

Elementos de Máquinas (ELMA2)

Prof. Me. Carlos Alberto Oian

2º Semestre de 2022

Tecnólogo em Automação Industrial – Módulo 2



Elementos de Máquinas (ELMA2)

Conteúdo Programático:

1. Introdução aos materiais de construção mecânica;
2. Princípios de tratamentos térmicos;
3. Processos de fabricação mecânica;
4. Introdução aos elementos de máquinas: Eixos, Mancais, Parafusos e Rebites;
5. Introdução aos elementos de transmissão mecânica: Engrenagens.

Elementos de Máquinas (ELMA2)

Bibliografia básica:

CALLISTER J.; William D. Ciência e engenharia de materiais: Uma introdução. [Materials science and engineering: an introduction]. Traduzido por: Sérgio Murilo Stamile Soares. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 705 p. ISBN 978-85-216-1595-8.

MELCONIAN, S. Elementos de máquinas. 9º Edição, Érica 2009.

BUDYNAS, R.; NISBETT, J.K.; BUDYNAS, R.G. Elementos de Máquinas 10ª. ed. Porto Alegre: McGraw-Hill, 2016.

SHIGLEY, J.E.; MISCHKE, C.R.; BUDYNAS, R.G. Projeto de Engenharia Mecânica. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

Elementos de Máquinas (ELMA2)

Avaliação:

$$MF = (P1 + P2)/2$$

Onde:

P1 - Prova 1 (28/Setembro)

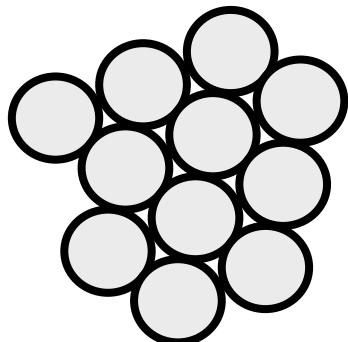
P2 - Prova 2 (07/Dezembro)

PS - Prova Substitutiva (14/Dezembro)

Introdução aos materiais de construção mecânica

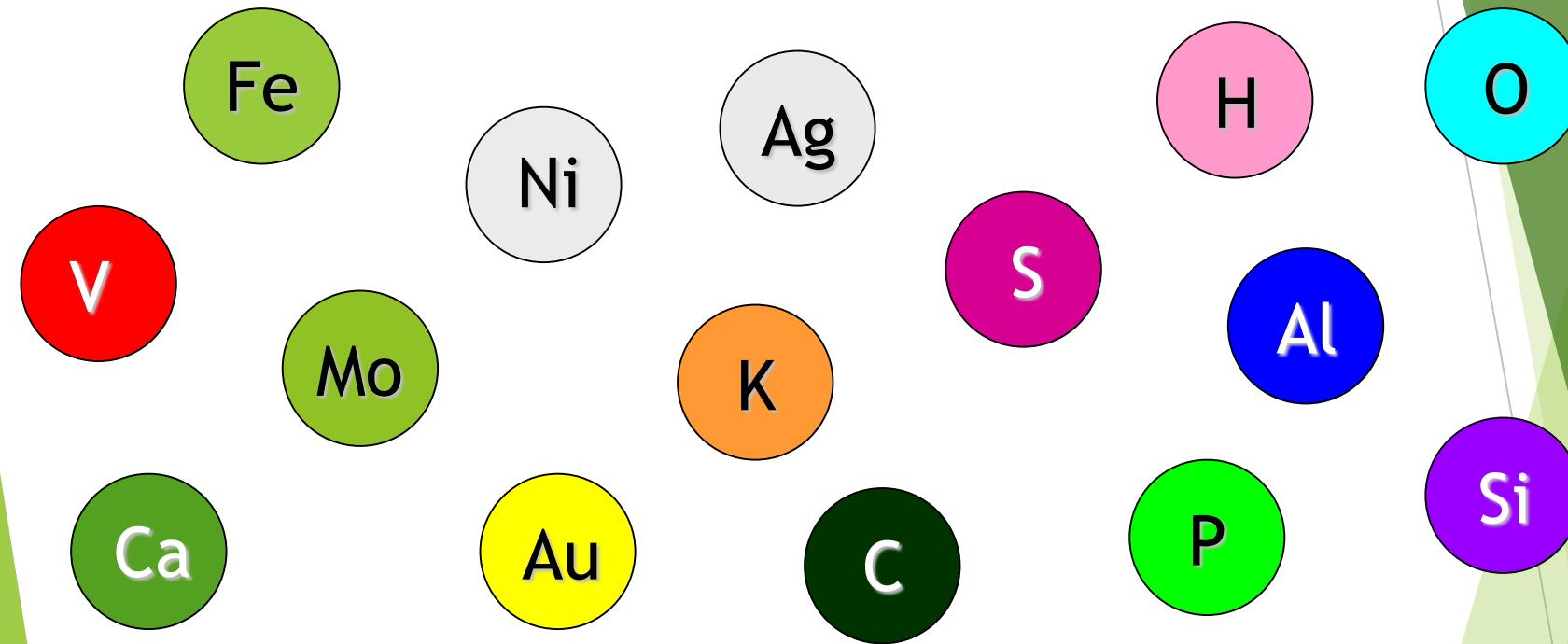
O que é um material?

