



1

## Universidade Federal do Paraná

Ewaldo Luiz de Mattos Mehl  
Departamento de Engenharia Elétrica  
[mehl@ufpr.br](mailto:mehl@ufpr.br)

### Materiais Elétricos Ferro e Aço

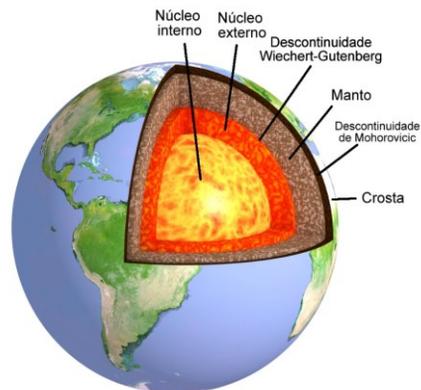


2

2

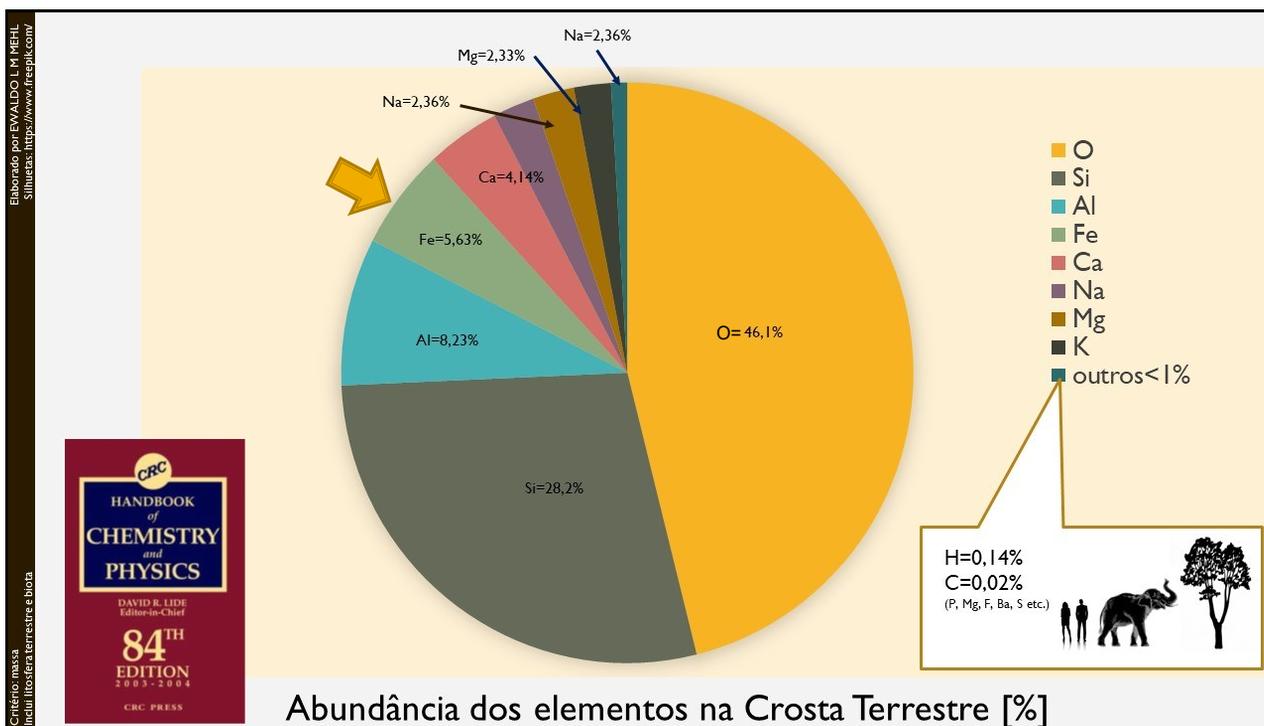
# Ferro

- **Ferro** (do latim *ferrum*) é um elemento químico, símbolo **Fe**, de número atômico 26 (26 prótons e 26 elétrons) e massa atômica 56 u.
- É o quarto elemento mais abundante da crosta terrestre (aproximadamente 5,6%).
- É o metal mais abundante do universo (aproximadamente 11%).
- Sider<sup>GREGO</sup> = Estrela = ferro presente em meteoritos  
Siderurgia é o ramo da metalurgia que se dedica à fabricação e tratamento de aços e ferros fundidos.
- É o metal mais usado em Engenharia, com 95% em peso da produção mundial de metais.



3

3



4

O núcleo da Terra é formado principalmente por ferro e níquel (Ni Fe). Este ferro está em uma temperatura muito acima da temperatura-Curie do ferro (1043K). Dessa forma, o núcleo da Terra **não é ferromagnético (mas é condutor)**.

A densidade do ferro na forma de chapas de aço é da ordem de  $7.000 \text{ kg/m}^3$ .  
O núcleo da Terra tem densidade estimada de  $13.000 \text{ kg/m}^3$

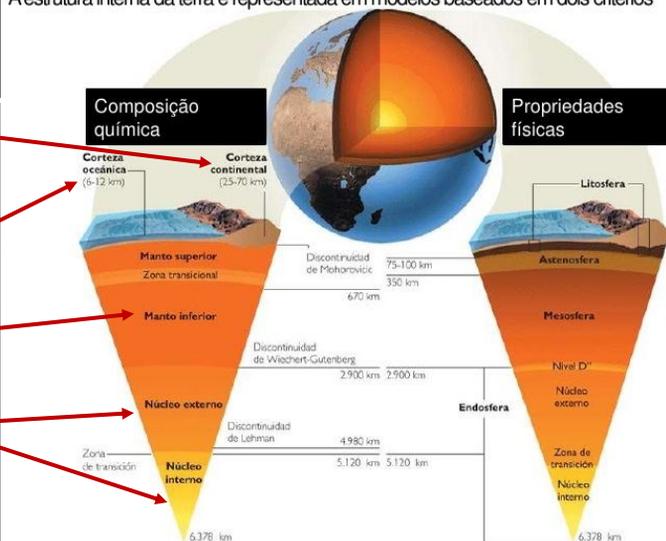
A estrutura interna da terra é representada em modelos baseados em dois critérios

Si+Al

Si+Mg

Fe+Mg

Fe+Ni



5

5

## Ferro



Ferro nodular produzido por fornos primitivos e amostra de  $1 \text{ cm}^3$  de ferro 6N de alta pureza (99,9999%)

6

6



## Aço

- **Aço** é uma liga metálica formada essencialmente por ferro e carbono, com percentagens deste último variando entre 0,008% e 2,11%
- **Ferro fundido** também é uma liga de ferro e carbono, mas com teor de carbono acima de 2,11%. Esta alta porcentagem de carbono torna o ferro fundido quebradiço.
- **Aço-liga** é o aço ao qual foi adicionado um terceiro (as vezes um quarto) elemento, que faz com que o aço tenha características especiais. Exemplos: FeCNi - FeCSi



7

## Aço Inox

- **Aço Inox** ou **Aço Inoxidável** são ligas **ferro-cromo** que contém, tipicamente, um teor em torno de 12% de cromo.
- A partir desse teor e em contato com oxigênio ocorre a formação de uma fina película de óxido de cromo sobre a superfície do aço, que é impermeável e insolúvel nos meios corrosivos usuais.
- Apresenta, em geral, maior resistência à oxidação a alta temperatura em relação a outras classes de aços.



