



SMM 0342 - INTRODUÇÃO AO ENSAIO MECÂNICO DOS MATERIAIS

Prof. Dr. José Benedito Marcomini

PROPRIEDADES MECÂNICAS

**PROPRIEDADES MECÂNICAS SÃO INFLUENCIADAS
PELO PROCESSAMENTO: CONFORMAÇÃO MECÂNICA
(DEFORMAÇÃO PLÁSTICA)**

PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO AÇO



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



HEMATITE $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$





MAGNETITA(Fe_3O_4)



LIMONITA
($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)



WUSTITA (FeO)



SIDERITA (FeCO_3)

ILMENITA(FeTiO_3)



PIRITA(FeS_2) – “OURO DE TOLO”



AREA DE REDUÇÃO SINTERIZAÇÃO

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



ÁREA DE REDUÇÃO COQUERIA



Principal origem do
enxofre nos aços

COQUERIA

COQUEIFICAÇÃO : aquecimento do carvão mineral na ausência da ar.

- **Detalhes do processo**



Típica Bateria de coqueificação



**Coque incandescente
pronto para ser descarregado**

ALTO-FORNO



Carga:
 Minério de ferro
 Coque ou carvão vegetal
 Escorificantes

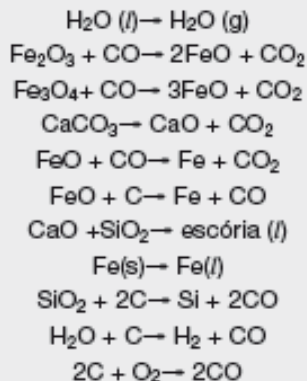
Contendo:
 0,5 mol Fe_2O_3
 0,1 mol CaCO_3
 0,12 mol SiO_2
 2,71 mol C
 0,2 mol H_2O

Gás do alto-forno
 4,04 mol N_2
 1,31 mol CO_2
 1,31 mol CO
 0,24 mol H_2O
 0,04 mol H_2

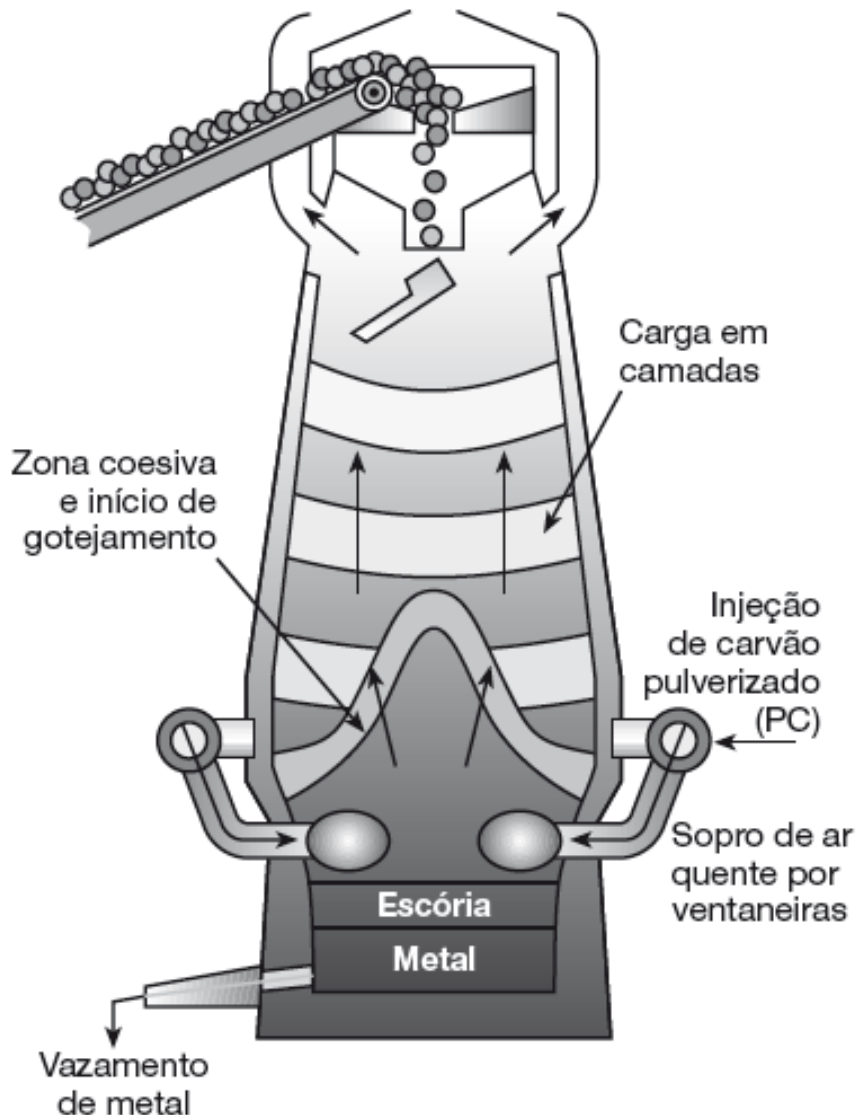
Sopro
 0,08 mol H_2O
 1,075 mol O_2
 4,044 mol N_2

Escória
 0,1 mol CaO
 0,1 mol SiO_2

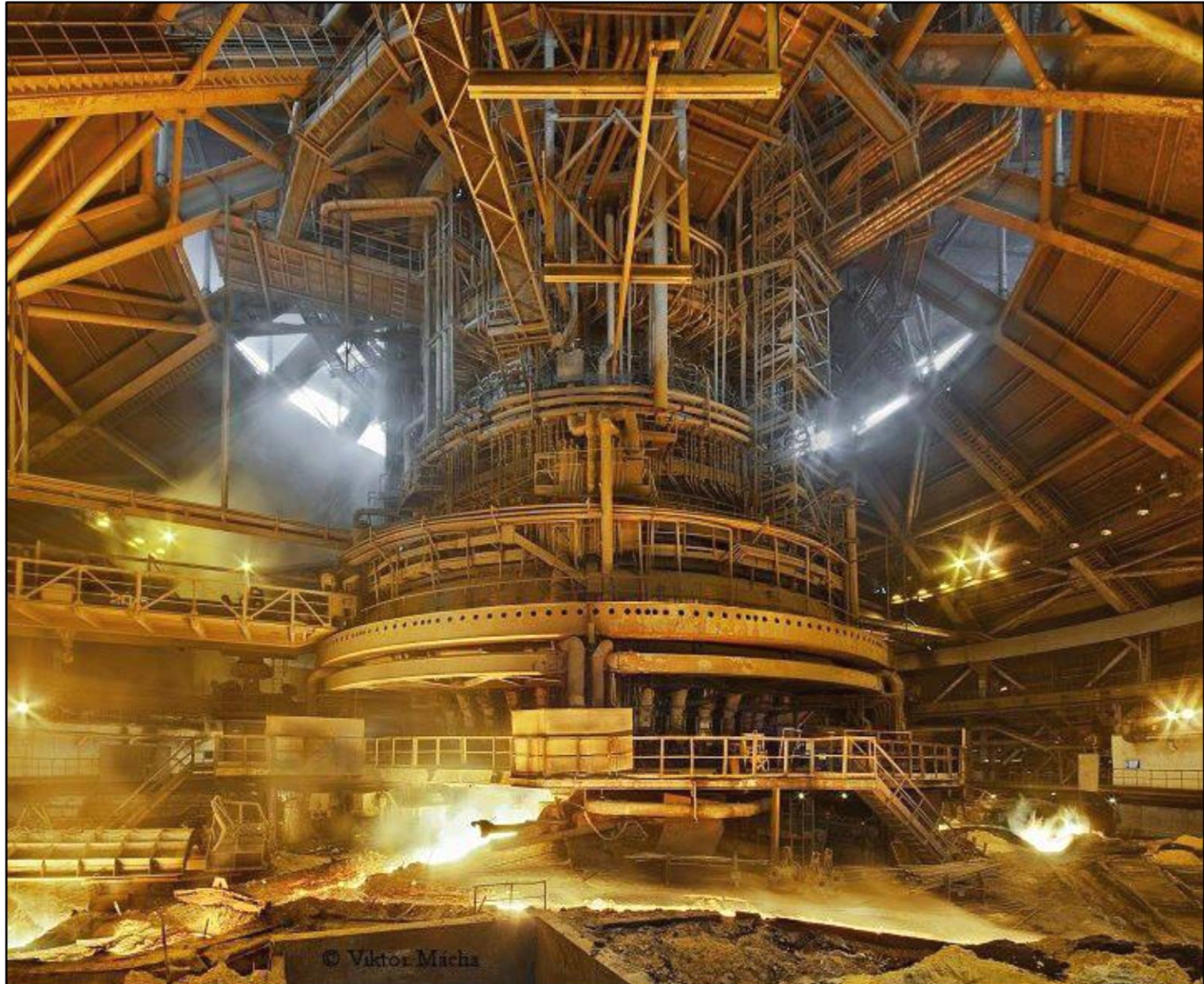
Ferro-gusa
 1 mol Fe
 0,02 mol Si
 0,19 mol C