Um material nada mais é que
um “amontoado” de átomos



Requisitos básicos
para “ser” um material

Átomos



São os “ingredientes” constituintes dos materiais

Átomos - Classificação

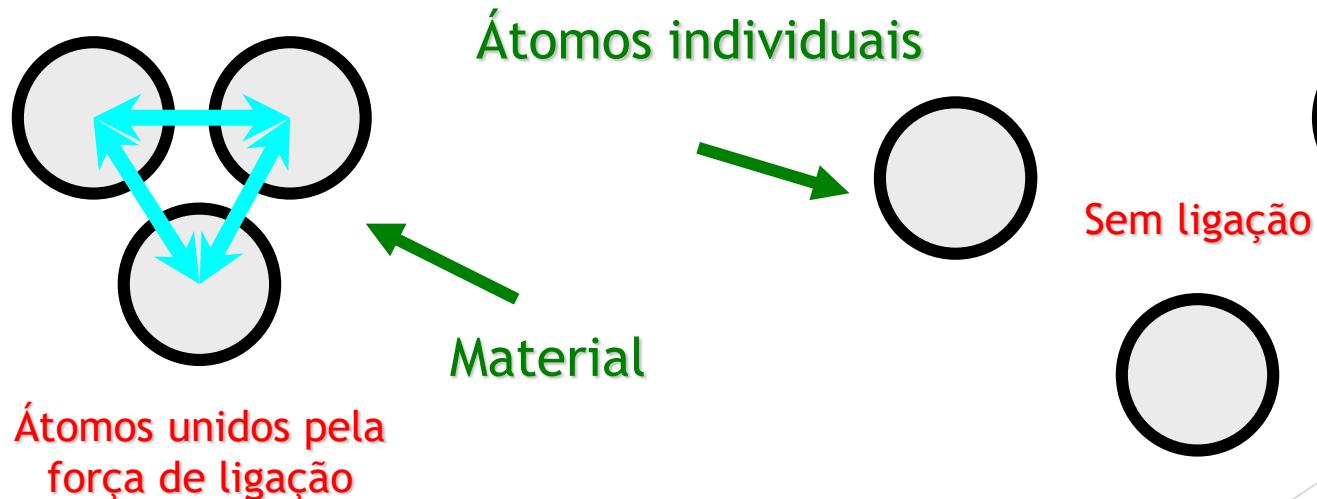
1A												8A																																						
1	H Hidrogênio	2A											2	He Hélio																																				
1	3 Li Lítio	4 Be Berílio	5 Na Sódio	12 Mg Magnésio	3B	4B	5B	6B	7B	8B	1B	2B	5 B Boro	6 C Carbono	7 N Nitrogênio	8 O Oxigênio	9 F Flúor	10 Ne Neônio																																
2	11 K Potássio	20 Ca Cálcio	21 Sc Escândio	22 Ti Titânio	23 V Vanádio	24 Cr Cromo	25 Mn Manganês	26 Fe Ferro	27 Co Cobalto	28 Ni Níquel	29 Cu Cobre	30 Zn Zinco	13 Al Alumínio	14 Si Silício	15 P Fósforo	16 S Enxofre	17 Cl Cloro	18 Ar Argônio																																
3	37 Rb Rubídio	38 Sr Estrôncio	39 Y Ítrio	40 Zr Zircônio	41 Nb Nióbio	42 Mo Molibdênio	43 Tc Tecnécio	44 Ru Rutênia	45 Rh Ródio	46 Pd Paládio	47 Ag Prata	48 Cd Cádmio	31 Ga Gálio	32 Ge Germânio	33 As Arsênio	34 Se Selênio	35 Br Bromo	36 Kr Cripitônio																																
4	55 Cs Césio	56 Ba Bárho	57-71 ** Rutherford... Frâncio	72 Hf Háfnio	73 Ta Tântalo	74 W Tungstênio	75 Re Rénio	76 Os Ósmio	77 Ir Irídio	78 Pt Platina	79 Au Ouro	80 Hg Mercúrio	49 In Índio	50 Sn Estanho	51 Sb Antimônio	52 Te Telúrio	53 I Iodo	54 Xe Xenônio																																
5	87 Fr Frâncio	88 Ra Rádio	89-103 ** Rutherford... Frâncio	104 Rf Dúbrnio	105 Db Seabórgio	106 Sg Bóhrio	107 Bh Hássio	108 Hs Meitnério	109 Mt Darmstádio	110 Ds Roentgénio	111 Rg Copernício	112 Cn Ununtríio	113 Uut Fleróvio	114 Fl Ununpentíio	115 Uup Livermório	116 Lv Ununséptio	117 Uuo Ununoctíio	118 Uuo Ununoctíio																																
Nº Atômico		<table border="1"> <tr> <td>*</td><td>57 La Lantânio</td><td>58 Ce Cério</td><td>59 Pr Praseodímio</td><td>60 Nd Neodímio</td><td>61 Pm Promécio</td><td>62 Sm Samário</td><td>63 Eu Europio</td><td>64 Gd Gadolíno</td><td>65 Tb Térbio</td><td>66 Dy Disprósio</td><td>67 Ho Hólmio</td><td>68 Er Érbio</td><td>69 Tm Túlio</td><td>70 Yb Itérbio</td><td>71 Lu Lutécio</td></tr> <tr> <td>**</td><td>89 Ac Actínio</td><td>90 Th Tório</td><td>91 Pa Protactínio</td><td>92 U Urânia</td><td>93 Np Neptúnio</td><td>94 Pu Plutônio</td><td>95 Am Americio</td><td>96 Cm Cúrio</td><td>97 Bk Berquélio</td><td>98 Cf Califórnia</td><td>99 Es Einstênia</td><td>100 Fm Férmino</td><td>101 Md Mandelévio</td><td>102 No Nobelélio</td><td>103 Lr Lauréncio</td></tr> </table>																	*	57 La Lantânio	58 Ce Cério	59 Pr Praseodímio	60 Nd Neodímio	61 Pm Promécio	62 Sm Samário	63 Eu Europio	64 Gd Gadolíno	65 Tb Térbio	66 Dy Disprósio	67 Ho Hólmio	68 Er Érbio	69 Tm Túlio	70 Yb Itérbio	71 Lu Lutécio	**	89 Ac Actínio	90 Th Tório	91 Pa Protactínio	92 U Urânia	93 Np Neptúnio	94 Pu Plutônio	95 Am Americio	96 Cm Cúrio	97 Bk Berquélio	98 Cf Califórnia	99 Es Einstênia	100 Fm Férmino	101 Md Mandelévio	102 No Nobelélio	103 Lr Lauréncio
*	57 La Lantânio	58 Ce Cério	59 Pr Praseodímio	60 Nd Neodímio	61 Pm Promécio	62 Sm Samário	63 Eu Europio	64 Gd Gadolíno	65 Tb Térbio	66 Dy Disprósio	67 Ho Hólmio	68 Er Érbio	69 Tm Túlio	70 Yb Itérbio	71 Lu Lutécio																																			
**	89 Ac Actínio	90 Th Tório	91 Pa Protactínio	92 U Urânia	93 Np Neptúnio	94 Pu Plutônio	95 Am Americio	96 Cm Cúrio	97 Bk Berquélio	98 Cf Califórnia	99 Es Einstênia	100 Fm Férmino	101 Md Mandelévio	102 No Nobelélio	103 Lr Lauréncio																																			