8

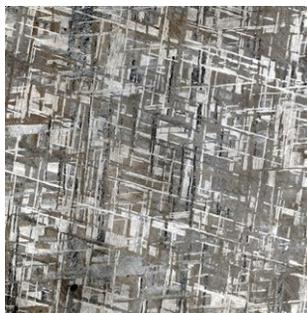
8

## História do Ferro

Os primeiros objetos de ferro da história da humanidade foram construídos com ferro oriundo de meteoritos (Liga de Ni+Fe com estrutura cristalina octoédrica).



A lâmina da adaga do faraó Tutancâmon foi feita com ferro obtido a partir de um meteorito (Fe com 11% de Ni)



Padrão de Widmanstätten, típico de liga NiFe de meteoritos



Meteorito Hoba, Namíbia  
66 toneladas

84% ferro e 16% níquel, com vestígios de cobalto

9

9

## História do Ferro

- O ferro oriundo de meteoritos, além de raro, era extremamente caro: há um registro na Assíria da compra de uma certa quantidade de ferro, em que foi pago **90 vezes o peso do ferro em prata**.
- Objetos feitos com ferro de meteoritos estão também presentes na **Índia** e na **China**. Hérnan Cortés relata ter encontrado punhais de ferro entre os Astecas, no **México**; questionados sobre sua origem, apontavam ao céu.
- A espada *Kusanagi-no-Tsurugi*, um dos símbolos sagrados do Império do **Japão**, provavelmente é feita com metal meteórico. A tradição xintoísta, no entanto, só permite que esta espada seja vista pelo Imperador.
- Os nativos da Groenlândia (Inuits) utilizavam ferro oriundo de um único meteorito por pelo menos 1000 anos antes do contato com os europeus, usando o metal na fabricação de facas e pontas de arpões para caça e para produzir fogo.



Uma Kris, adaga tradicional da Indonésia. Os exemplares antigos eram feitos de metal meteórico



Arpões Inuit da Groenlândia, feitos com presas de narval e ponta de metal meteórico.



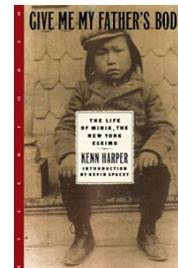
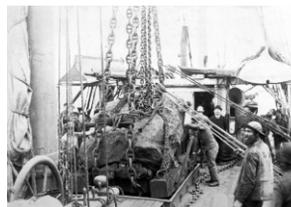
Meteorito **Willamette** (15.500kg), chamado de *Tomanowos* pelos índios norte-americanos Clackamas Chinook.  
91% Fe, 7.62% Ni,

10

10

## História do Ferro

- Em 1818 o explorador britânico John Ross verificou que Inuits da Groenlândia tinham algumas lanças feitas de presas de narval com pontas de ferro muito duro.
- Em 1894 o explorador polar Edward E. Peary convenceu um Inuit, dando-lhe em troca uma espingarda, a mostra-lhe o local de onde eles retiravam o ferro, constatando que era um enorme meteorito metálico fragmentado em três pedaços (30,9t + 3,4t + 3t). Em 1963 um quarto pedaço, pesando 20t, foi encontrado na península de Agpalilik e análises provaram que era do mesmo meteorito.
- Batizado de Meteorito de Cape York, é o mais denso meteorito metálico já identificado, composto de Fe e Ni e com densidade da ordem de 7,6.
- Estima-se que este meteorito tinha originalmente cerca de 200t e caiu na Terra há aproximadamente 10 mil anos, fragmentando-se em pelo menos 8 pedaços. Durante séculos os Inuits da Groenlândia usaram pedras de basalto para remover pedaços dos fragmentos do meteorito para a fabricação de lanças e lâminas e também para geração do fogo por atrito com pedras de sílex (pederneiras). Vivendo em um ambiente extremamente inóspito, a presença de objetos de ferro foi considerada como essencial para a sobrevivência do povo Inuit.
- Peary conseguiu, com muita dificuldade, levar o fragmento maior do meteorito para Nova York, onde foi vendido ao Museu de História Natural em 1897 por 40 mil dólares e encontra-se até hoje em exposição.
- Junto com o Meteorito, Peary levou também para Nova York 6 Inuits, sendo 4 adultos, uma menina e um garoto de aproximadamente 8 anos de idade. Os Inuits foram estudados nos EUA como se fossem animais raros e 3 adultos e a menina acabaram morrendo de tuberculose e outras doenças. O único adulto sobrevivente conseguiu retornar à Groenlândia e o garoto, chamado Minik, foi morar com a família do superintendente do museu, William Wallace. Minik Wallace conseguiu depois de adulto retornar à Groenlândia, mas não sabia mais falar o idioma Inuit e sentiu-se um estranho entre o seu povo. Retornou então aos EUA, onde morreu em 1918 durante a epidemia de Gripe Espanhola.



11

11

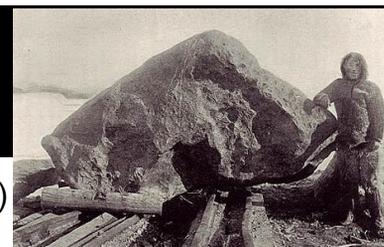
## Meteorito de Cape York

É o mais denso meteorito metálico já identificado, composto de Fe e Ni e com densidade da ordem de 7,6



Fragmento *Ahneathito* ("A Casa") do Meteorito de Cape York (30,9t) transportado por Edward Peary para os EUA

American Museum of Natural History, NY, EUA



Edward Peary com o fragmento *Ahneathito* em 1894

O fragmento *Agpalilik* ("O Homem") de 20t foi encontrado em 1963 e serrado ao meio para estudos da estrutura do material, concluindo-se que fazia parte do Meteorito de Cape York.



O fragmento *Ahneathito* em 1897, ao chegar no porto de Nova York

12

12

## Meteorito Santa Catharina

É o meteorito metálico com mais alto teor de Níquel encontrado (33,97%).

**1875:** Manoel Gonçalves da Rosa encontra em suas terras na Ilha de São Francisco do Sul (SC) uma grande rocha semienterrada de aspecto brilhante que julga ser minério de ferro. Solicita e obtém direitos de lavra ao Governador da Província de Santa Catarina.

**1875:** André Rebouças (um dos irmãos *Engenheiros Rebouças*) que na época estava construindo a ferrovia Curitiba-Antonina, obtém uma amostra da rocha e a envia à Escola Polytechnica (atual UFRJ) onde é analisada (64%Fe+36%Ni). Uma amostra é enviada para Paris, para uma análise mais detalhada resultando em 63,69%Fe+33,97%Ni (esta amostra encontra-se atualmente no Muséum National d'Histoire Naturelle em Paris, França).

**1876:** Manoel da Rosa recebe a notícia do alto teor de Níquel no minério e passa a exportá-lo em pedaços para um comprador na Inglaterra. O Níquel, mineral raro na ocasião, vale mais do que o seu peso em prata.