Sistema de carregamento



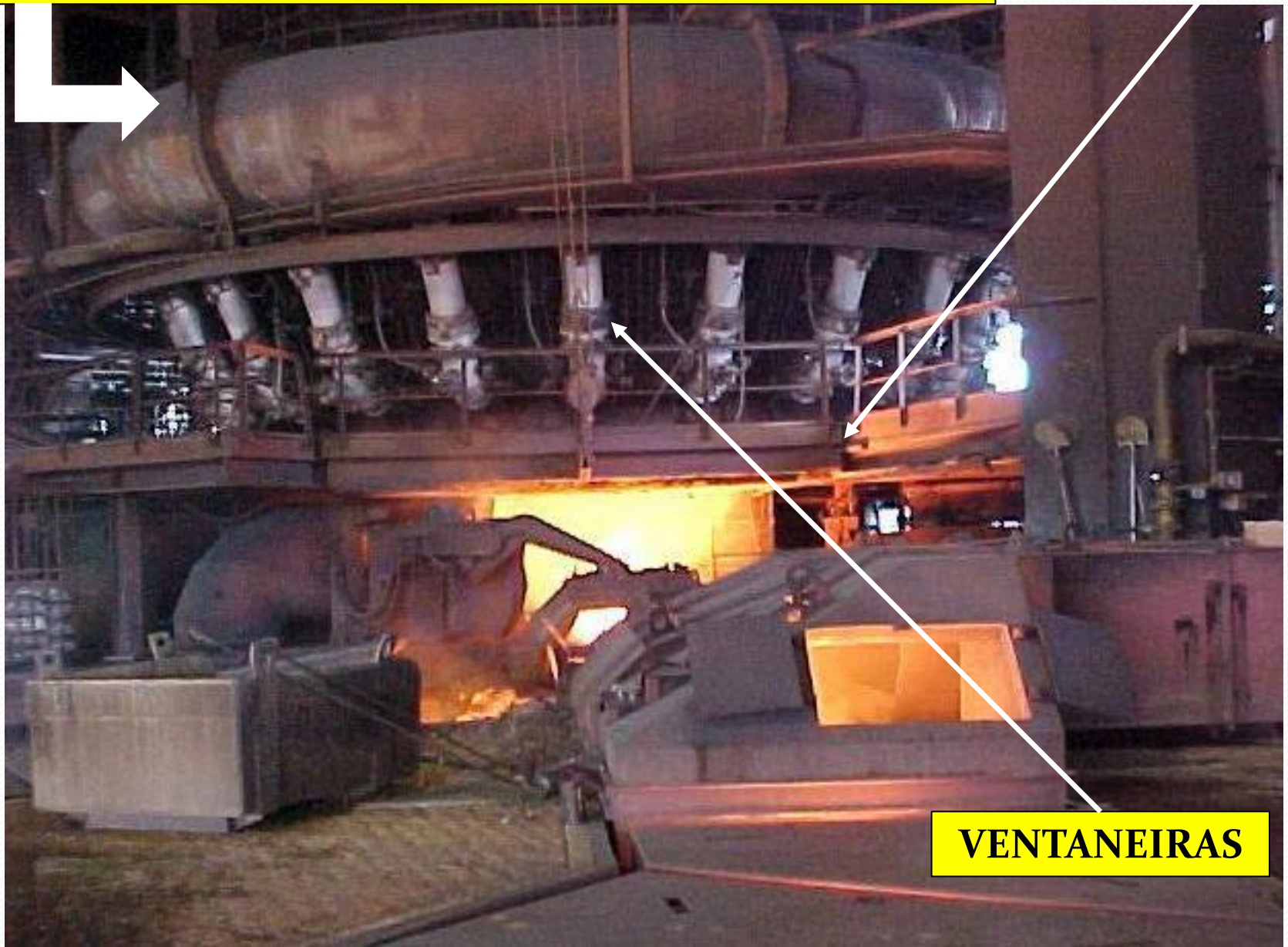
SOLEIRA DO ALTO-FORNO



SOLEIRA DO ALTO-FORNO

ANEL DE VENTO – AR ORIUNDO DOS REGENERADORES

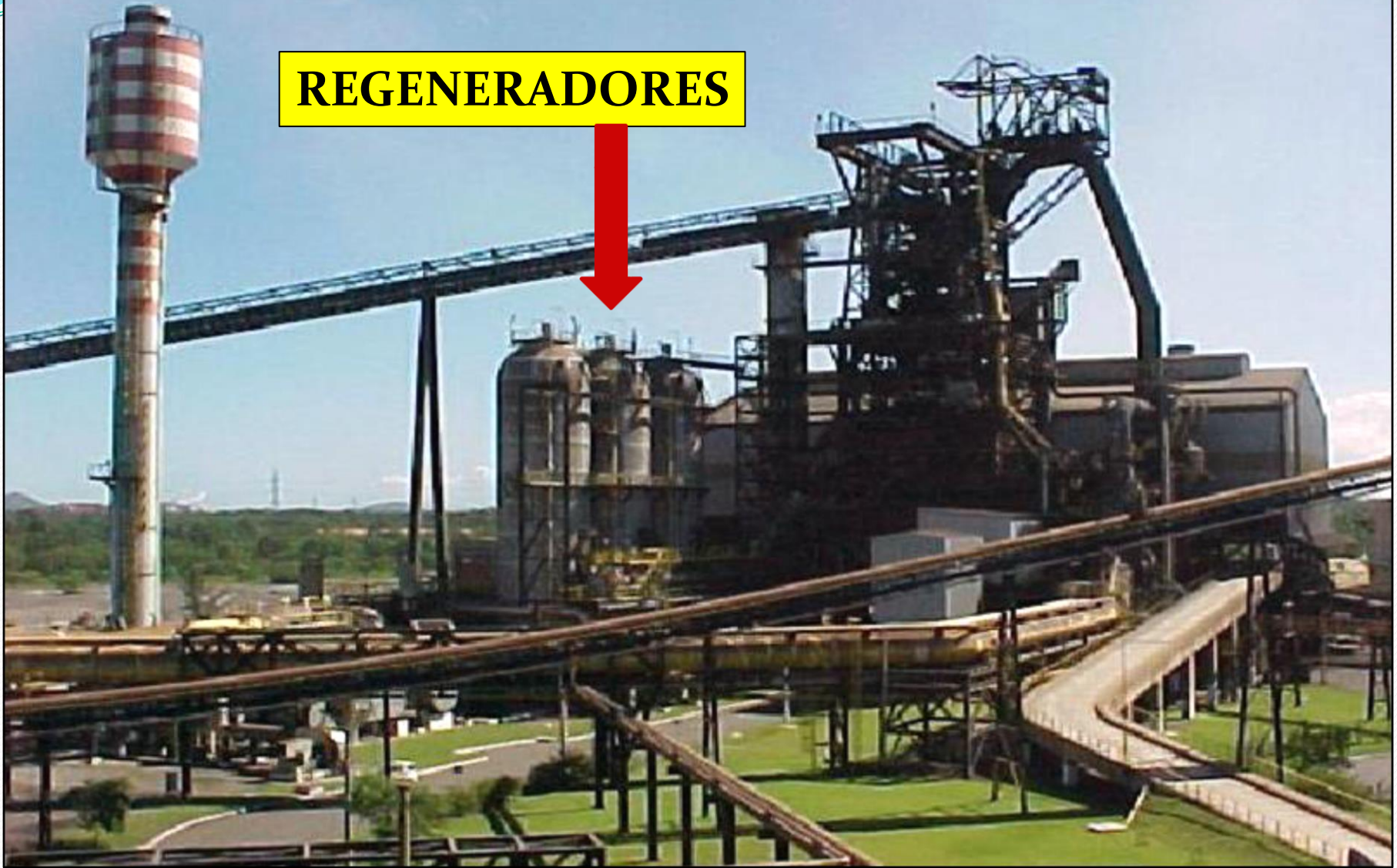
CASA DE CORRIDAS



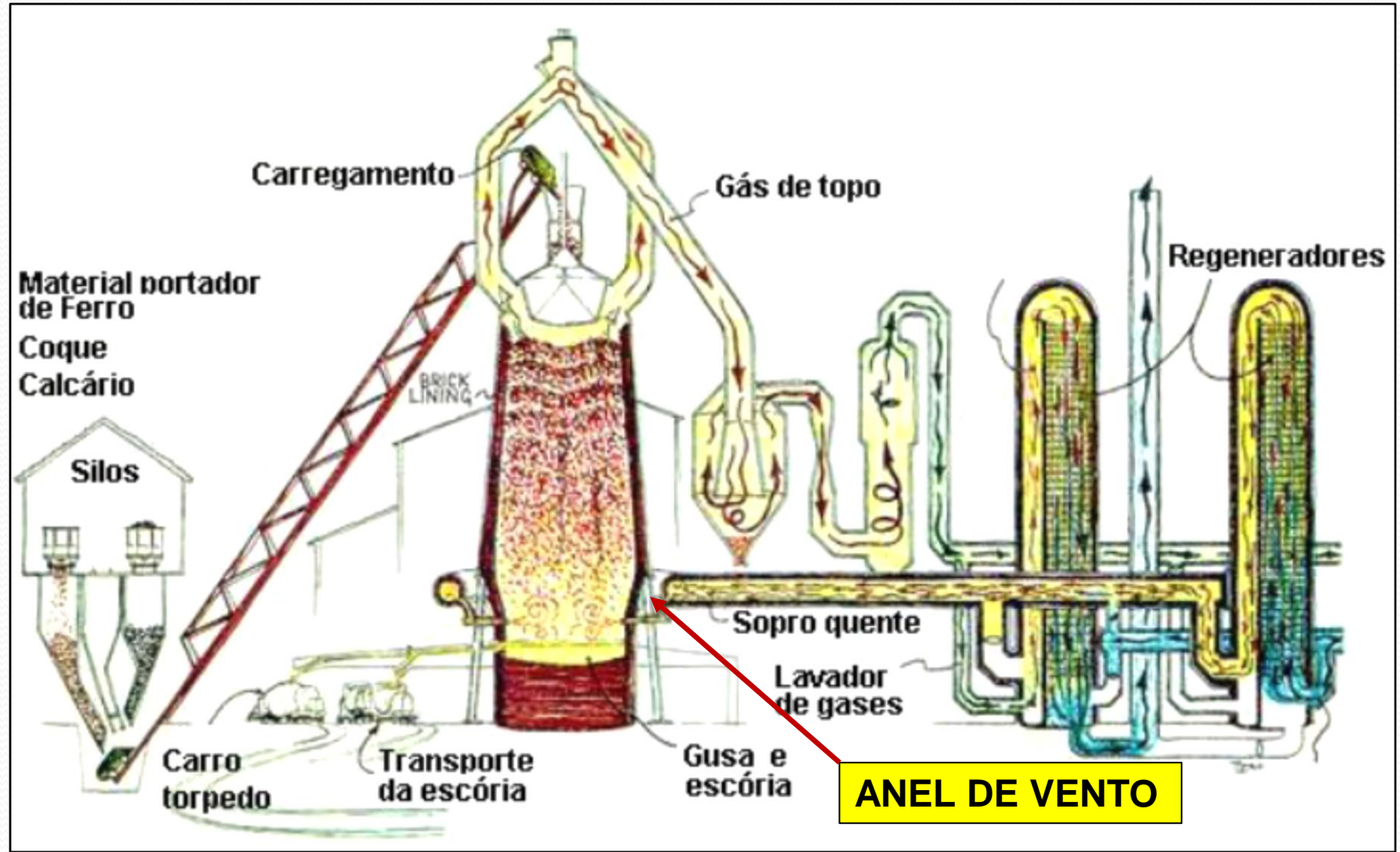
VENTANEIRAS

ALTO-FORNO

REGENERADORES



FUNÇÃO DOS REGENERADORES



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.**

CARRO TORPEDO.