Tabela periódica dos elementos

Como os átomos se unem?

Ligação química

Força de atração interatômica que faz com que os átomos permaneçam unidos



Como os átomos se unem?

Ligaçāo química

Ligações Fortes

- Ligação Iônica (340-800 kJ/mol)
- Ligação Covalente (270-610 kJ/mol)
- Ligação Metálica (20-240 kJ/mol)

Ligações Fracas

- Van der Walls (<40 kJ/mol)
- Ligações de Hidrogênio

Evolução do uso dos materiais

Pele de animais e madeira



>10.000 a.C.

Evolução do uso dos materiais

Lança de pedra



10.000 a.C.

Cerâmica



5.000 a.C.

Bronze



2.000 a.C.

Evolução do uso dos materiais

Aço



1.000 a.C.

Cerâmicas de Engenharia



Século XX

Superligas
de Ni



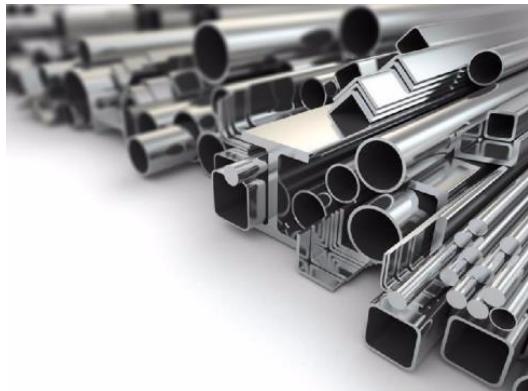
Século XX



Século XXI

Evolução do uso dos materiais

Alumínio



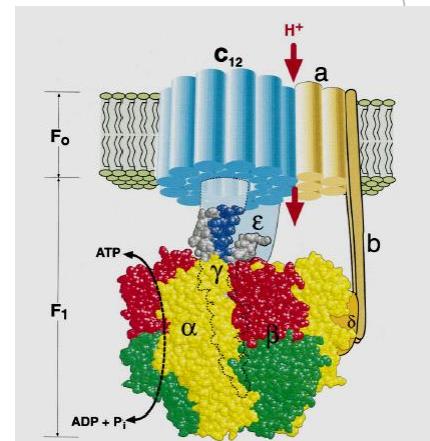
