stuckofen) encontrado na região do Reno, Alemanha



- **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

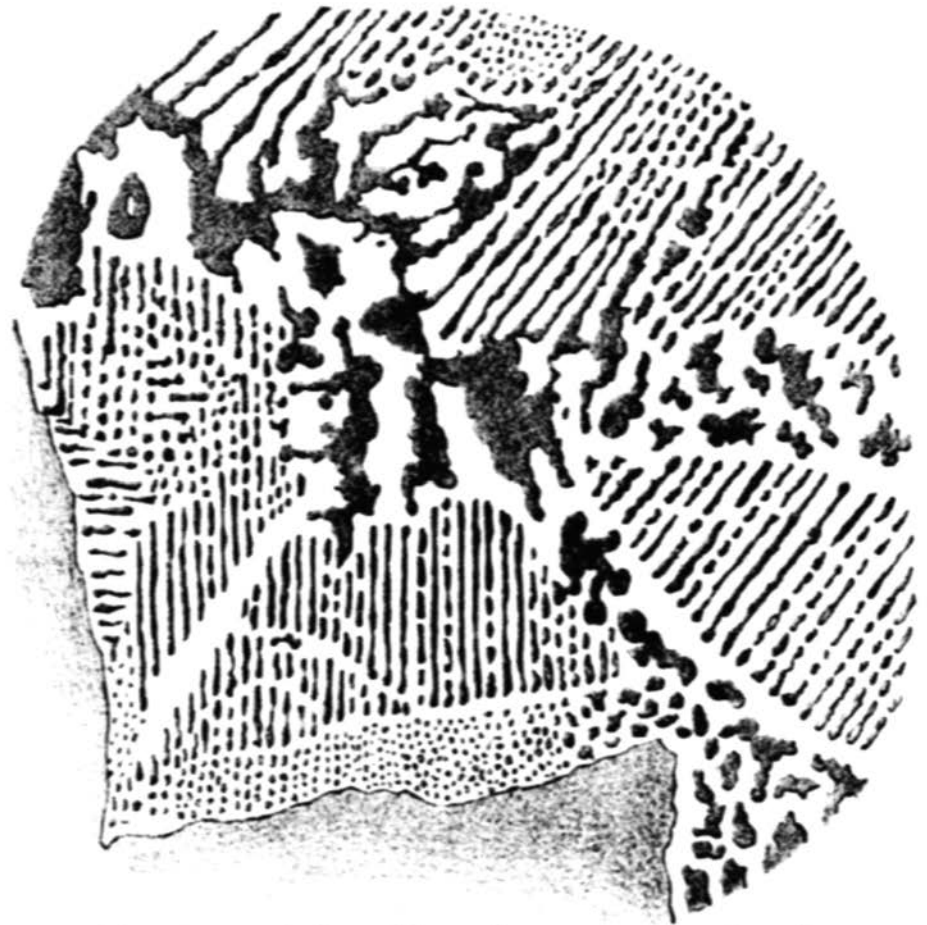


Meteorito de ferro-Níquel. Bandas de Kamacita ($Fe\alpha+Ni$) em contorno de Plessita ($Fe\alpha+Fe\gamma$)