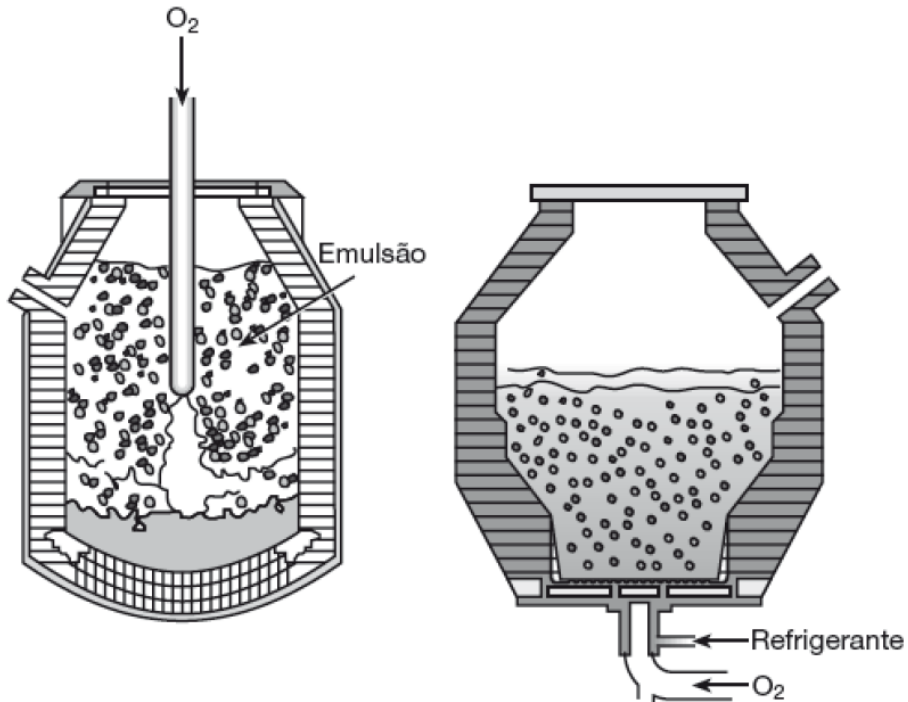


CONVERSÃO DO GUSA EM AÇO

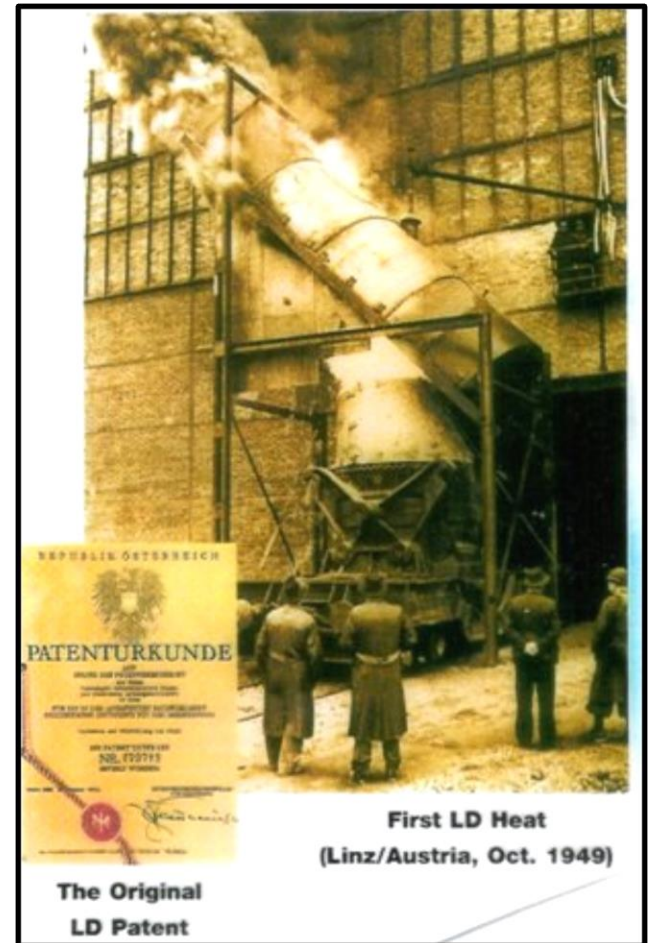
CONVERSOR LD

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

D: DONAWITZ NA ÁUSTRIA – 1953.



(COLPAERT)



DESCARREGAMENTO DO GUSA PARA OS CONVERSORES



CONVERSOR LD



ACIARIA ELÉTRICA



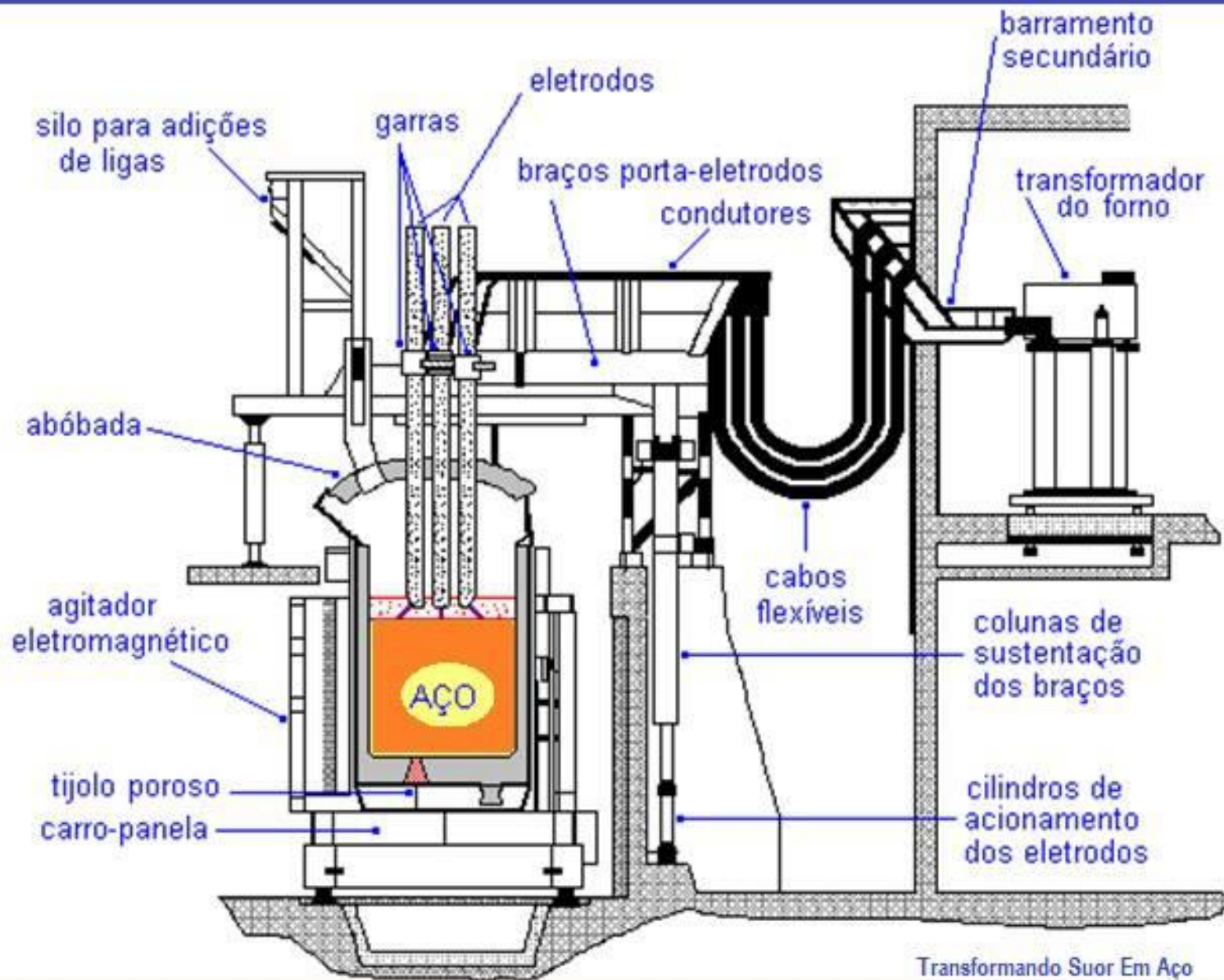
ACIARIA ELÉTRICA



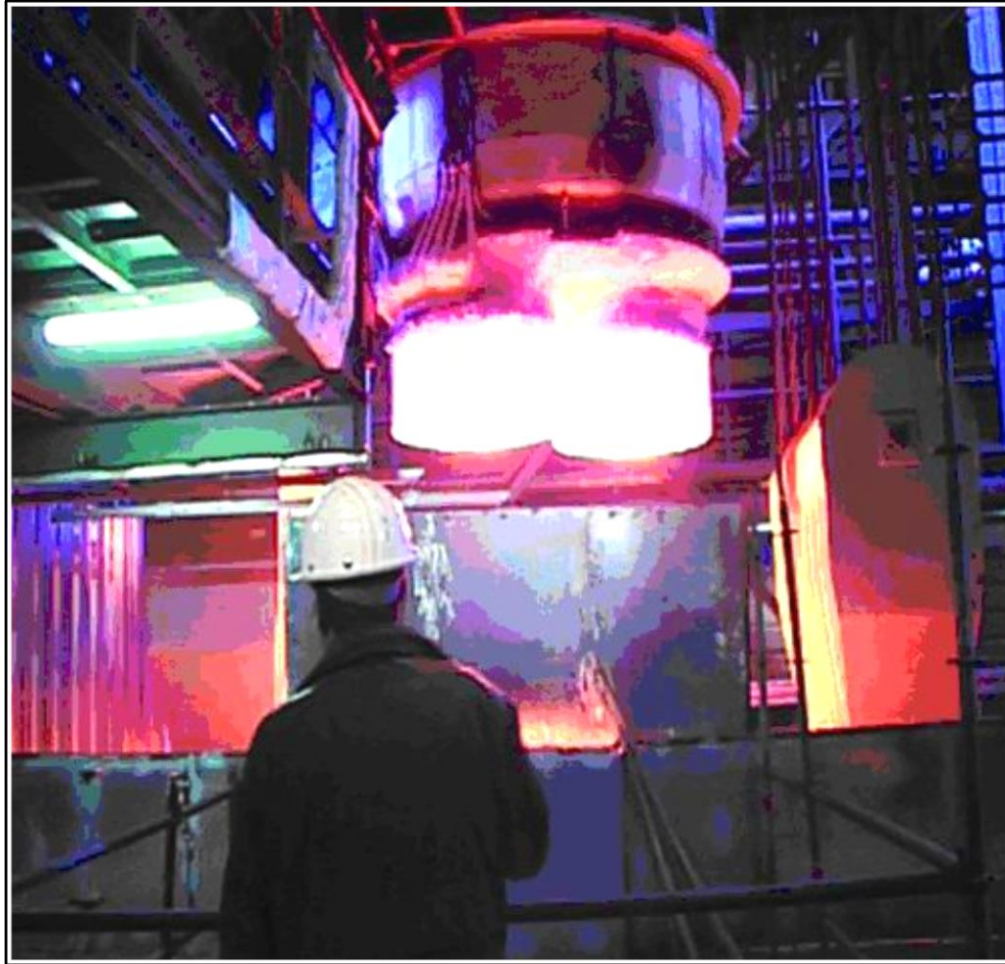
FORNO - PANELA



FORNO - PANELA



DESGASEIFICAÇÃO



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



(www.manutencaoesuprimentos.com.br)