Século XXI

Titânio



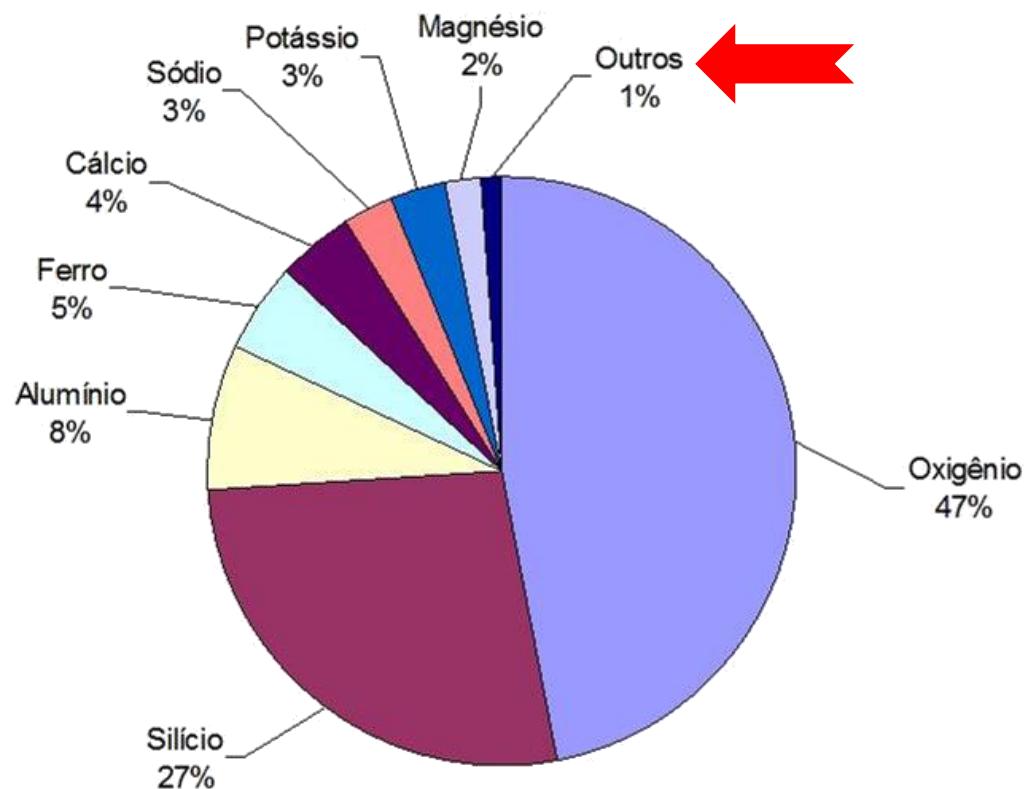
Século XXI

Nanotecnologia



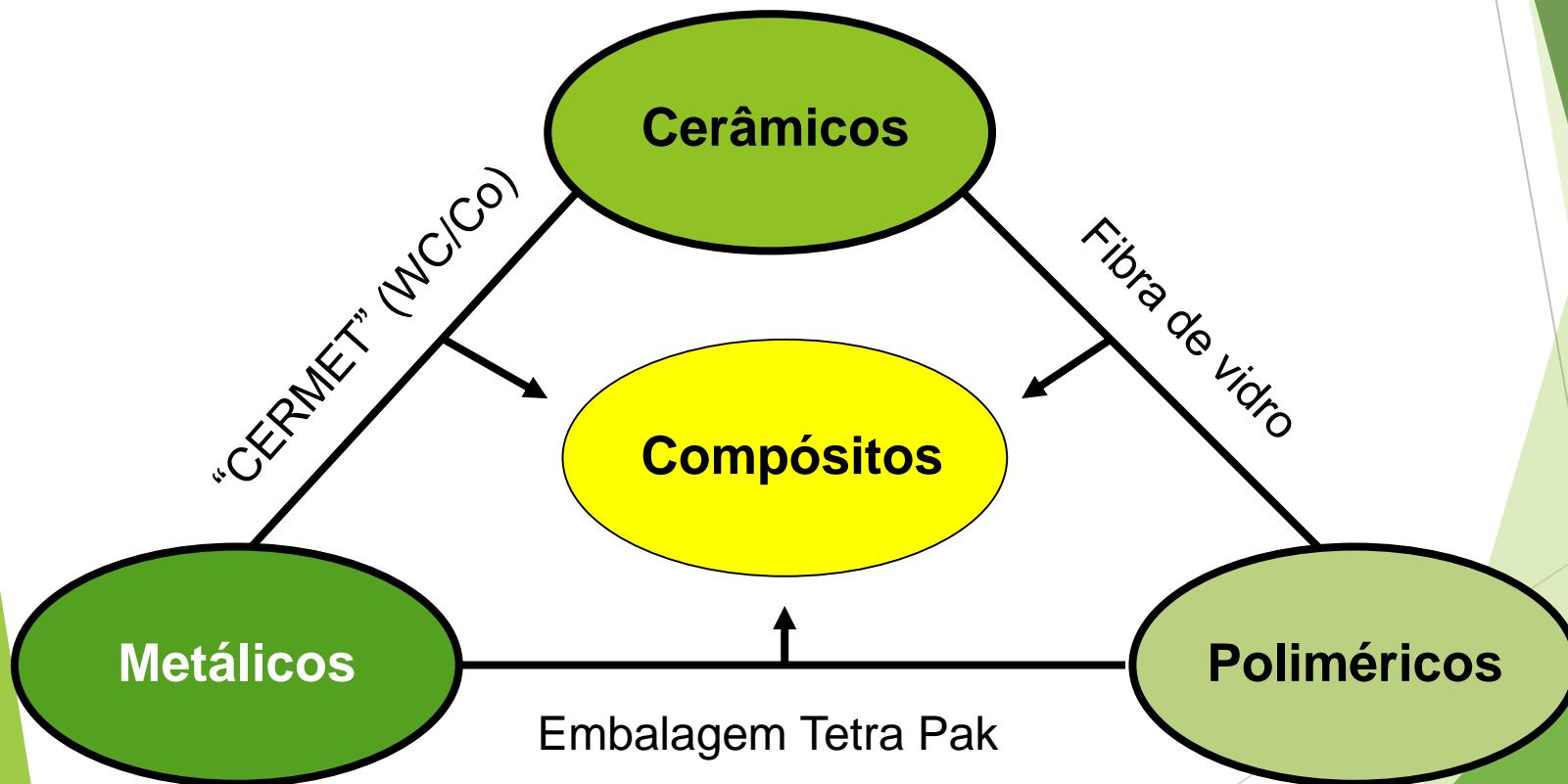
Século XXI

Disponibilidade dos materiais



Dentre todos os elementos químicos presentes na crosta terrestre, 8 elementos representam 99% do total!

**Tradicionalmente os materiais
podem ser classificados em 4
grupos básicos:**



Classificação - Átomos x Materiais

Átomos

- Metais
- Não Metais
- Semi-metais
- Gases nobres

Materiais

- Metálicos
- Cerâmicos
- Poliméricos
- Compósitos

Materiais Metálicos



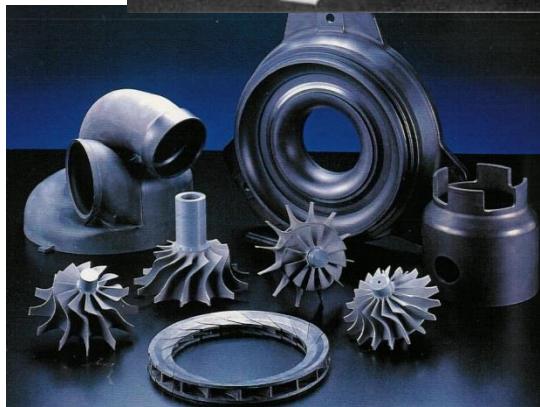
Características Gerais

- Possuem brilho
- Boa condutividade térmica e elétrica
- Boa maleabilidade
- Ponto de fusão médio
- Dureza média
- Boa tenacidade
- Em geral, resistência à corrosão é ruim
- Em geral, densidade alta