**1877:** dois geólogos franceses visitaram a “mina de níquel” em São Francisco do Sul, contataram que se tratava de um meteorito e que nada mais havia no local. Os registros de impostos da cidade de São Francisco do Sul comprovam a exportação de ~25.000 quilos de “minério de ferro”, do que se supõe ser esta a massa original do meteorito. Era, portanto, o maior meteorito encontrado no Brasil

**1884:** O engenheiro Luiz Felipe Gonzaga de Campos, diretor da divisão de Mineralogia e Geologia do Museu Nacional realiza buscas na região de São Francisco do Sul e encontra um fragmento do meteorito com aproximadamente 300 g, que foi incorporado ao acervo do Museu Nacional no Rio de Janeiro. Esta peça foi perdida no incêndio do Museu de 2018 mas recuperada em 2019.

Obs.: A coleção de James M. DuPont (EUA) tem um meteorito identificado como “Santa Catharina” mas desconhece-se a sua origem.



Último fragmento do Meteorito Santa Catharina encontrado em 1884 em São Francisco do Sul, acervo do Museu Nacional



13

13

## Meteorito Bendegó

Massa estimada em 5.360 kg.

Composição: Fe, 6.6% Ni, 0.47% Co, 0.22% P, traços de S e C

Com a destruição do meteorito *Santa Catharina*, o *Bendegó* é o maior meteorito achado no Brasil.



**1784:** O meteorito foi encontrado no atual município de Monte Santo, na Bahia. Há relatos que o meteorito teria sido encontrado por um garoto que estava em busca de uma vaca perdida.

**1785:** O Governador da Província da Bahia envia alguns homens até o local onde o meteorito foi encontrado com a missão de transportá-lo até Salvador. O meteorito chega a ser colocado sobre um carroção de madeira e transportado por 180 metros, mas o eixo do veículo se partiu e o meteorito rolou até o córrego Bendegó, onde fica durante mais de 100 anos.

**1886:** O Imperador Dom Pedro II toma conhecimento da existência do meteorito e cria uma comissão para estudar o seu transporte até o Rio de Janeiro.

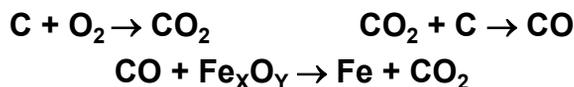
**1888:** O transporte do meteorito foi feito em uma carreta especialmente construída no arsenal da Marinha, tendo-se demorado 126 dias para transpor a distância de 109 km entre o córrego Bendegó e a estação ferroviária do Jacurici, município de Itiúba. Em Salvador o meteorito foi transferido a um navio a vapor e chegou no Rio de Janeiro, onde teve uma parte serrada no Arsenal da Marinha antes de ser levado ao Palácio Imperial da Quinta da Boa Vista. O meteorito, batizado de *Bendegó*, encontra-se no mesmo local desde então, tendo o Palácio Imperial sido transformado no Museu Nacional da Quinta da Boa Vista.

14

14

## História do Ferro

- Babilônia, África, Pérsia, China, Índia e depois Gregos e Romanos: Redução do minério de ferro por meio de fornos primitivos, utilizando carvão vegetal como combustível:



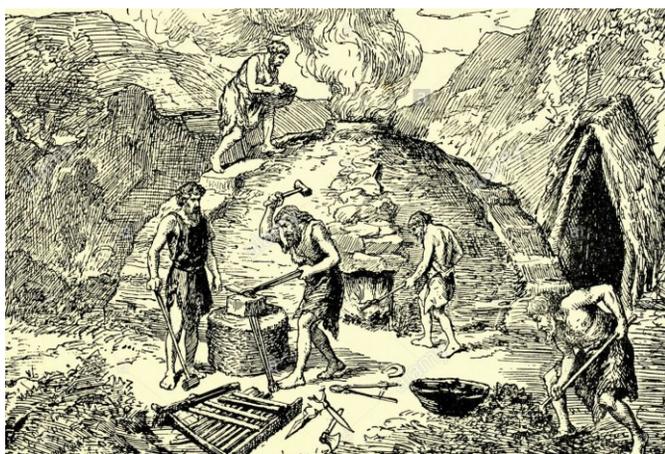
- Devido à baixa temperatura atingida nestes fornos, o ferro era obtido no estado pastoso (líquido de alta viscosidade), misturado com as impurezas do minério.
- O resultado final era uma barra ou “lupa”, posteriormente reaquecida e trabalhada por martelamento.
- Chamado em inglês de *Wrought Iron*, é um produto de baixa qualidade e não é mais produzido industrialmente na atualidade (ferro forjado, que pode ser modificado de formato pela ação combinada de calor e martelamento).

15

15

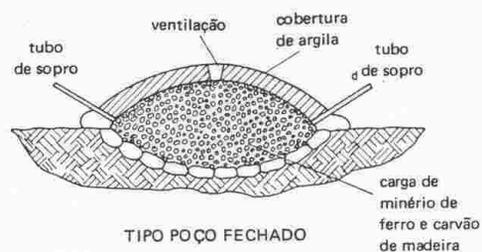
16

## História do Ferro



Forno antigo para produção de ferro,  
tipo “poço fechado”

Problema: baixa temperatura (falta de oxigênio)



TIPO POÇO FECHADO

16

17

## História do Ferro

### Desenvolvimento dos altos-fornos

Começou-se a aumentar, paulatinamente, a altura dos fornos primitivos:

Fornos *chaminé*: aprox. 1900°C

Carga → introduzida pelo topo

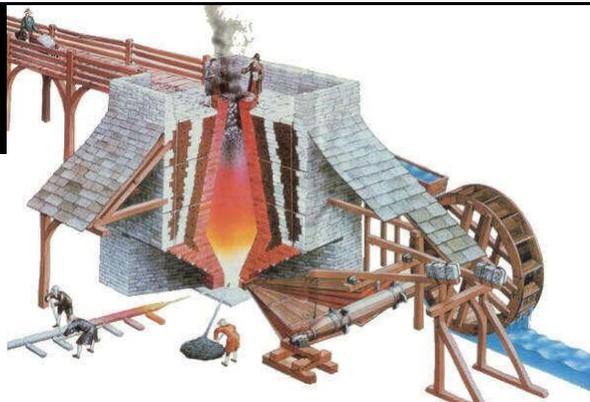
Ar → soprado pela parte inferior por grandes foles, movidos por uma roda d'água

1500 → Inglaterra → Alto-forno com construção mais próximo aos modernos

1619 → Inglaterra → Introdução do coque(\*)

1800 → Inglaterra → Aquecimento do ar soprado no alto-forno

(\*) **coque** é um tipo de combustível derivado da hulha (carvão betuminoso). Começou a ser utilizado na Inglaterra do século XVIII. O coque obtém-se do aquecimento da hulha (ou carvão betuminoso), sem combustão, num recipiente fechado. Sua principal utilidade é na produção de ferro-gusa, sendo adicionado junto com a carga de minério de ferro no alto-forno. Atualmente é também possível produzir coque a partir do petróleo, como é feito no Brasil pela Petrobrás para abastecer a indústria siderúrgica instalada no país.



17



### *The Iron Bridge.*

Ponte sobre o Rio Severn na cidade de Shropshire, Inglaterra. Sua construção foi terminada em 1781, sendo a mais antiga ponte de ferro no Mundo ainda em uso. Análises modernas do material mostraram que a ponte manteve-se intacta por tanto tempo devido à composição acidental do ferro, com presença de manganês.