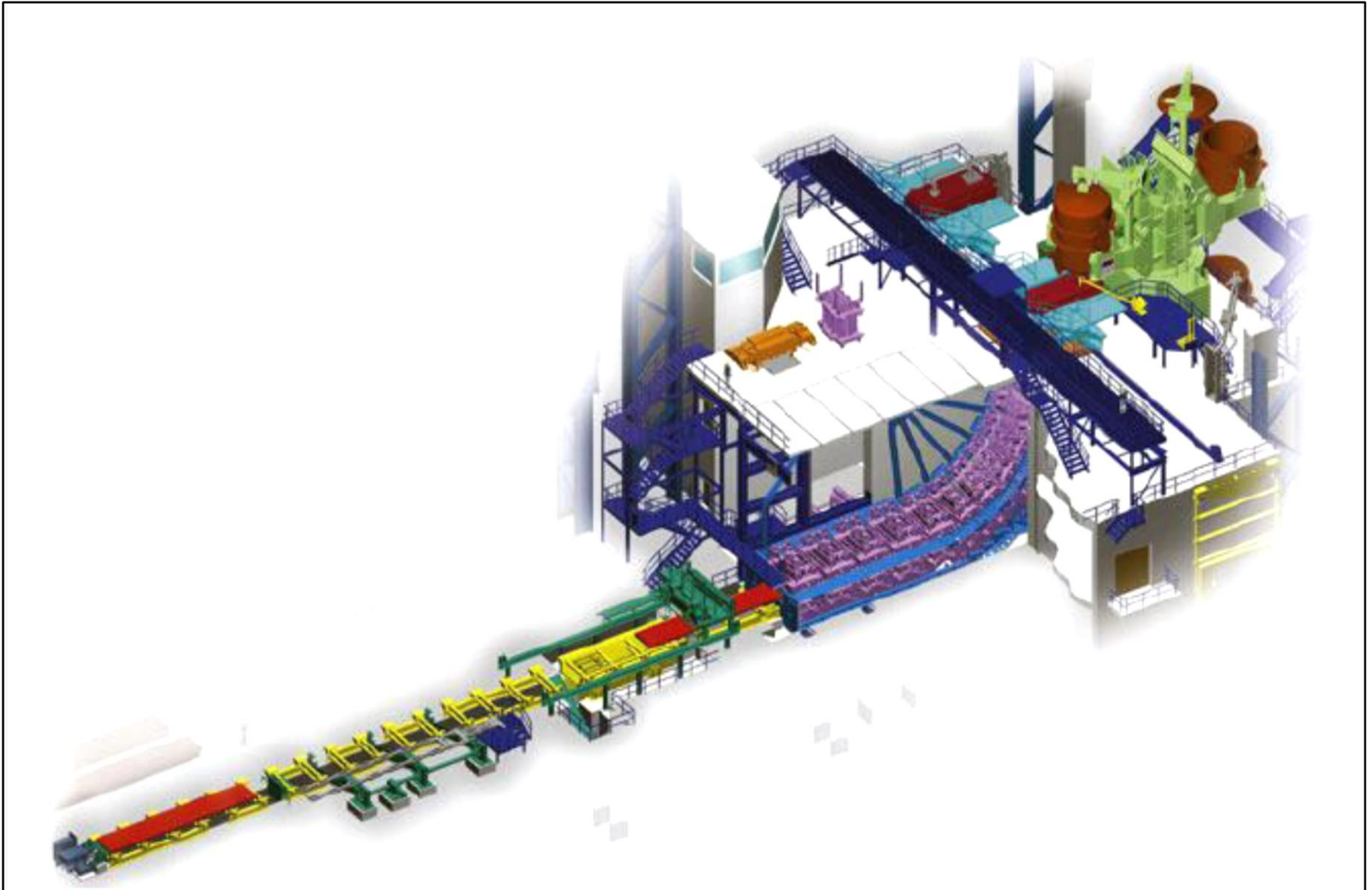
LINGOTAMENTO CONVENCIONAL



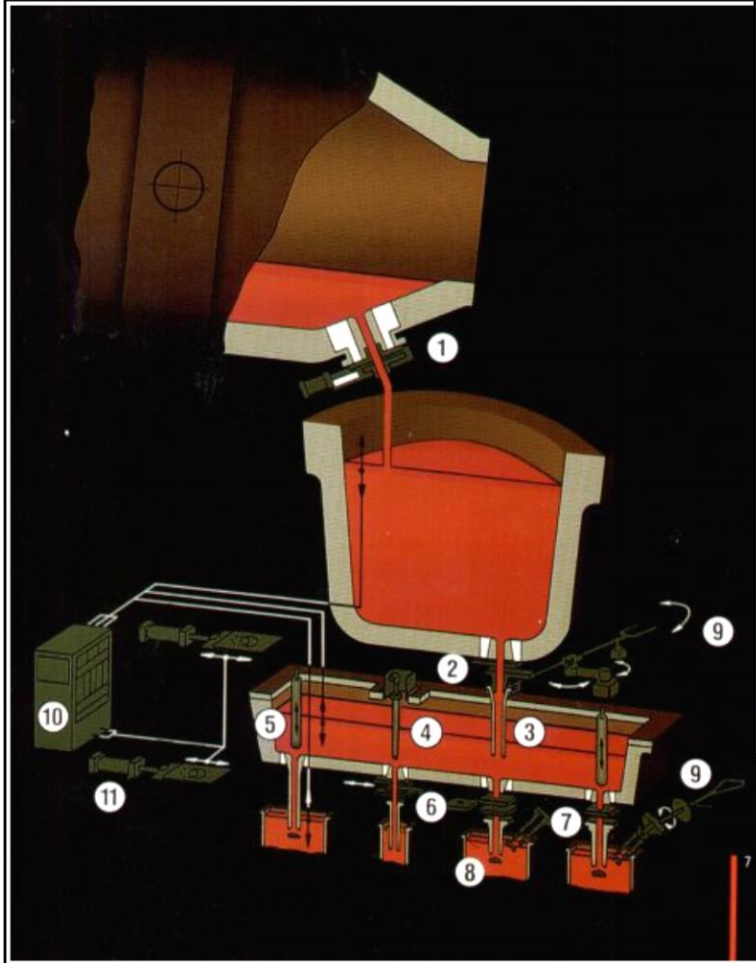
LINGOTAMENTO CONVENCIONAL



LINGOTAMENTO CONTÍNUO



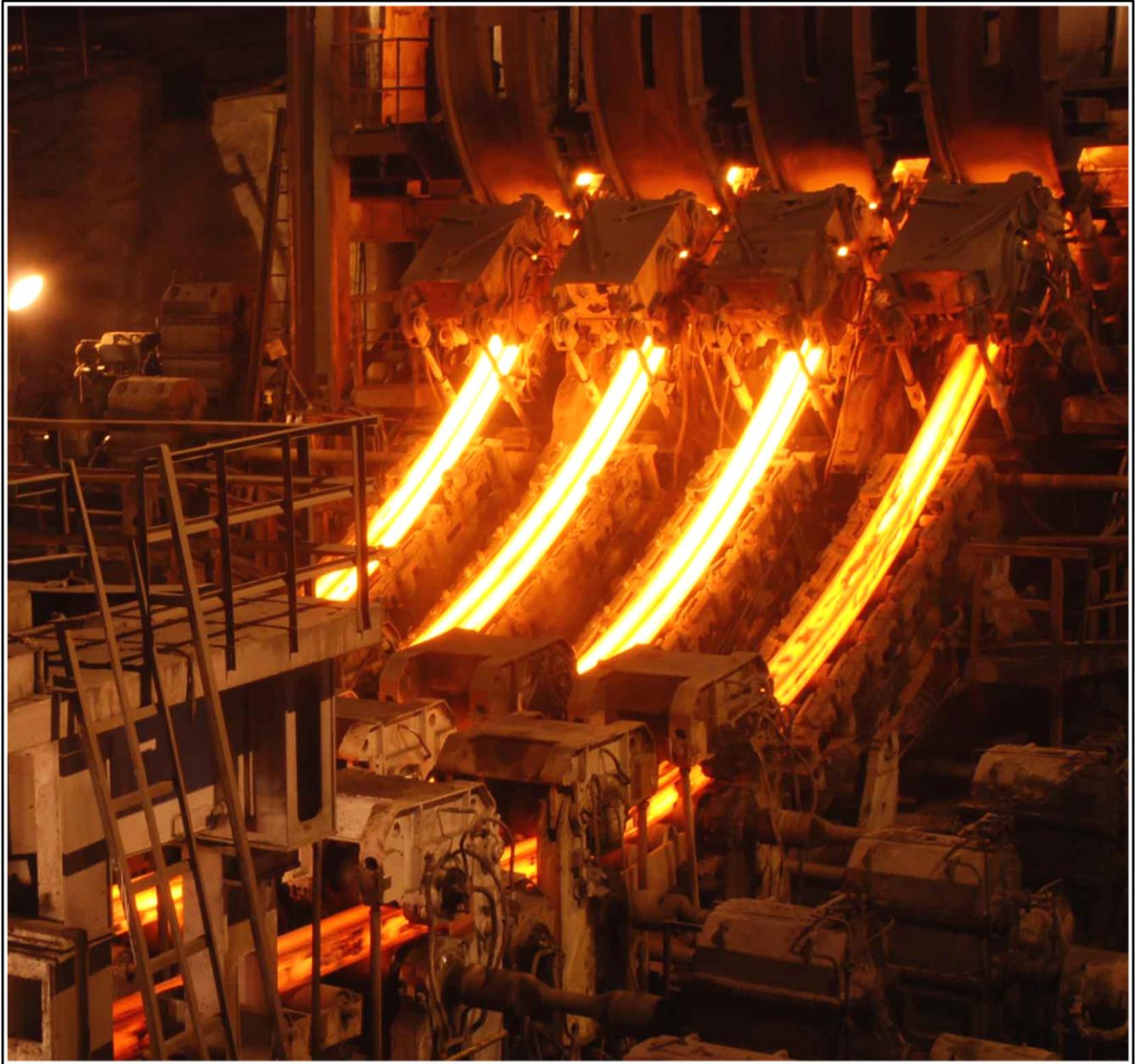
LINGOTAMENTO CONTÍNUO



(www.edef.net)



(www.kaptandemir.com.tr)



AÇO DE ALTO-FORNO X AÇO DE ACIARIA ELÉTRICA

AÇO DE ALTO-FORNO:

- **Sem** elementos **residuais** (Cr, Ni, Mo,);
- Resultado do tratamento térmico de **têmpera: dureza** mais **baixa e não uniforme** ao longo de uma barra;

AÇO DE ACIARIA ELÉTRICA:

- **Presença** de elementos **residuais (sucata)**;
- **Favorece** propriedades após o tratamento térmico de têmpera: **maior dureza e maior uniformidade.**

AÇO DESGASEIFICADO

X

NÃO DESGASEIFICADO

AÇO NÃO DESGASEIFICADO:

- **Possível presença de gases como hidrogênio, bolhas;**
- **Mais frágil: no ensaio de tração, menor alongamento, no ensaio de impacto: menor energia absorvida.**

**AÇO TOTALMENTE
ACALMADO**

X

AÇO SEMI-ACALMADO

X

AÇO EFFERVESCENTE

FRAGILIDADE



**MINÉRIO/SUCATA/C
OQUE/REFRATÁRIO
(S,P,Si)**

**CONVERSORES
(O₂)**

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

**INCLUSÕES NÃO
METÁLICAS: ENDÓGENAS E
EXÓGENAS**

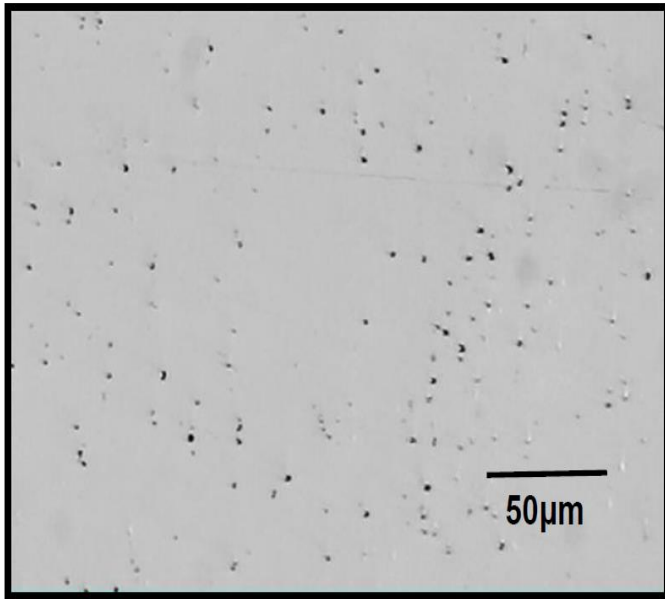
**TIPO A
SULFETOS
(Mn,Fe,Ca)**

**TIPO B
ALUMINA
(Al₂O₃)**

**TIPO C
SILICATOS
(SiO₂)**

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

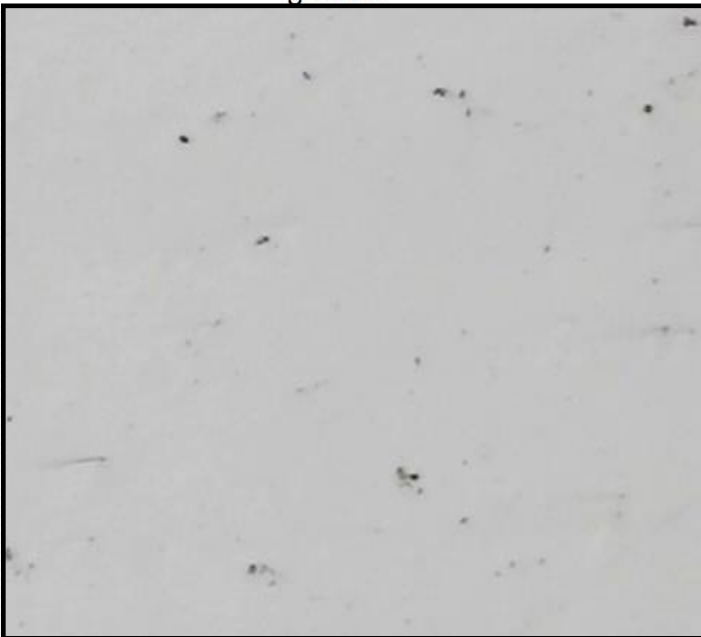
(MARCOMINI)