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



○ Adolf Martens 1850 – 1914

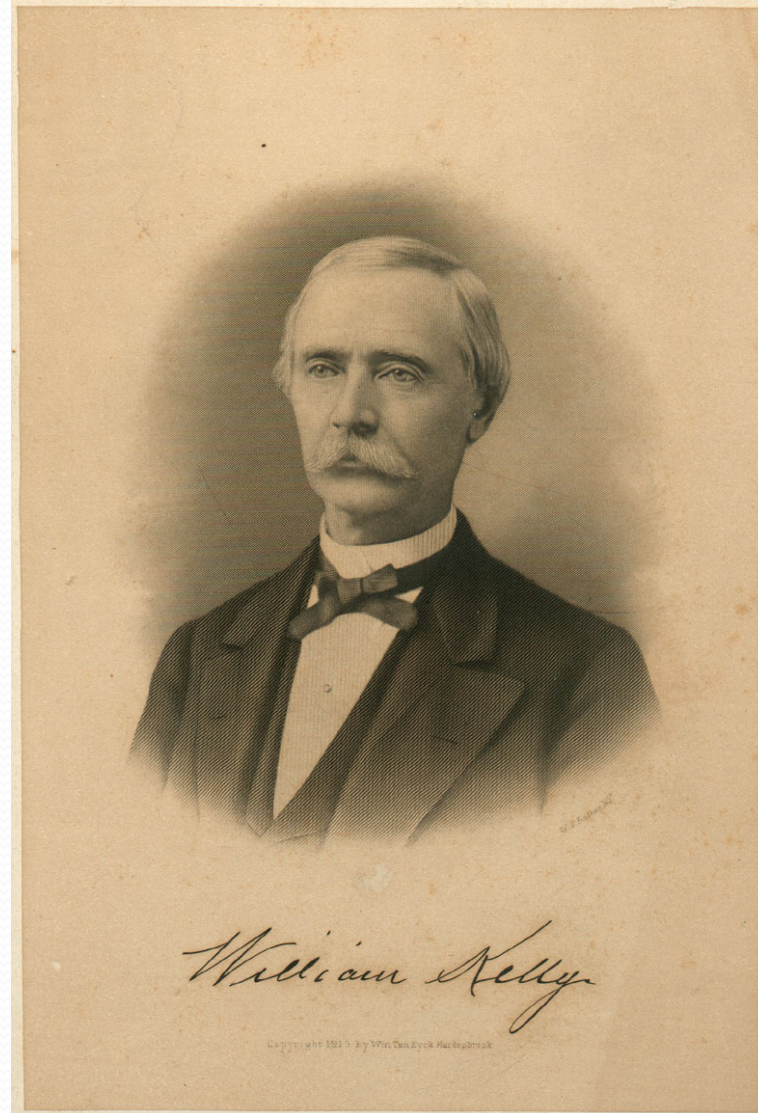


Seção metalográfica de uma amostra de "Spiegeleisen" (Martens, 1878)

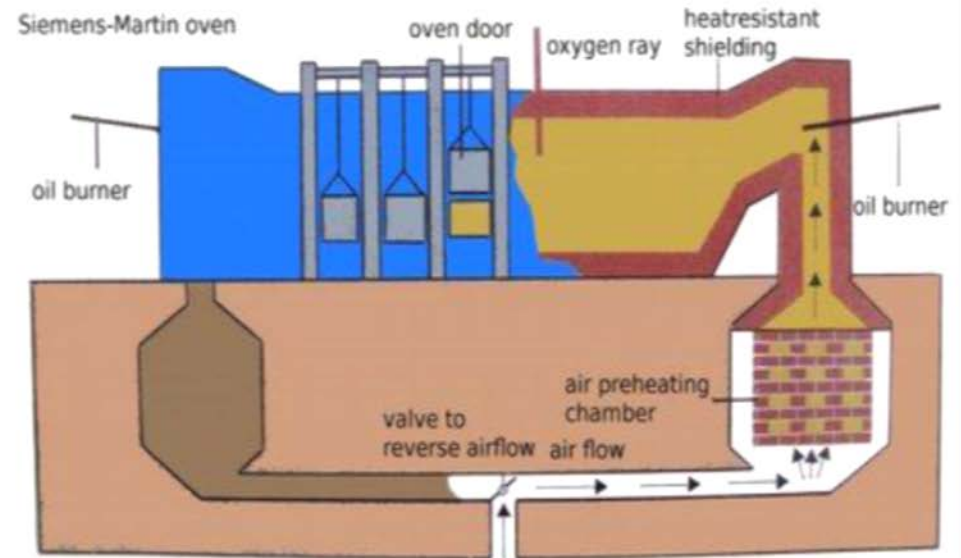
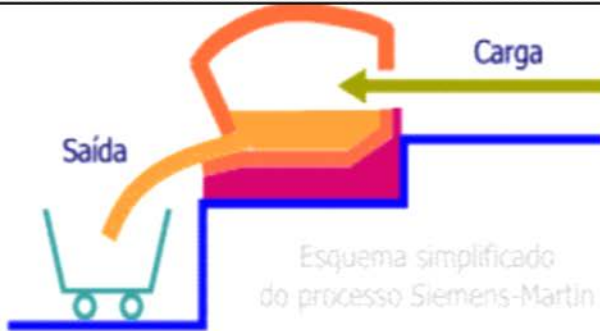
Conversão do gusa

- **No meio do séc. XIX-Sir Henry Bessemer** – insuflação de ar sob pressão no gusa líquido;
- Desvantagens: produto rico em N e a perda do gás esfriava o forno (perda de energia);
- **William Siemens (Inglaterra):** forno com trocadores de calor (regeneradores) aproveitava o calor dos gases de combustão para pré-aquecer o ar de combustão;
- **Martin (França):** utilizou esta tecnologia e fabricou um forno para manter o aço de baixo carbono líquido
- Forno: Siemens-Martin.