Materiais Metálicos

Tipos	Exemplos
• Metais Ferrosos	• Aço, Ferro fundido
• Metais leves	• Alumínio, Titânio, Berílio
• Metais de baixo ponto de fusão	• Chumbo, Estanho, Zinco
• Metais nobres	• Ouro, Prata, Platina
• Metais refratários	• Tungstênio, Molibdênio
• Metais resistentes à corrosão	• Cobre, Latão (Cu + Zn), Bronze (Cu + Sn), Níquel

Materiais Cerâmicos



Características Gerais

- Em geral opacos, mas podem ser transparentes
- Bons isolantes térmicos e elétricos
- Frágeis
- Dureza elevada
- Ponto de fusão elevado
- Maleabilidade ruim
- Boa resistência à corrosão
- Densidade média

Materiais Cerâmicos

Tipos	Exemplos
• Cerâmica Tradicional	• Tijolo, azulejo, porcelana, vidro
• Cerâmica Avançada	• Diamante, óxido de zircônio, óxido de alumínio, carboneto de silício
• Revestimento Cerâmico	• Nitretos de ferro, boretos de ferro, etc.

Materiais Poliméricos



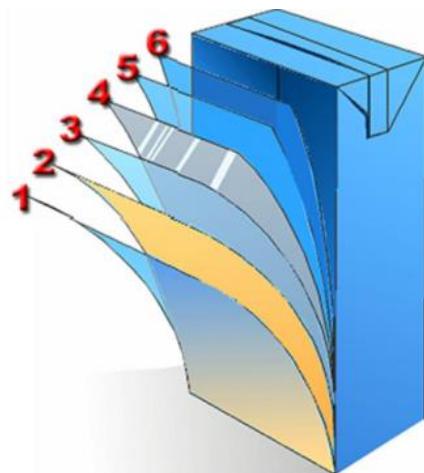
Características Gerais

- Em geral opacos, mas podem ser transparentes
- Bons isolantes térmicos e elétricos
- Boa plasticidade e elasticidade
- Baixa dureza
- Baixo ponto de fusão
- Resistência à corrosão média
- Baixa densidade

Materiais Poliméricos

Tipos	Exemplos
• Naturais	• Látex, amido, celulose, quitina, colágeno
• Sintéticos	• Acrílico, poliestireno (isopor), PVC, policarbonato, poliamida (kevlar, náilon), poliéster (tergal, PET), polifenol (baquelite), silicone, teflon

Materiais Compósitos



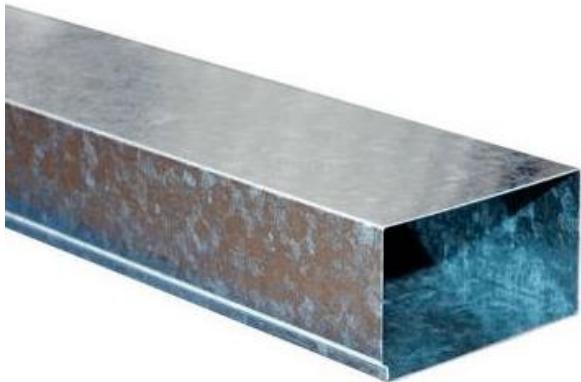
Características Gerais

- São materiais produzidos de modo a se obter uma otimização de propriedades;
- Existem propriedades que não se consegue obter em um único material, logo, é necessário unir as melhores propriedades de cada material em um terceiro.

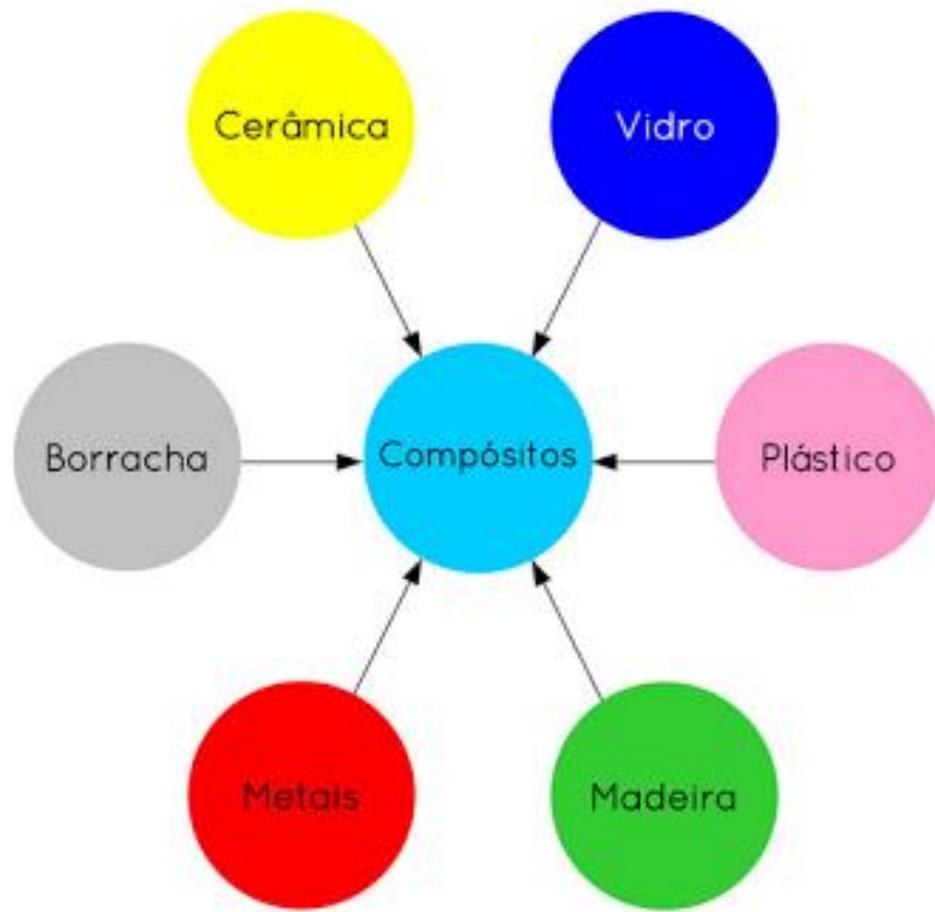
Materiais Compósitos

Tipos	Exemplos
• Mesma classe	• Folha de flandres (Fe-Sn), aços galvanizados (Aço-Zn)
• Classes distintas	• Pneu, embalagem tetrapak, fibra de carbono, fibra de vidro, fio condutor de eletricidade com isolante, próteses de ligas metálicas recobertas com uma camada de material cerâmico poroso.