18

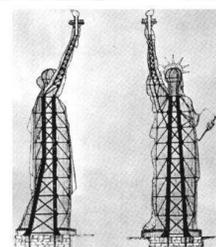
18

## Ferro pudlado (*puddling iron*)

- Método desenvolvido a partir de 1783
- O ferro obtido em alto-forno é vazado em moldes e, enquanto resfria, é agitado para remoção do excesso de carbono.
- Método amplamente usado até 1890, quando foi progressivamente abandonado devido ao desenvolvimento do método Bessemer, de melhor qualidade.
- Notáveis exemplos de estruturas em ferro pudlado são a Torre Eiffel (Paris, França) e a estrutura interna da Estátua da Liberdade (Nova York, também projetada por Gustave Eiffel)



Torre Eiffel  
1889



Estátua da Liberdade  
1886

19

19

## Minério de Ferro

- Os minerais que contêm ferro em quantidade apreciável são os óxidos, carbonatos, sulfetos e silicatos.
- Os mais importantes para a indústria siderúrgica são os óxidos, sendo eles:

Magnetita (óxido ferroso-férrico)



Hematita (óxido férrico)

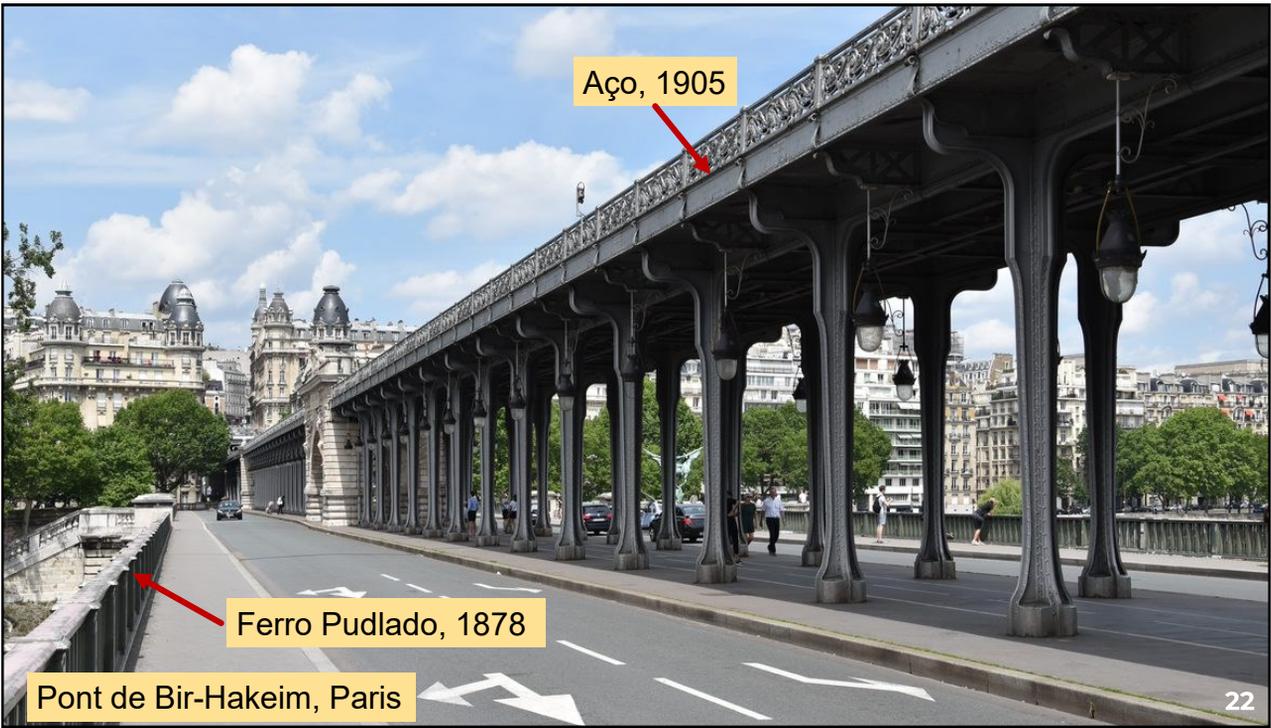


20

20



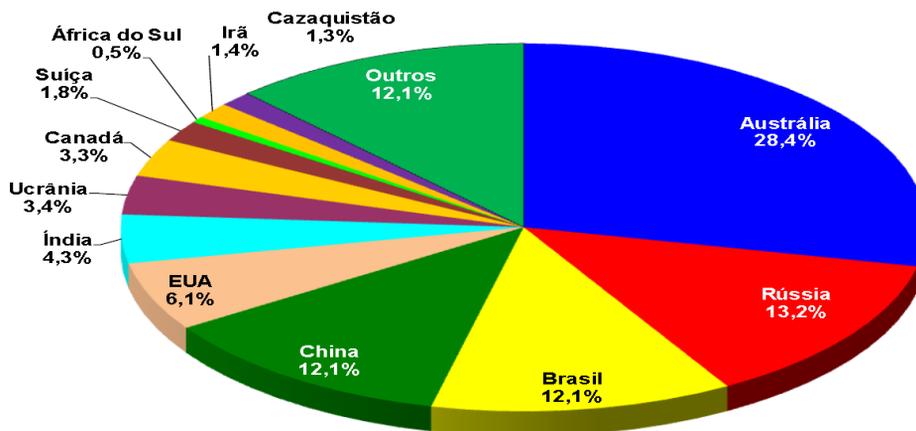
21



22

# Minério de Ferro

## RESERVAS MUNDIAIS DE MINÉRIO DE FERRO



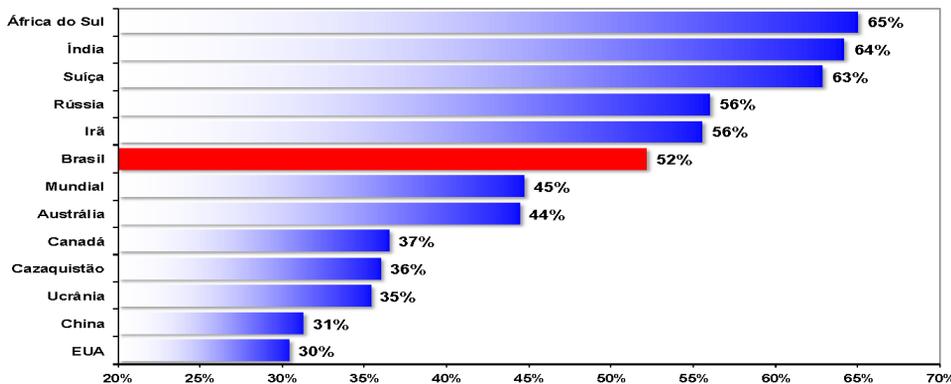
FONTE: USGS – United States Geological Survey - 2015

23

23

# Minério de Ferro

## PERCENTUAL DE FERRO CONTIDO NO MINÉRIO DE FERRO



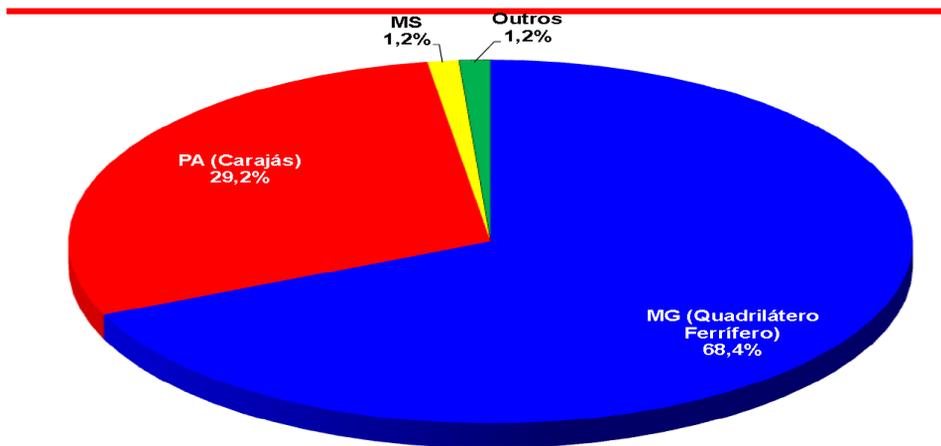
FONTE: USGS – United States Geological Survey - 2015