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

FORNO POR INDUÇÃO A VÁCUO

REFINO EM PANELA (NO ESTADO LÍQUIDO)

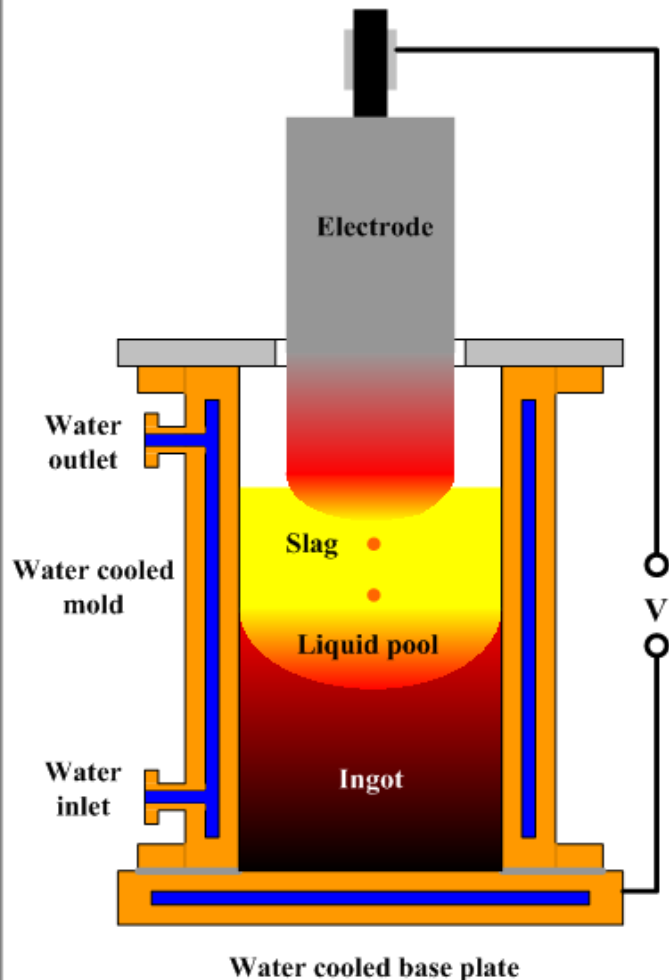
- Desgaseificação;
- Desoxidação;
- Dessulfuração;
- Desfosforação.

REFINO COM REFUSÃO (APÓS LINGOTAMENTO)

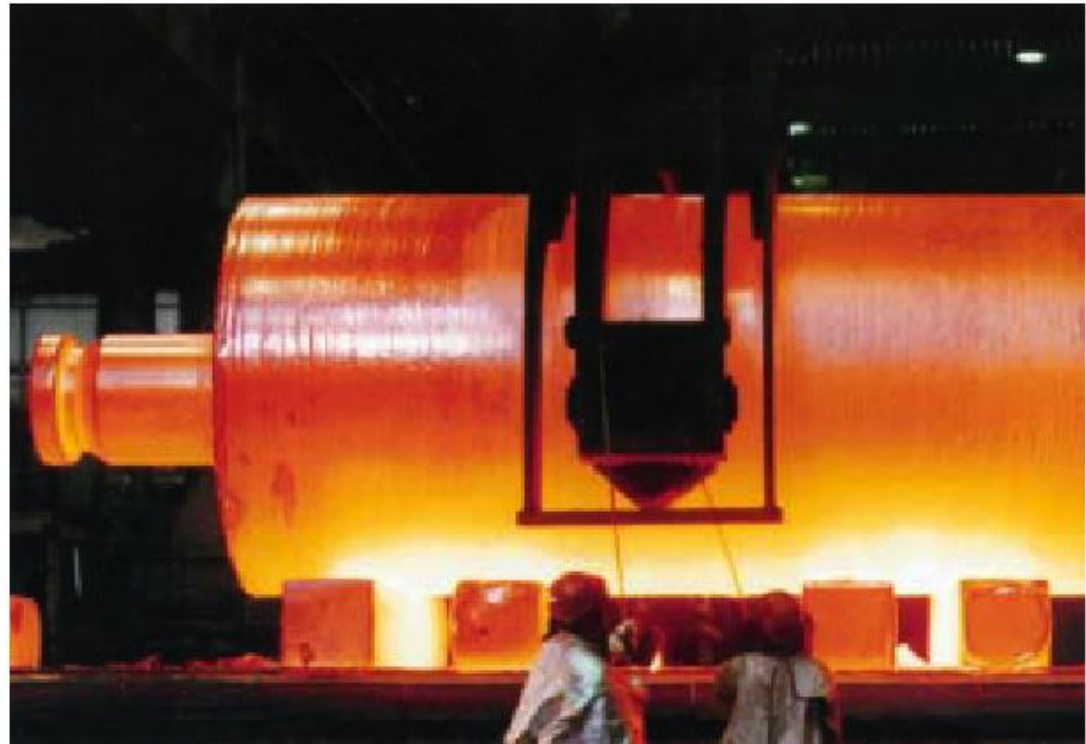
- Refusão sob escória eletrocondutora (ESR);
- Refusão a arco sob vácuo(VAR);
- Refusão por feixe de elétrons;
- Fusão zonal.

REFINO SECUNDÁRIO – REFUSÃO- ELETROESCÓRIA

Electroslag remelting

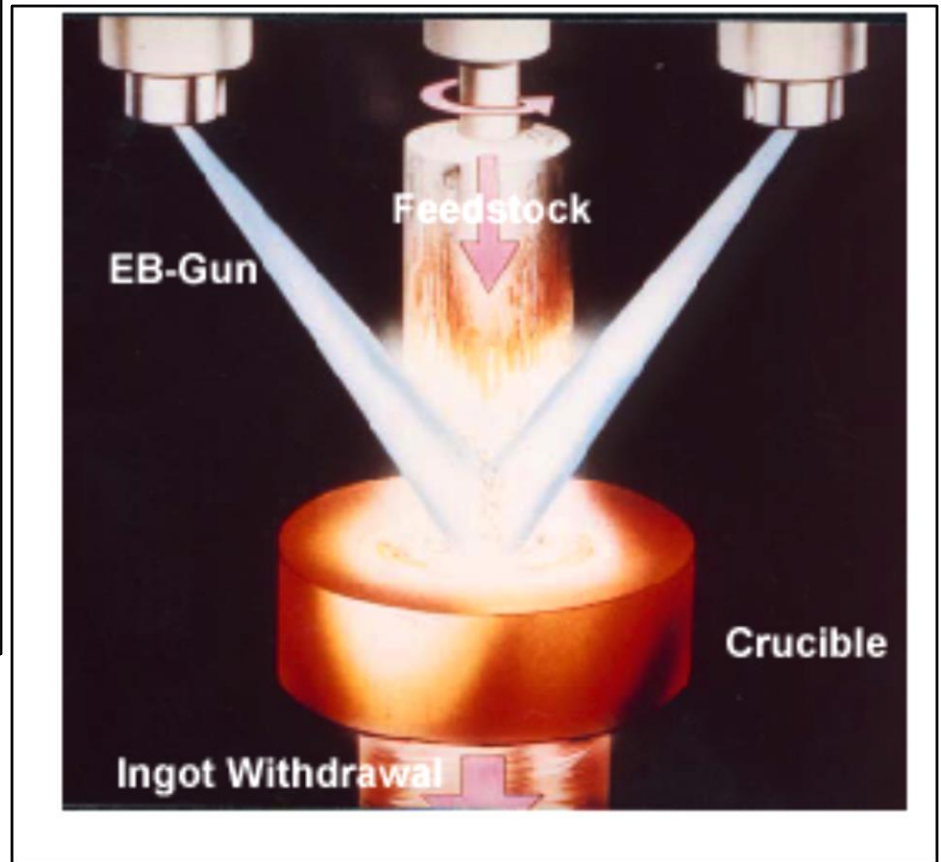
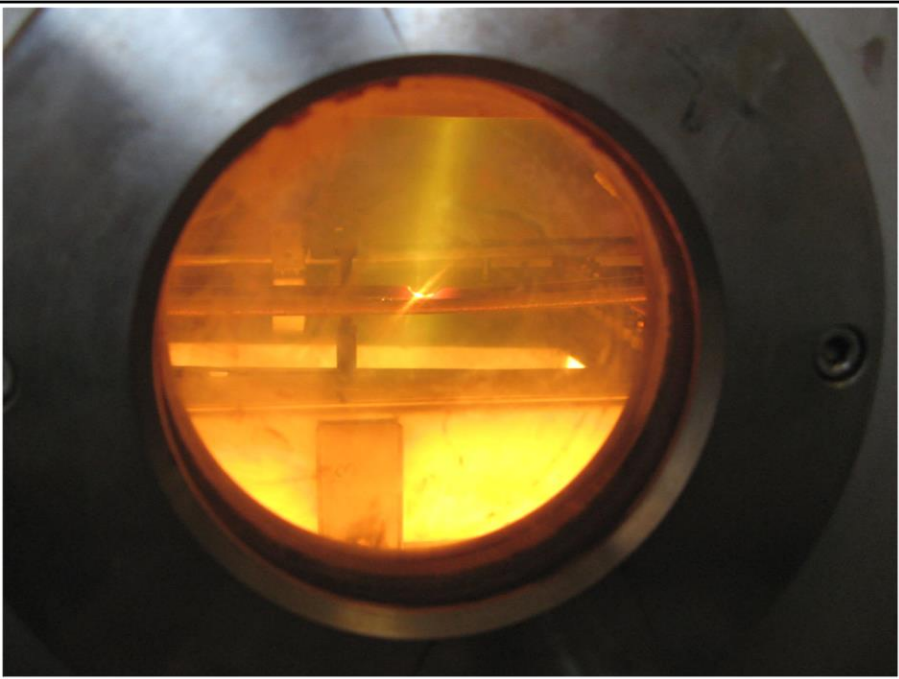


www.substech.com



165 ton ESR ingot, 2,300 mm diameter x 5,000 mm long.