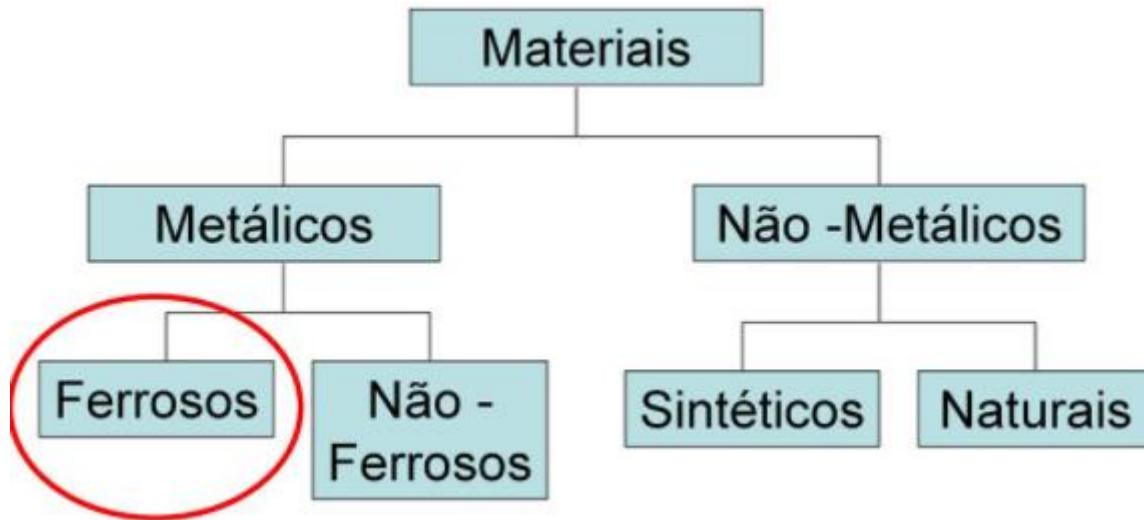
Materiais Compósitos



Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos



Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos



Os metais desempenham papel importante nos projetos de engenharia, especialmente como elementos estruturais.

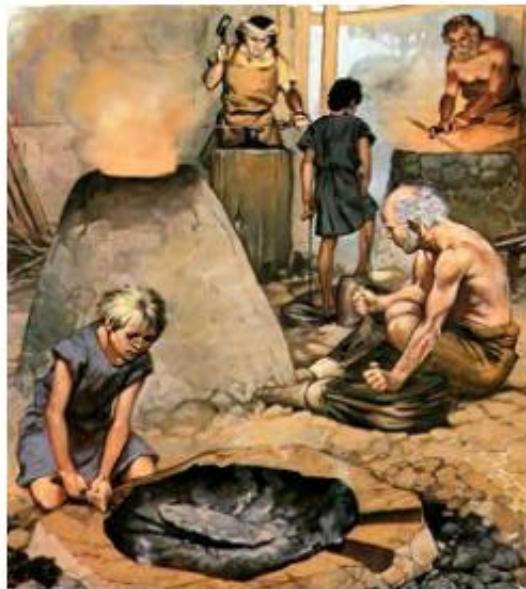
Mais de 90%, em peso, dos materiais usados em engenharia são baseados em ferro, ou em ligas ferrosas. (aços ou ferros fundidos)

Por quê utilizamos tanto o ferro e suas ligas ???



Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

➤ **Motivos históricos:** Na **Idade do Ferro** (1200 a.C.) havia um domínio tecnológico rudimentar que permitia a obtenção de peças metálicas a partir de minerais, usados na fabricação de adornos, armas e ferramentas.



Fusão do ferro por métodos primitivos.



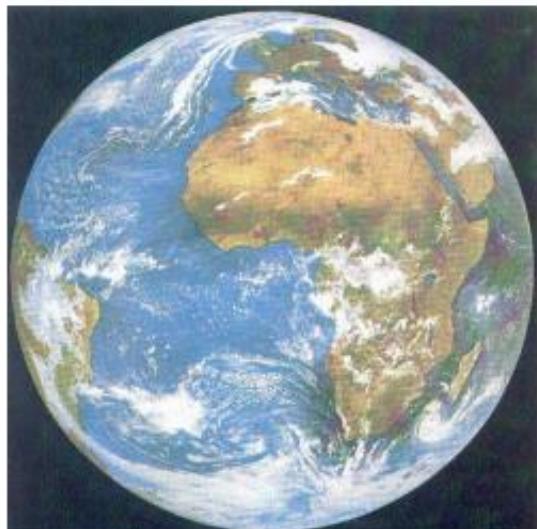
Fragmento de lâmina celta (século I a.C.).



Espada feita entre os séculos VIII e IX.

Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

➤ **Disponibilidade:** A abundância do elemento **Ferro** na crosta terrestre garante o suprimento do metal durante séculos, considerando os atuais níveis de consumo.



Os quatro elementos mais abundantes compõem mais de 90% da litosfera.