24

24

# Minério de Ferro

## PRODUÇÃO BRASILEIRA DE MINÉRIO DE FERRO POR UF – 2014



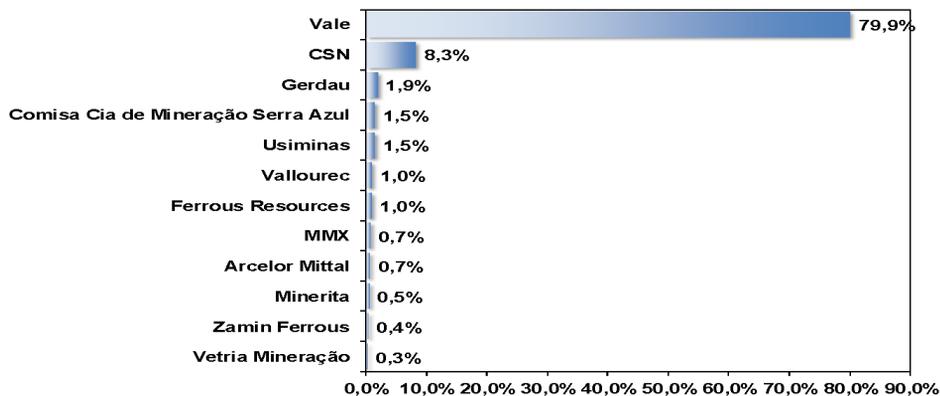
FONTE: DNPM - 2014

25

25

# Minério de Ferro

## RANKING NACIONAL DE PRODUÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO – 2014



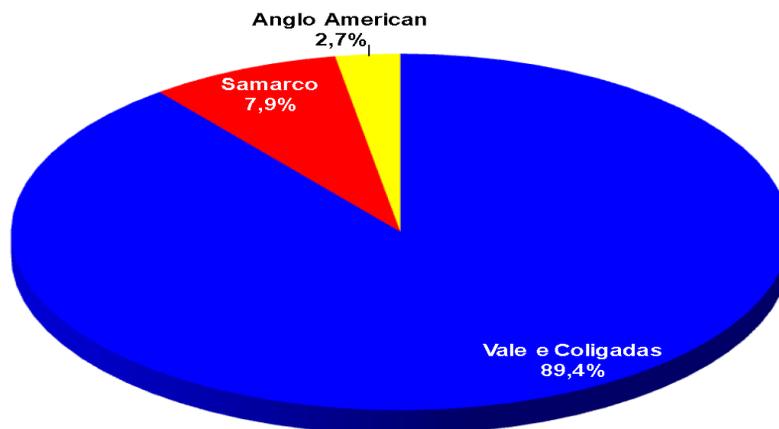
FONTE: IBRAM - 2014

26

26

## Minério de Ferro

### RANKING NACIONAL DE EXPORTAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO 2015



FONTE: SINFERBASE - 2015

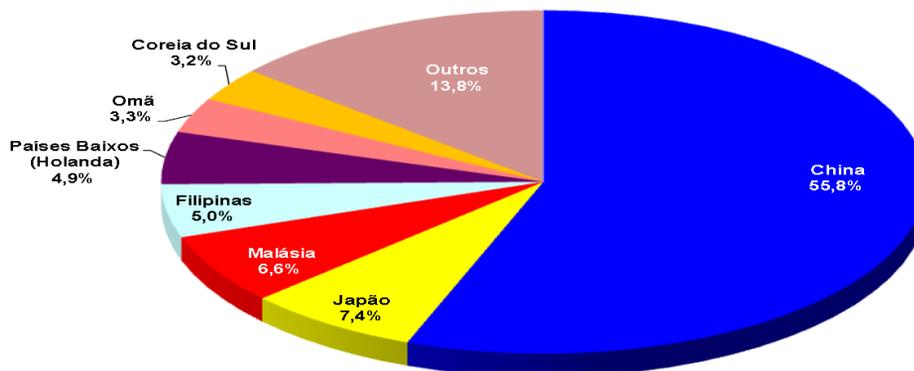
27

27

## Minério de Ferro

### PAÍSES DE DESTINO DAS EXPORTAÇÕES BRASILEIRAS DE MINÉRIO DE FERRO – 2015

Part. % em volume exportado



FONTE: SECEX - 2015

28

28

# Minério de Ferro

## Projeto Grande Carajás

<https://youtu.be/V1GwleYqS2U>

- Usina hidrelétrica de Tucuruí
- Estrada de Ferro Carajás – 892km (Parauapebas, PA – São Luís, MA)  
<https://youtu.be/RqY7AihOjgM>
- Terminal de Ponta da Madeira (Porto de Itaqui, São Luís, MA)
- Mina de ferro de Carajás



## Serra dos Carajás (PA)



29

29

# Minério de Ferro



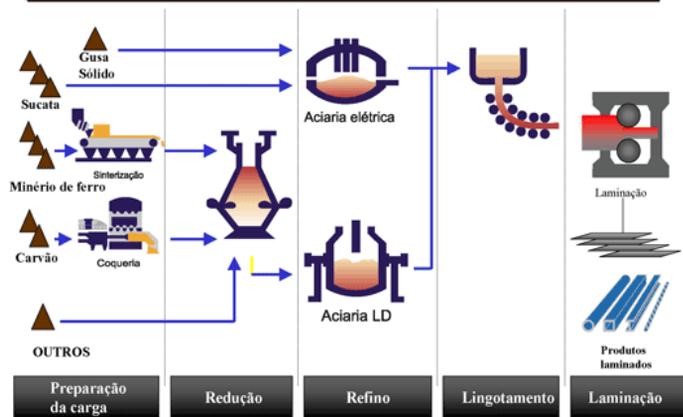
<https://youtu.be/fz4qyVwuBro>

30

30

# Produção de Ferro e Aço

## Fluxo Simplificado de Produção

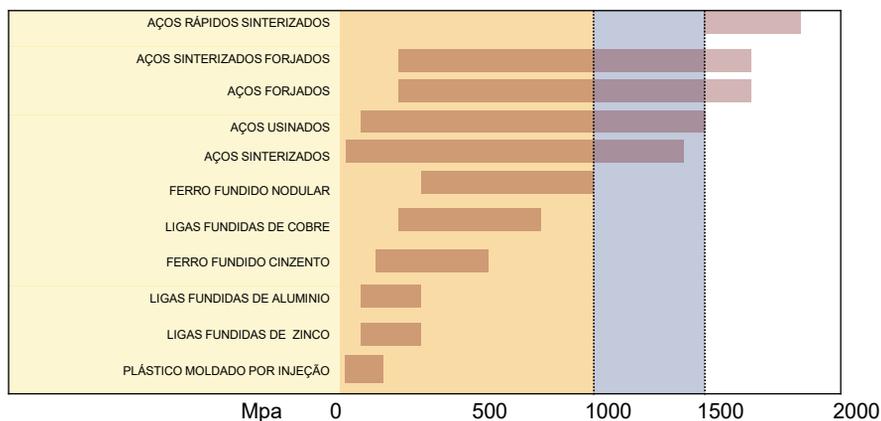


[http://www.ibs.org.br/siderurgia\\_usos\\_fluxo.asp](http://www.ibs.org.br/siderurgia_usos_fluxo.asp)