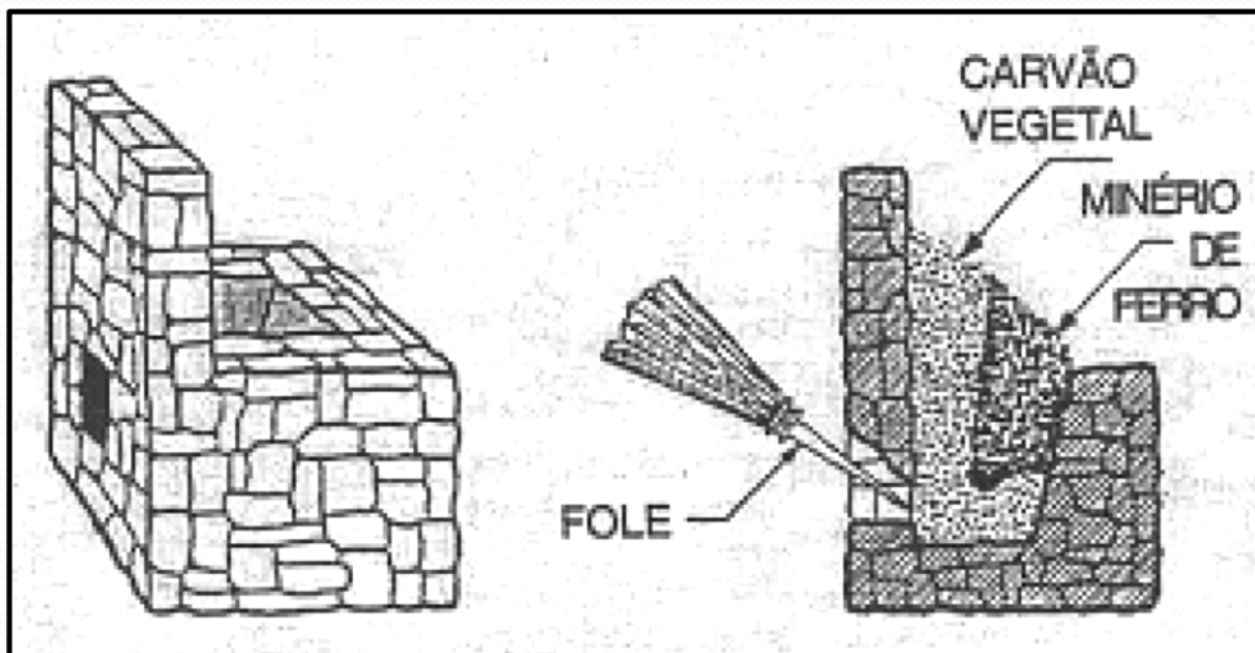
Conversor Bessemer, Museu de Kelham
Island, Sheffield, Yorkshire, Inglaterra.



Forno Siemens-Martin



- **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

- 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)**.