Crosta Terrestre:

1º) Oxigênio

2º) Silício

3º) Alumínio

4º) Ferro



Minérios

Magnetita – Fe_3O_4 (74%)

Hematita – Fe_2O_3 (70%)

Limonita – $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (60%)

Siderita – FeCO_3 (48%)

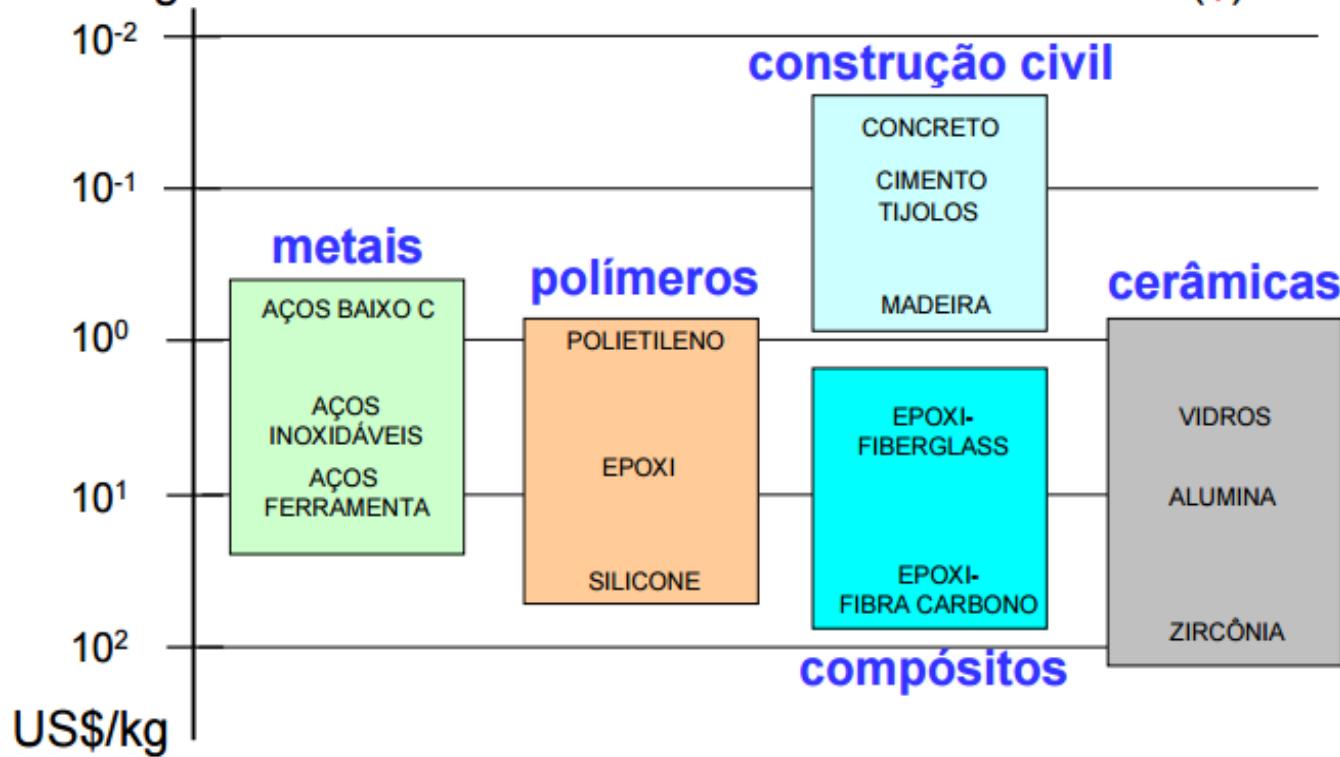
Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

➤ **Propriedades Mecânicas:** aplicações nas mais variadas áreas da engenharia moderna.



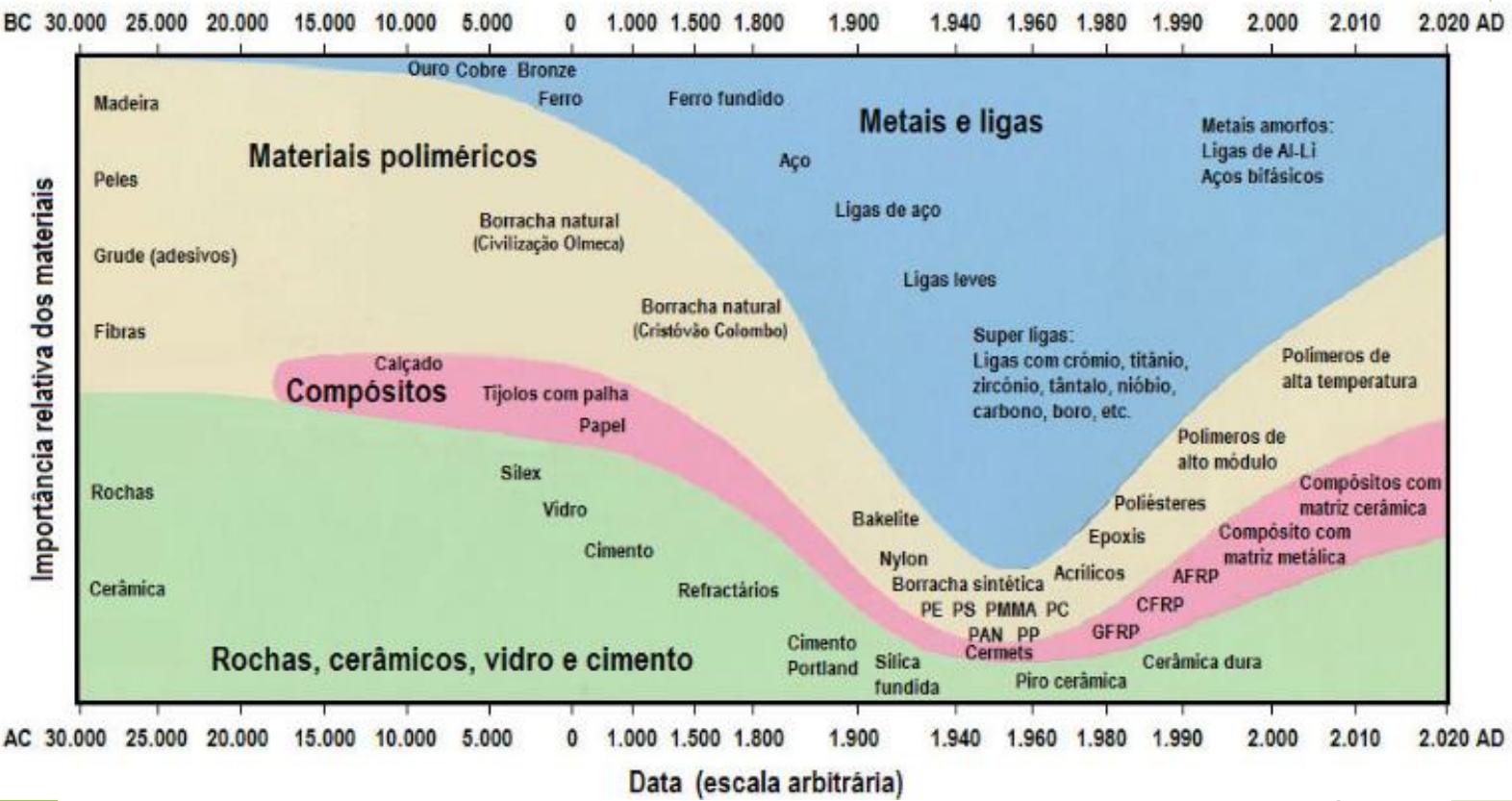
Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