31

31

# Resistência Mecânica do Ferro e Aço



32

32

## Ligas de Aço

SAE designation	Composition
13xx	Mn 1.75%
40xx	Mo 0.20% or 0.25% or 0.25% Mo & 0.042% S
<a href="#">41XX</a>	Cr 0.50% or 0.80% or 0.95%, Mo 0.12% or 0.20% or 0.25% or 0.30%
43xx	Ni 1.82%, Cr 0.50% to 0.80%, Mo 0.25%
44xx	Mo 0.40% or 0.52%
46xx	Ni 0.85% or 1.82%, Mo 0.20% or 0.25%
47xx	Ni 1.05%, Cr 0.45%, Mo 0.20% or 0.35%
48xx	Ni 3.50%, Mo 0.25%
50xx	Cr 0.27% or 0.40% or 0.50% or 0.65%
50xxx	Cr 0.50%, C 1.00% min
50Bxx	Cr 0.28% or 0.50%, and added boron
51xx	Cr 0.80% or 0.87% or 0.92% or 1.00% or 1.05%
51xxx	Cr 1.02%, C 1.00% min
51Bxx	Cr 0.80%, and added boron
52xxx	Cr 1.45%, C 1.00% min
61xx	Cr 0.60% or 0.80% or 0.95%, V 0.10% or 0.15% min
86xx	Ni 0.55%, Cr 0.50%, Mo 0.20%
87xx	Ni 0.55%, Cr 0.50%, Mo 0.25%
88xx	Ni 0.55%, Cr 0.50%, Mo 0.35%
92xx	Si 1.40% or 2.00%, Mn 0.65% or 0.82% or 0.85%, Cr 0.00% or 0.65%
94Bxx	Ni 0.45%, Cr 0.40%, Mo 0.12%, and added boron
ES-1	Ni 5%, Cr 2%, Si 1.25%, W 1%, Mn 0.85%, Mo 0.55%, Cu 0.5%, Cr 0.40%, C 0.2%, V 0.1%

33

33

## Ligas de Aço

Element	Percentage	Primary function
<a href="#">Aluminium</a>	0.95-1.30	Alloying element in <a href="#">nitriding steels</a>
<a href="#">Bismuth</a>	-	Improves machinability
<a href="#">Boron</a>	0.001-0.003	A powerful hardenability agent
<a href="#">Chromium</a>	0.5-2	Increases hardenability
	4-18	Increases corrosion resistance
<a href="#">Copper</a>	0.1-0.4	Corrosion resistance
<a href="#">Lead</a>	-	Improved machinability
<a href="#">Manganese</a>	0.25-0.40	Combines with <a href="#">sulfur</a> and with <a href="#">phosphorus</a> to reduce the brittleness. Also helps to remove excess oxygen from molten steel.
	>1	Increases hardenability by lowering transformation points and causing transformations to be sluggish
<a href="#">Molybdenum</a>	0.2-5	Stable <a href="#">carbides</a> ; inhibits grain growth. Increases the toughness of steel, thus making molybdenum a very valuable alloy metal for making the cutting parts of <a href="#">machine tools</a> and also the <a href="#">turbine</a> blades of <a href="#">turbojet engines</a> . Also used in <a href="#">rocket motors</a> .
<a href="#">Nickel</a>	2-5	Toughener
	12-20	Increases corrosion resistance
<a href="#">Silicon</a>	0.2-0.7	Increases strength
	2.0	Spring steels
	Higher percentages	Improves magnetic properties
<a href="#">Sulfur</a>	0.08-0.15	Free-machining properties
<a href="#">Titanium</a>	-	Fixes carbon in inert particles; reduces martensitic hardness in chromium steels
<a href="#">Tungsten</a>	-	Also increases the melting point.
<a href="#">Vanadium</a>	0.15	Stable carbides; increases strength while retaining ductility; promotes fine grain structure. Increases the toughness at high temperatures

34

34

## Aço-Silício (= "Aço Elétrico")



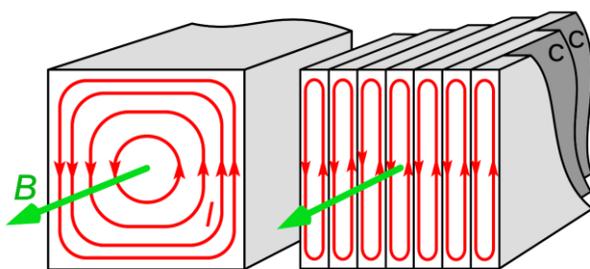
- Este tipo de **aço** foi desenvolvido pelo metalurgista inglês Robert Hadfield em 1900, que observou que a presença de **silício** na liga melhorava as características magnéticas do aço.
- No processo clássico a quantidade de silício fica **abaixo de 3%**. Quantidades maiores de silício deixam as chapas quebradiças. As chapas geralmente usadas nas indústrias tem teor de silício por volta de **2%**.
- A deposição de silício sobre chapas de aço silício comuns, seguindo-se um tratamento térmico para sua difusão, pode elevar o teor de silício para até **6,5%** em peso ao longo das chapas, com excelentes características magnéticas. O custo elevado deste processo, no entanto, faz com que seu uso seja restrito a situações especiais.

35

35

## Aço-Silício

- O aço-silício é comercializado em bobinas, com chapas entre 0,2mm a 0,5mm de espessura.
- Durante o processo de laminação as chapas recebem um recobrimento de óxido de ferro, que isola eletricamente cada chapa da sua vizinha durante a montagem do núcleo magnético. Isto reduz significativamente o aquecimento do núcleo devido a correntes parasitas induzidas pelo campo magnético variável.

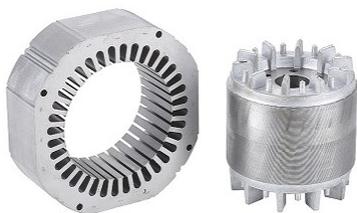


36

36

## Aço-Silício

- Aço-Silício de grão não-orientado (GNO): as propriedades magnéticas são homogêneas. Estas chapas são indicadas para a fabricação de núcleos de máquinas girantes.
- Aço-Silício de grão orientado (GO): disponível a partir de 1934 (Norman Goss, EUA) possuem uma direção preferencial para o fluxo magnético. Estas chapas são indicadas para a fabricação de núcleos de transformadores.