REFINO SECUNDÁRIO - FEIXE DE ELÉTRONS

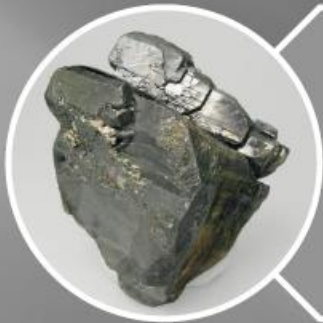


REFINO UTILIZADO TANTO
PARA AÇOS COMO PARA
METAIS REFRATÁRIOS COMO O
TÂNTALO E O NIÓBIO

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

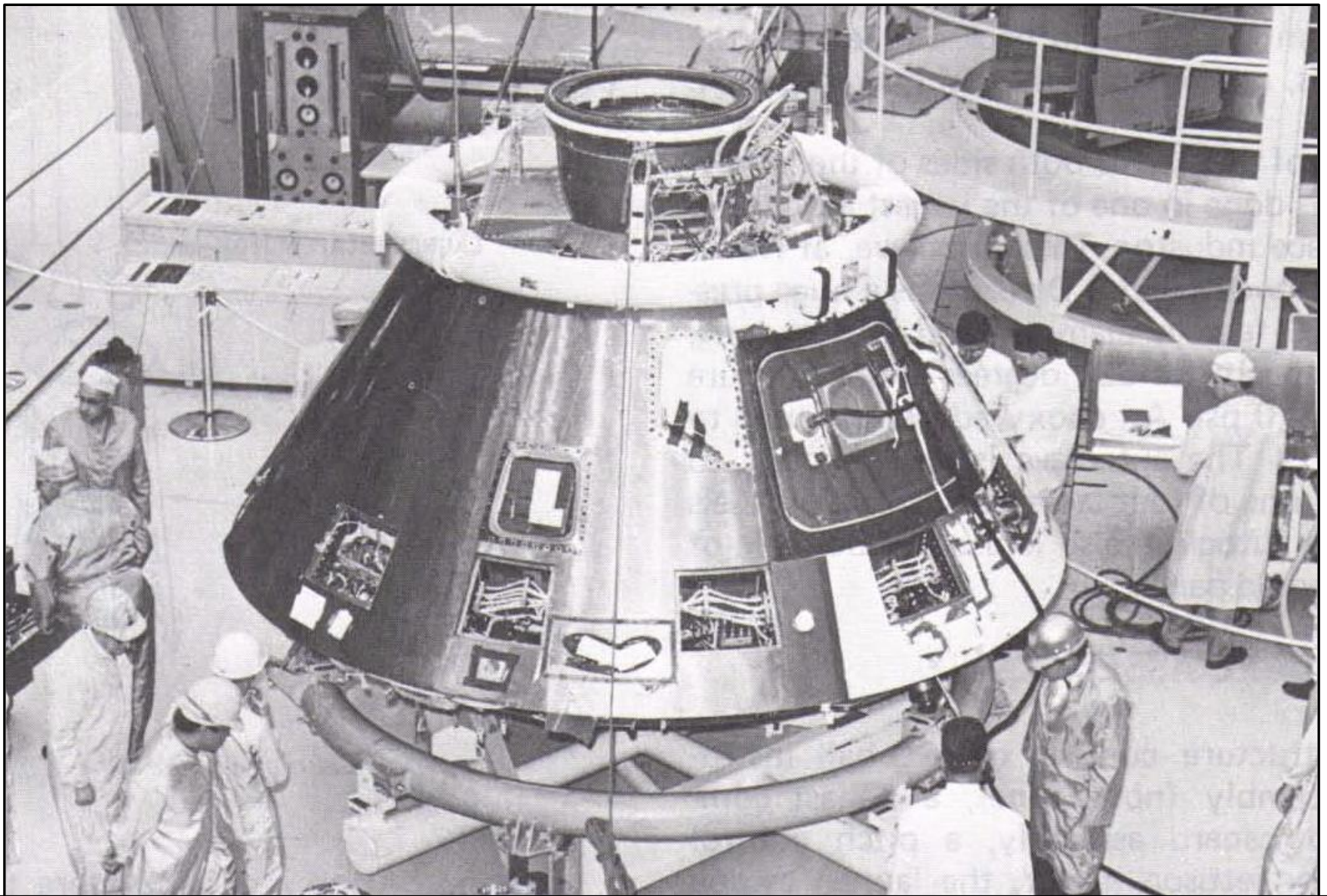




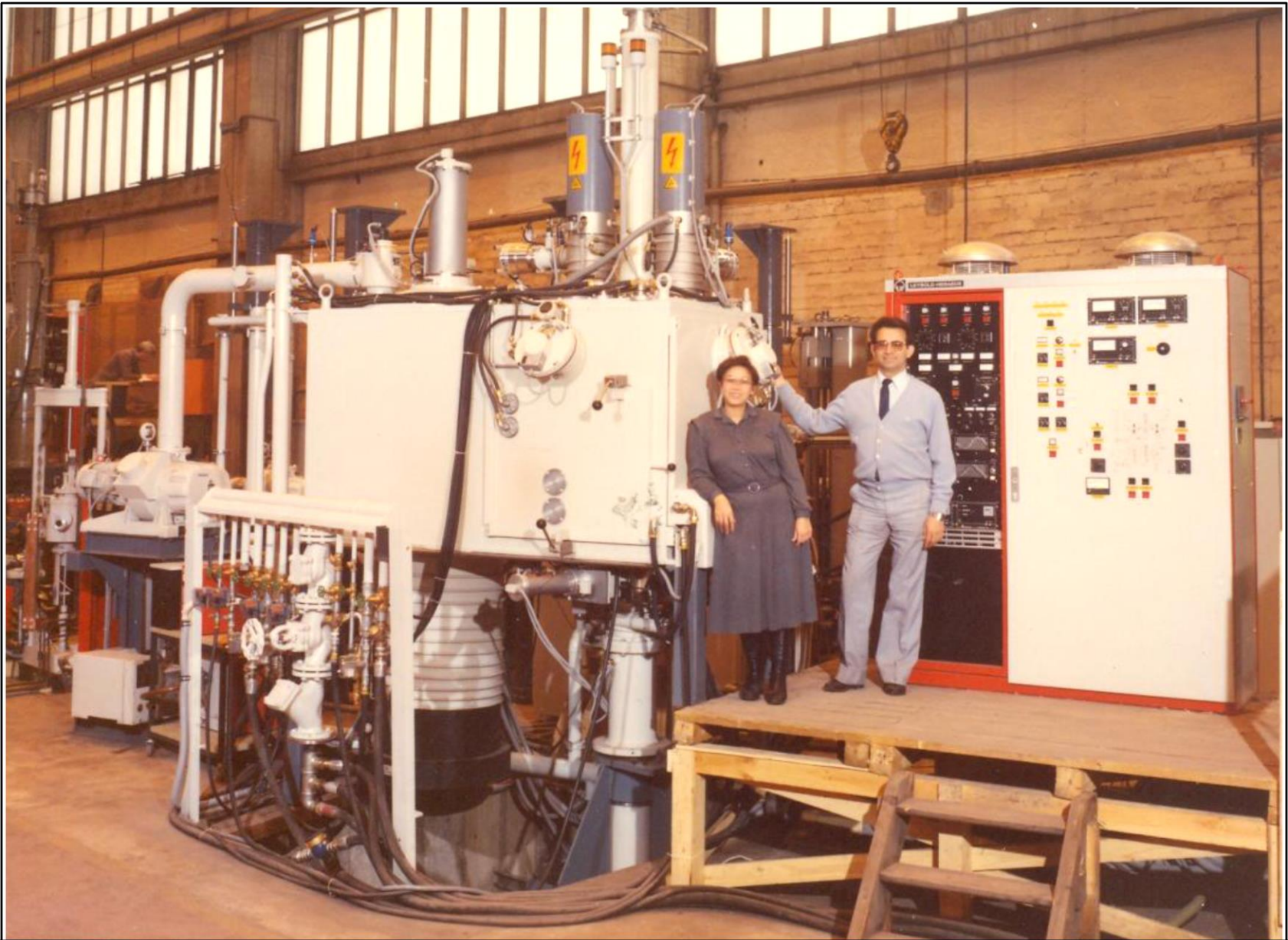
<u>GRADUADOS EM 1964</u>	
ADRIANO AUGUSTO DE ALENCAR TRONDI	FRANCISCO EDMIR BERTOLACCINI
ALBERTO FERRAZ DE ABREU	FRANCISCO UYTAKA HASHIMOTO
ALUIZIO GUIMARÃES CUPERTINO	FUMITAKA KAMIYA
ANDRÉ TUETÉ	GILSON FILISBERTO VASCONCELOS
ANTONIO CARLOS BARBIERI	GLAUCOS DA COSTAMARQUES
ANTONIO CARLOS DO AMARAL ZAITUNE	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-COMISSONAMENTO-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;