Real fábrica de ferro Ipanema – Sorocaba-1888

➤ 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



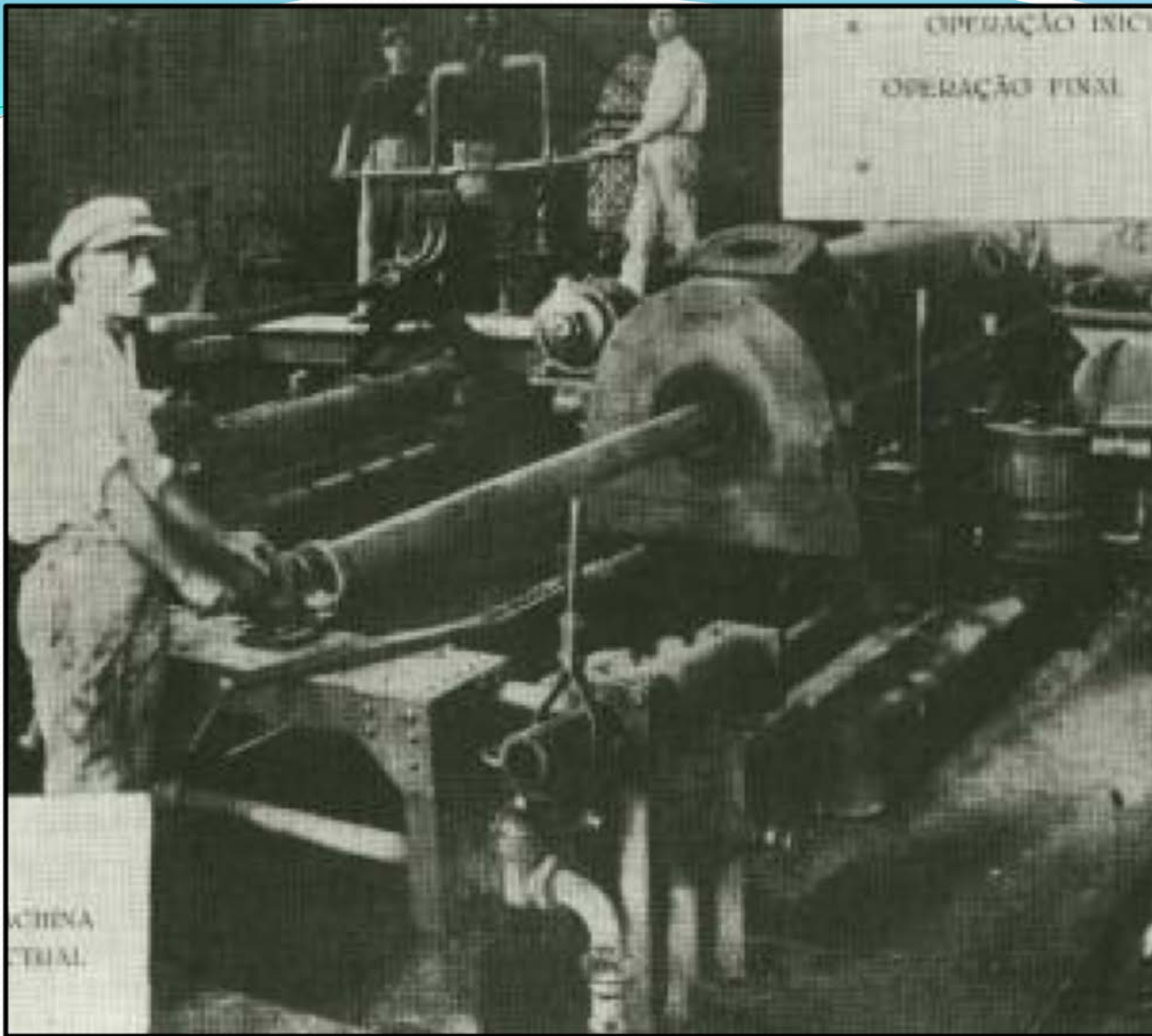
Fotos: André Bonacin

O AÇO NO BRASIL



- 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.**

- 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.