37

37

## Aço-Silício: montagem do núcleo de um transformador trifásico

<https://youtu.be/zpc-0aeyu8w>

38

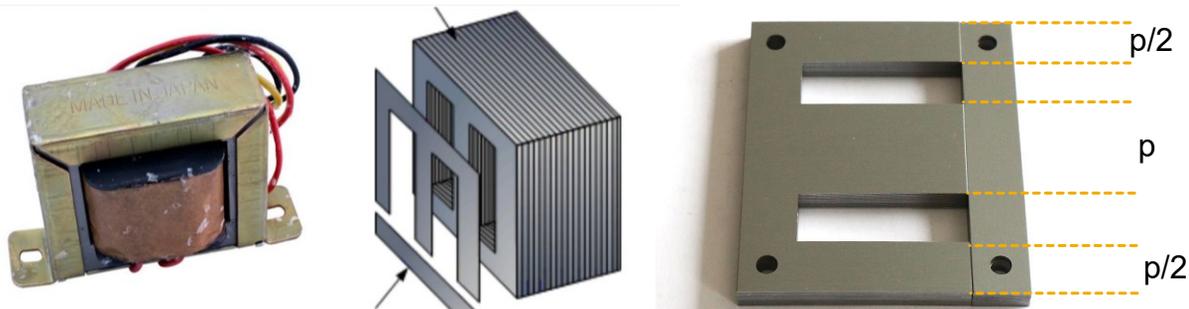
38



39

## Aço-Silício

- Transformadores de baixa tensão e pequena potência (como os usados na fabricação de fontes de alimentação) são geralmente feitos com chapas cortadas em E e em I.
- Nestes casos, usam-se chapas de Aço-Silício de grão não-orientado (GNO).



40

40

## Aços Inoxidáveis

- Aço inox é uma liga metálica constituída de uma mistura de ferro com, no mínimo, 10,5% do elemento cromo, o que o torna mais resistente à corrosão do que o aço comum.
- Isso acontece porque, ao entrar em contato com o oxigênio do ar, o cromo forma uma fina camada de óxido na superfície do aço, protegendo-o contra a corrosão.
- Apesar de invisível e finíssima, essa película é altamente aderente ao aço inox, defendendo-o contra a ação de agentes agressivos, como água do mar, variações de temperatura e o próprio oxigênio, que é o principal causador das oxidações dos metais (ferrugem).
- Mesmo quando o aço inox sofre algum tipo de dano, seja um corte, amassado ou arranhão, imediatamente o oxigênio do ar combina-se com o cromo, formando novamente a camada protetora e restaurando sua resistência original.
- Outros elementos adicionados ao inox, como níquel, molibdênio, vanádio e tungstênio, também podem ser utilizados para aumentar a resistência do material e garantirem ao produto múltiplas aplicações em diferentes setores produtivos.



41

## Aços Inoxidáveis

### Tipos de aços inoxidáveis:

- Ferríticos,
- Austeníticos,
- Martensíticos,
- Dúplex;
- Endurecíveis por precipitação.

### Características comuns a todas as famílias de aço inox:

- Alta resistência à corrosão;
- Aparência higiênica;
- Facilidade de limpeza;
- Mantém suas propriedades mesmo quando submetido a elevadas ou baixas temperaturas;
- Resistência a variações bruscas de temperatura e a impactos;
- Acabamentos superficiais e formas variadas;
- Forte apelo visual (modernidade, leveza e prestígio);
- Relação custo/benefício favorável;
- Baixo custo de manutenção;
- Baixa rugosidade superficial;
- Material reciclável.



42

## Aços Inoxidáveis



### Aços Inox Ferríticos

- Os aços inoxidáveis ferríticos são de longe os tipos mais utilizados para fabricação de equipamentos e utensílios domésticos, pois não possuem níquel em sua composição, o que reduz significativamente o custo de produção.
- O cromo é o principal constituinte da liga ferrítica (entre 11% e 20%), juntamente com pequenas adições de outros estabilizadores de ferrite, tais como silício e nióbio, além de contar com menos de 0,08% de carbono.
- Os aços ferríticos apresentam boa soldabilidade e podem ser facilmente conformados. Além disso, são bastante resistentes à fadiga térmica, o que os torna ideais para fabricação de componentes que estejam expostos a variações de temperatura, como sistemas de exaustão de veículos, por exemplo.

### Características

- Magnéticos (grudam imãs): sim.
- Resistência à corrosão atmosférica: moderada, sendo que há uma boa resistência em ambiente rural e urbano, mas é menos indicado para meios marinhos e industriais. Os aços ferríticos possuem resistência superior à da família de aço inox martensítico.
- Resistência à água do mar: boa.
- Contato com alimentos: quando não se necessita de alta dureza, os aços ferríticos são os mais utilizados para embalagens e utensílios de cozinha.

43

## Aços Inoxidáveis



### Principais tipos de Aço Inox Ferríticos

- AISI 409: suas aplicações mais comuns são em escapamentos de motocicleta, sistemas de exaustão de automóveis, tambores de secadoras (linha branca), termostato, caixas de capacitores, entre outros.
- AISI 430: o mais utilizado, devido à sua infinidade de aplicações. É muito empregado na produção de equipamentos para fabricação de ácido nítrico, adornos de automóveis, utensílios domésticos em geral, como baixelas, fogões, geladeiras, pias, talheres. Cunhagem de moedas e fichas telefônicas, revestimento de elevadores e balcões frigoríficos.
- AISI 439: utilizado na fabricação de painéis de elevadores, pias, tubos de trocador de calor, utilidades domésticas, tubos soldados, entre outros.
- AISI 443: possui uma forte resistência à corrosão, especialmente contra a umidade e o sal. Embora a maioria das ligas inoxidáveis ferríticas não podem competir com as ligas austeníticas em termos de durabilidade, o nível elevado de cromo no aço 443 faz com que ele seja tão resistente à corrosão como o 304.
- Além disso, o aço 443, quando em comparação com o 304, expande-se até menos com o calor, o que significa menos estresse e menos deformação. Uma vez que o 443 tem altos níveis de cromo, ele é magnético. Isso não significa, no entanto, que é de baixa qualidade, uma vez que o cromo é um dos metais mais resistentes à corrosão de todos.
- Por esses motivos, esse aço é bastante usado em produtos que ficam em contato com altas temperaturas, como panelas e outros utensílios de cozinha.

44

## Aços Inoxidáveis



### Aços inox Austeníticos

- A família dos aços inoxidáveis austeníticos é a mais ampla em termos de número de ligas e de variedade de utilização. Em sua composição, possuem entre 17% e 25% de cromo e entre 7% e 20% de níquel.
- Os austeníticos têm como principais características alta resistência à corrosão, boa ductilidade, boa resposta aos trabalhos a frio e a facilidade em operações de soldagem, permitindo uma vasta gama de aplicações.

### Características

- Magnéticos (grudam imãs): geralmente não, porém podem possuir pequenos teores de ferrita, apresentando, nesses casos, leve magnetismo.
- Resistência à corrosão atmosférica: alta, exceto nos meios marinhos e industriais.
- Resistência à água do mar: boa.
- Contato com alimentos: boa resistência para embalagens que entram em contato com leite, sucos de frutas, óleos vegetais, café, etc.