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.**

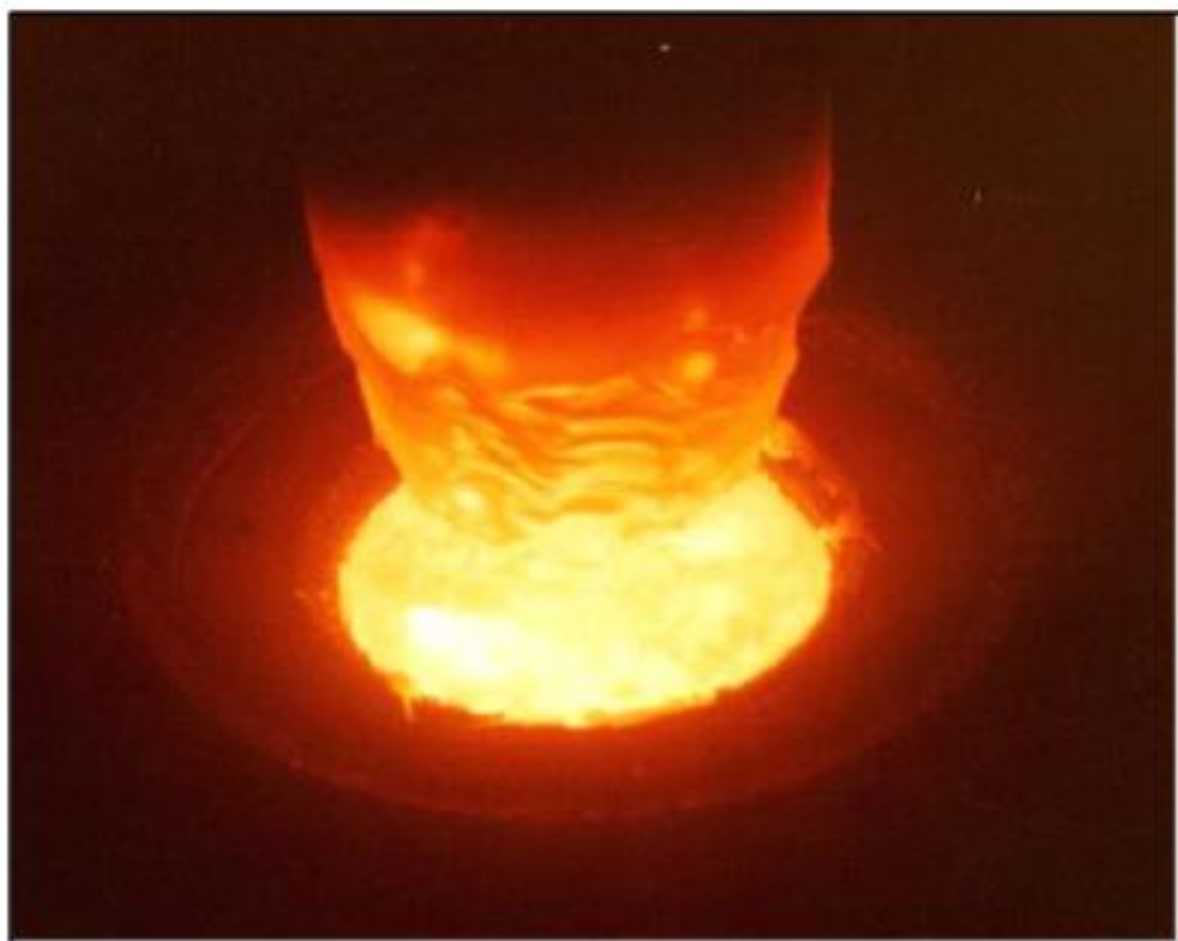
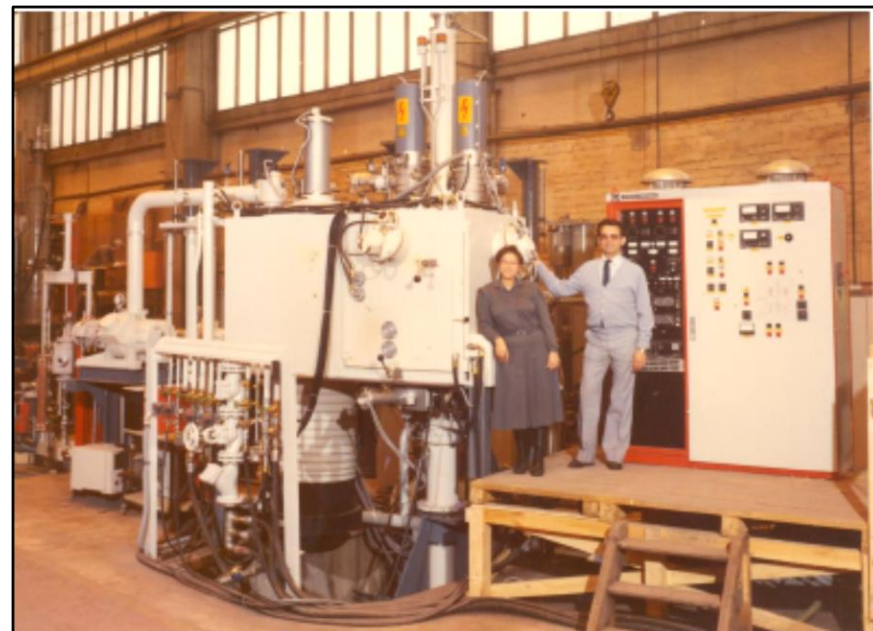
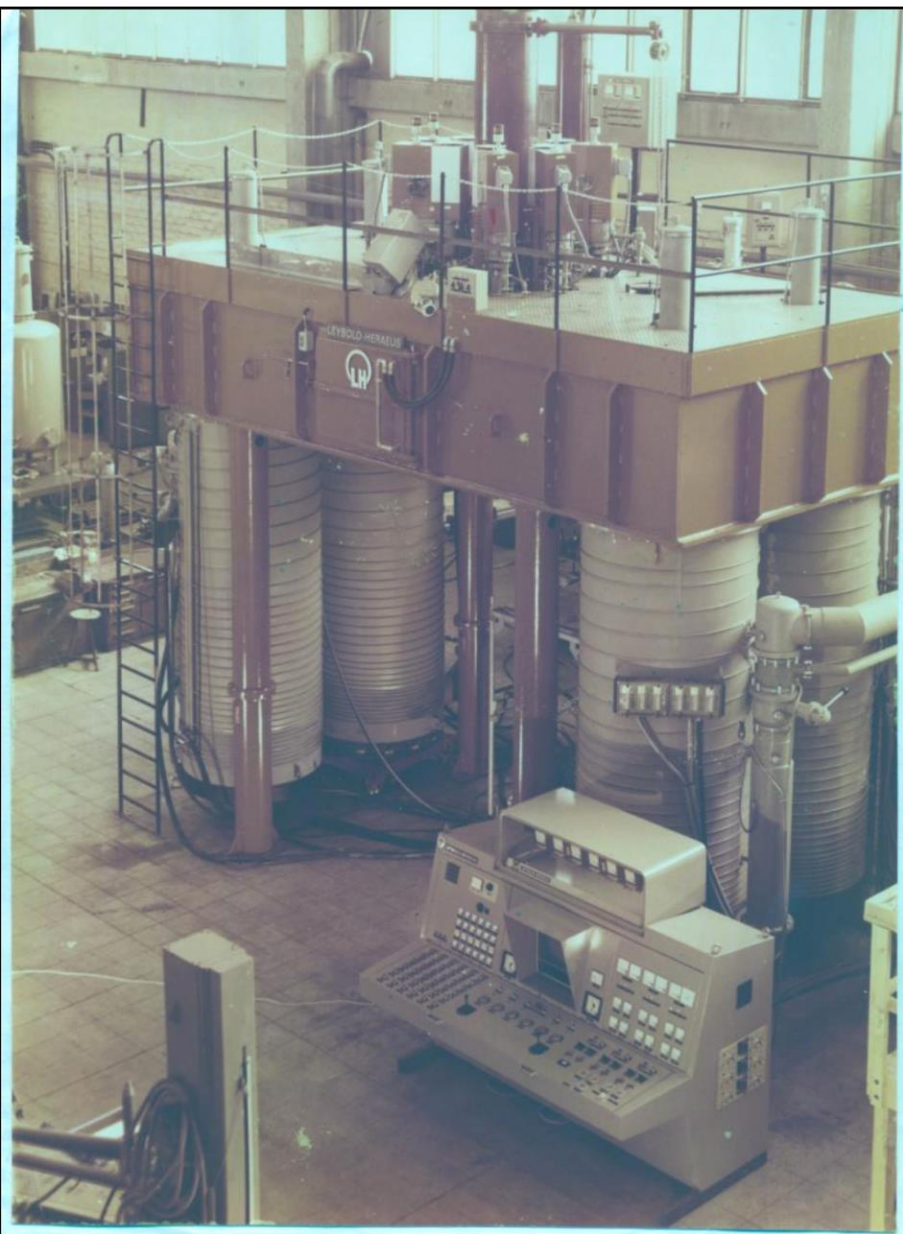


Figura 2 – Refino do Nb por feixe de elétrons. Fonte: [5].



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



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

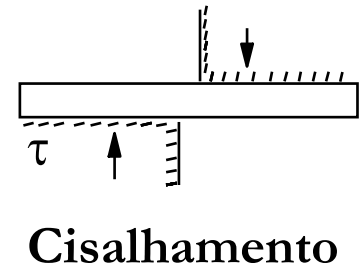
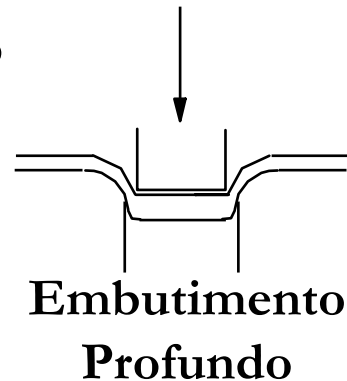
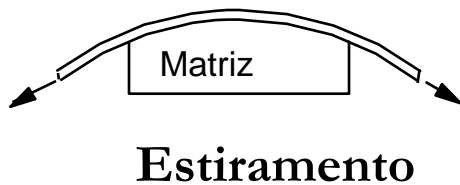
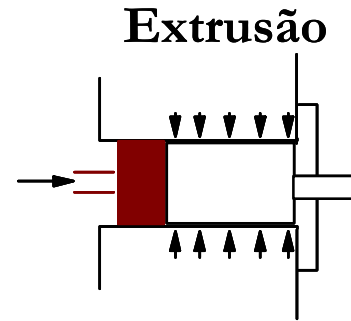
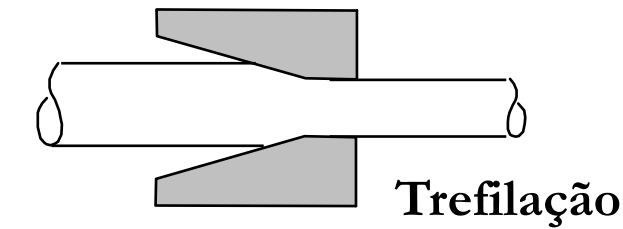
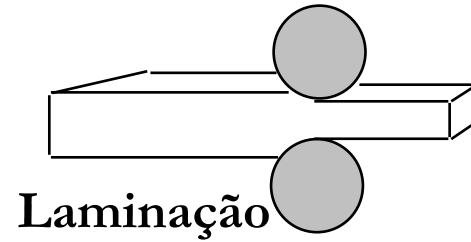
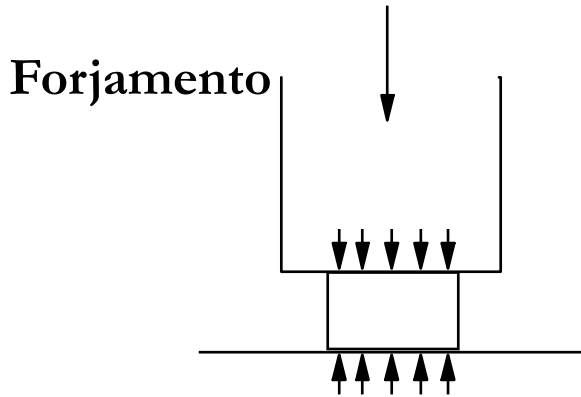
**METAL COM REFINO
SECUNDÁRIO**