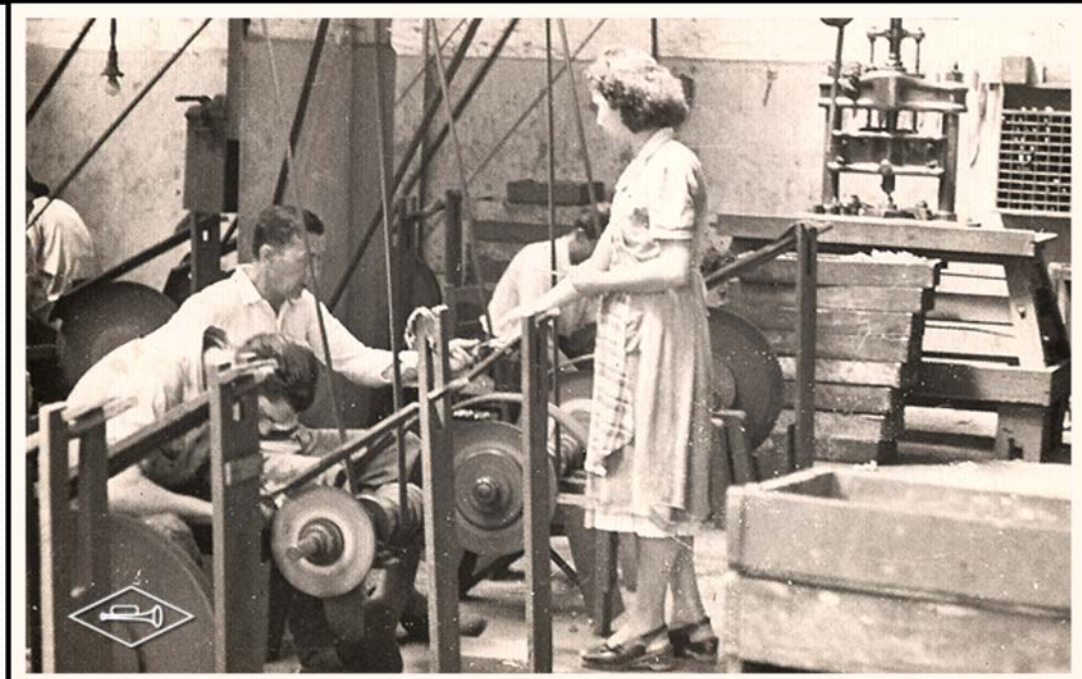


(www.corneta.com.br)

Corneta - 1917



Corneta[®]
Ferramentas



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**;



Entrada em operação do 1º Forno SM (Siemens Martin) para produção de aço - João Monlevade.



(1939) Entrada em operação do 2º Forno SM (Siemens Martin) para produção de aço - João Monlevade (MG).

Belgo Mineira – N.S^a.Sabará- 1917

(www.belgo.com.br)

- **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;

O AÇO NO BRASIL



CSN - 1946

(www.csnusina.com.br)

- **1970** – Brasil produz 5,5 milhões de toneladas de aço;
- **1973** – Usina Siderúrgica da Bahia (**USIBA**) – redução direta;
- **1980** - É inaugurada a **maior usina de aços especiais não planos do hemisfério sul, a VIBASA**, em Pindamonhangaba/SP;
- **1983** – Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST)- Vitória (ES);
- **1986** – Açominas- Ouro Branco (MG);
- **1988** – Villares compra a siderúrgica N.Sa. Aparecida (Sorocaba) e Aços Anhanguera (Mogi);

- **1992 – Gerdau compra a Aços Finos Piratini – Charqueadas (RS);**
- **1996 – Villares assume a Eletrometal - Villares Metals – Sumaré(SP);**
- **2000 – Sidenor (Espanha) compra a Villares;**
- **2001 – Gerdau assume a Açominas;**

- **2004 – Böhler compra a Villares Metals;**

- **2005 – Gerdau compra 40% da Sidenor;**

- **2007 – Voest-Alpine compra a Böhler.**

O AÇO NO BRASIL



Unid.: 10³t

PRODUTOS	JANEIRO		16/15	OUT	NOV	DEZEMBRO		15/14	ÚLTIMOS
	2016(*)	2015	(%)	2015	2015	2015	2014	(%)	12 MESES
AÇO BRUTO	2.451,1	2.984,7	(17,9)	2.982,5	2.548,0	2.461,7	2.622,6	(6,1)	32.711,6
LAMINADOS	1.631,6	2.007,1	(18,7)	1.883,2	1.838,3	1.514,1	1.729,2	(12,4)	22.253,8
PLANOS	948,9	1.225,9	(22,6)	1.056,7	1.059,2	1.073,6	1.114,7	(3,7)	13.111,3
LONGOS	682,7	781,2	(12,6)	826,5	779,1	440,5	614,5	(28,3)	9.142,5
SEMI-ACABADOS P/VENDAS	704,0	536,3	31,3	822,5	819,1	868,9	755,1	15,1	9.302,7
PLACAS	556,5	477,2	16,6	783,2	705,2	736,6	702,1	4,9	8.092,1
LINGOTES, BLOCOS E TARUGOS	147,5	59,1	149,6	39,3	113,9	132,3	53,0	149,6	1.210,6
FERRO-GUSA (Usinas Integradas)	2.099,3	2.428,0	(13,5)	2.433,6	2.169,0	2.276,3	2.451,1	(7,1)	27.474,6

(*) Dados Preliminares.

Fonte: Aço Brasil

FIM