45

## Aços Inoxidáveis



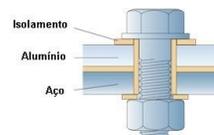
### Principais tipos de Aço Inox Austeníticos

- AISI 201: fornece propriedades semelhantes ao AISI 304 e pode ser utilizado na maioria das aplicações para o Tipo 304, porém com um custo mais acessível devido a menor quantidade de níquel.
- Os usos típicos incluem equipamentos para gastronomia, utensílios de cozinha, estantes para estocagem de alimentos, mesas para farmácias, açougues e padarias, pias, e bancadas para veterinários.
- O nível geral de resistência à corrosão do AISI 201 é similar ao AISI 304, tornando o Tipo 201 um excelente substituto para o Tipo 304.
- AISI 301: utilizado para fins estruturais, equipamentos para indústria aeronáutica, ferroviária, rodoviária e alimentícia, sendo empregado na produção de facas, lâminas de trituradores de legumes, cabos de aço e utensílios domésticos.
- AISI 302: fabricação de molas (tração, torção, helicoidal, caracol), ganchos, bijuterias, antenas para autorádio, artigos de pesca, eixos, arruelas, componentes de válvulas e diversos produtos da indústria alimentícia.
- AISI 304: o aço mais popular. Com alta resistência à corrosão, evita a ferrugem e, por isso, é usado para fabricação de equipamentos para cozinha, hospitais, indústrias químicas, farmacêuticas e petroquímicas;
- AISI 304L: versão aprimorada do AISI 304, esta liga pode ser usada nos mesmos locais, porém, com preferência para situações nas quais é necessário evitar a corrosão intercrystalina (que ocorre internamente, nos contornos dos grãos do aço);
- AISI 305: produção de parafusos com fendas simples, pinos, rebites, instrumentos elétricos e componentes para as indústrias têxteis e químicas.
- AISI 310: empregado na produção de esteiras transportadoras para fornos, componentes de queimadores, telas de cestas para banhos químicos quentes, estufas, ganchos e revestimentos de fornos, válvulas, bombas, trocadores de calor, componentes para turbinas a gás ou a jato.
- AISI 316: possui molibdênio em sua composição, tornando essa liga superior aos AISI 304 e 304L para aplicações nos mesmos tipos de indústrias;
- AISI 316L: semelhante ao AISI 316, só que com baixo teor de carbono, o que proporciona maior resistência à corrosão intercrystalina.

46

## Cuidados com o Aço Inox

- A maioria das ligas de Aço Inox tem baixas propriedades mecânicas (são moles) e baixa resistência a fluência. Em aplicações onde a carga mecânica é elevada devem ser escolhidas ligas de aço inox de alta resistência.
- Nem todas as ligas de Aço Inox são totalmente resistentes à corrosão.
- Os aços inox Austeníticos não são totalmente não magnéticos. Em certas aplicações onde é exigido comportamento não-magnético absoluto, nenhum aço inox é adequado.
- Peças de alumínio não devem entrar em contato direto com peças em aço inox. Se houver a presença de um eletrólito (exemplo: água do mar) resultará em violenta corrosão galvânica de ambos os metais!
- Produtos a base de Cloro mancham o aço inox. Deve-se evitar esse tipo de produto para limpar talheres e tampos de fogões.
- O aço inox, ao contrário do que aparenta, não é resistente a riscos e arranhões. Painéis de aço inox devem ser lavados com esponjas não abrasivas. Quando o nível de sujeira for muito intenso, deve-se deixar a panela de molho em água com detergente antes de limpar, evitando-se ter que usar força excessiva que acabaria riscando o aço inox e sua camada protetora.

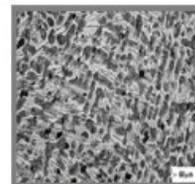


47

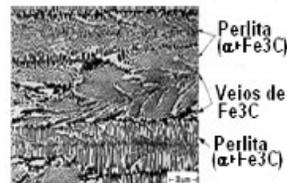
## Ferro Fundido

- É uma liga de Fe-C-Si
- É considerada uma liga ternária devido a presença do Si
- Os teores de Si podem ser maiores que o do próprio C
- O Si influi muito nas propriedades dos ferros fundidos

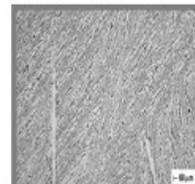
**FoFo Branco Hipoeutético**  
Dentritas de Perlita com Contorno Ledeburítico



**FoFo Branco Eutético 100% Ledeburítico**



**FoFo Branco Hipereutético**  
Aguilhas de Cementita com Contorno Ledeburítico



48

## Ferro Fundido

- Principais aplicações e usos **não estruturais**:

- Tampões de pista de rolamento e de calçada (para visitas em redes de água, esgoto, telefonia e elétrica), grelhas para águas pluviais, grades decorativas, tubos para redes de água e seus acessórios (válvulas, conexões, etc.), ralos, caixas de correio, etc.

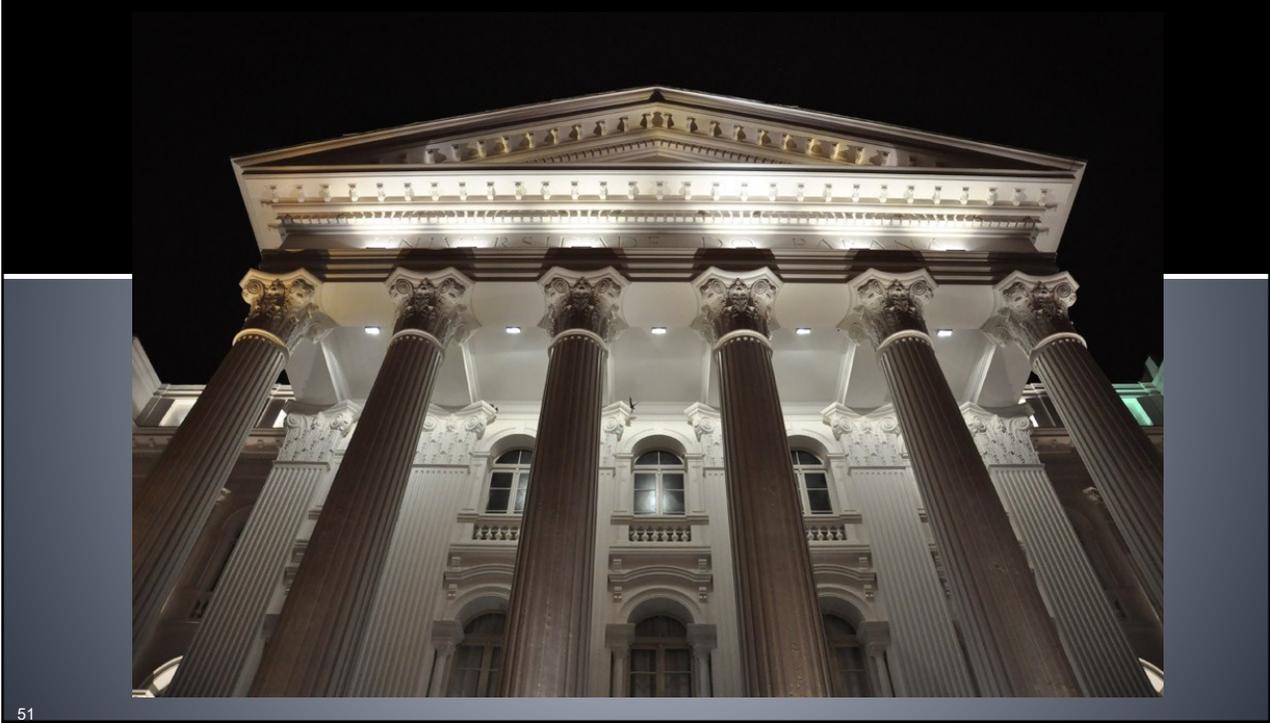


49

## Tipos de Ferro Fundido



50



51