X

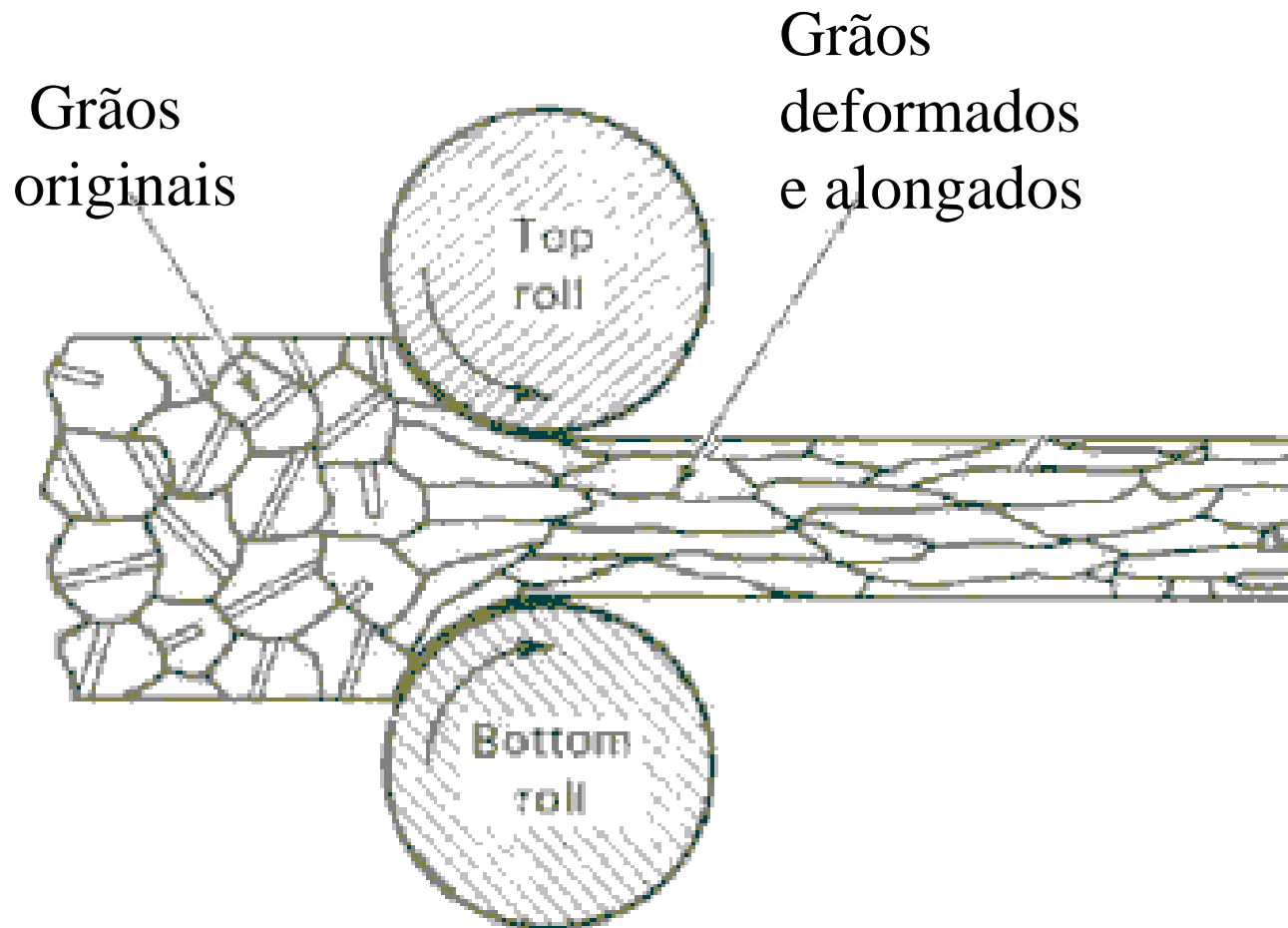
**METAL SEM REFINO
SECUNDÁRIO**

CONFORMAÇÃO

PRINCÍPAIS TIPOS DE CONFORMAÇÃO



LAMINAÇÃO A FRIO

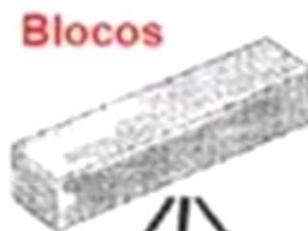
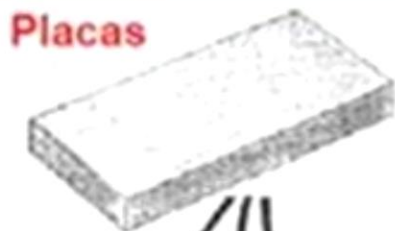


LAMINAÇÃO A FRIO



PRODUTOS LAMINADOS

Laminação a quente



Chapas

Perfis

Trilhos

Barras

Laminação a frio



Barras



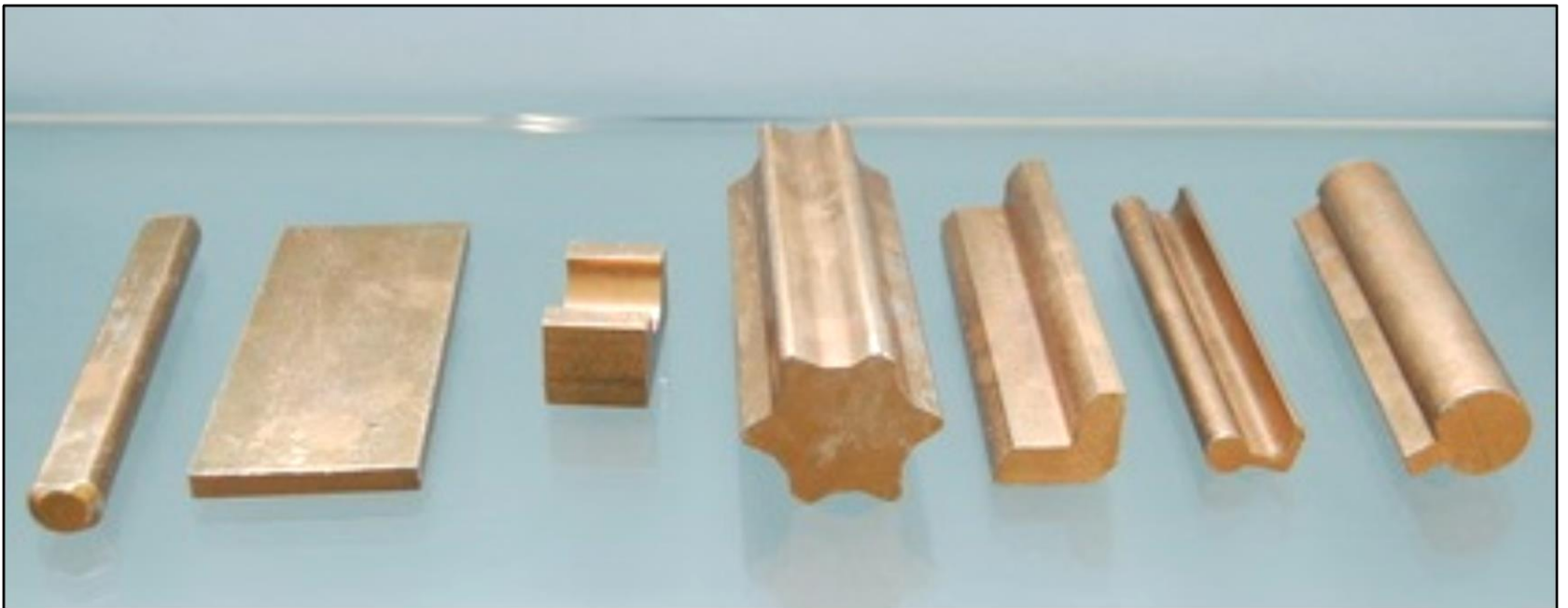
Tubos



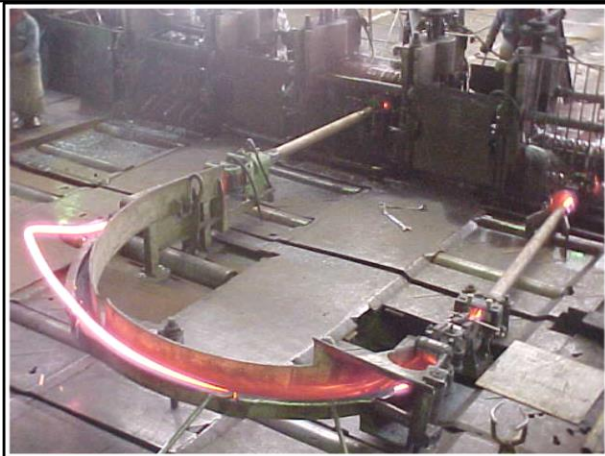
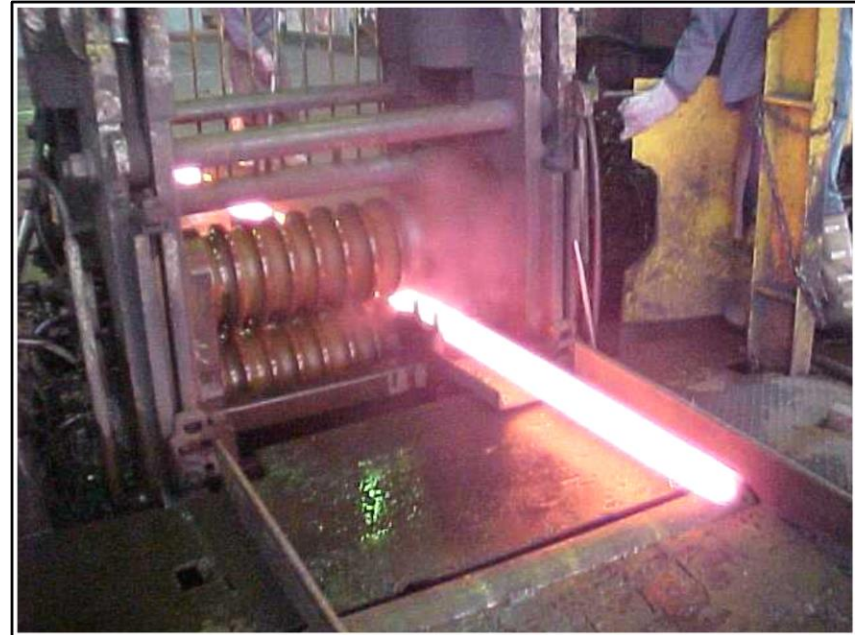
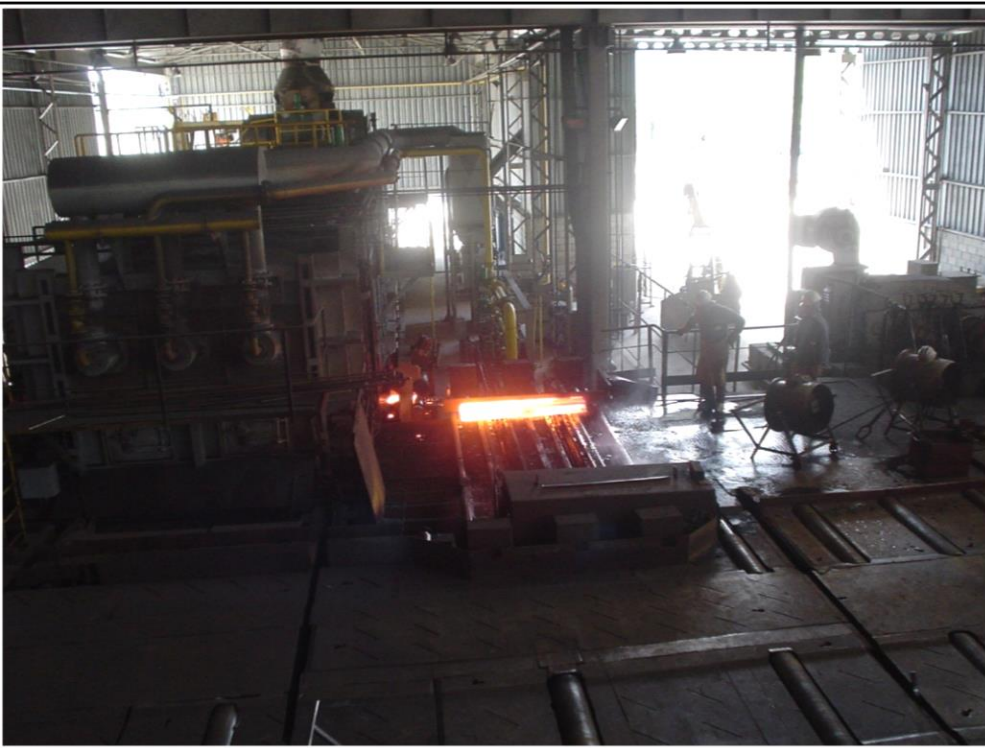
Trefilados



PRODUTOS LAMINADOS



LAMINAÇÃO A QUENTE









FIM