➤ **Baixo Custo:** A disponibilidade de matéria prima e a extensiva aplicação das **ligas ferrosas** (aços e ferros fundidos) na engenharia moderna torna esses materiais viáveis (\$).



Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

Importância relativa dos materiais ao longo do tempo



Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

Dentre os parâmetros fundamentais para a seleção adequada do material a ser empregado em um determinado elemento de máquina em fase de projeto, citam-se:

Peso (P), o qual está intimamente associado ao conceito de densidade ($\rho = P/V$);

Resistência, seja ela, à tração (σ_T), compressão (σ_C) ou cisalhamento (τ), ou uma associação destas.

Resistência específica, ou seja, a resistência por unidade de peso específica. (σ_T / ρ , por exemplo)

Rigidez, a qual pode ser entendida como uma medida da deformação sofrida por um material antes de atingir o escoamento ao se aplicar uma carga.

Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

- Aços Carbono e de Baixa Liga

- Aços Carbono → não apresentam elementos de liga, exceção feita aos elementos residuais: Si, Mn, P e S.
- Aços de Baixa Liga → exibem, no máximo, entre 3 à 3,5%.
- A resistência aumenta com o teor de Carbono.
- A ductilidade diminui com o teor de Carbono.



Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

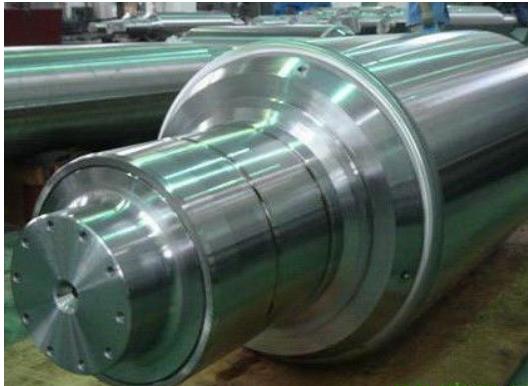
- Aços Carbono e de Baixa Liga
 - São aços, em geral, de baixa dureza.
 - Oxidam-se facilmente.
 - Suas propriedades deterioram-se a baixas e altas temperaturas.
 - Constituem-se na maioria das ligas ferrosas, pois possuem preço moderado, devido à ausência dos elementos de liga, e são suficientemente dúcteis para serem conformados.



Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

- Aços Carbono e de Baixa Liga

- Dentre suas aplicações típicas estão as chapas automobilísticas, perfis estruturais e placas utilizadas na fabricação de tubos, construção civil, pontes e latas de folhas-de-flandres.
- Em relação aos elementos de máquinas são utilizados na confecção de eixos, engrenagens e pequenas ferramentas.
- Nomenclatura. 



Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

- Aços de Alta Liga

Aços Inoxidáveis

- A adição de elementos de liga precisa ser feita com cuidado e justificadamente, pois os mesmos são caros.
- Os aços inoxidáveis exigem a adição de elementos de liga para minimizar o ataque em atmosferas corrosivas, devido, principalmente, a presença do cromo. A quantidade mínima requerida é de 4%, porém, geralmente, encontra-se acima de 10%.
- Sua resistência à oxidação deve-se a formação de um óxido protetor que impede o contato do metal base com a atmosfera agressiva.
- Outros elementos, tais como, Ni, Mo, Cu, Ti, Al, Si, Nb e Se podem ser adicionados para obter características mecânicas particulares.

Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

- Aços de Alta Liga

Aços Inoxidáveis

- Existem 5 tipos de aços inoxidáveis:
 - Aços inoxidáveis Austeníticos;
 - Aços inoxidáveis Ferríticos;
 - Aços inoxidáveis Martensíticos;
 - Aços inoxidáveis Duplex (Austenita + Ferrita);
 - Aços inoxidáveis com endurecimento por precipitação.
- Nomenclatura. 

Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

- Aços de Alta Liga

Aços Inoxidáveis

- São utilizados em plataformas para extração de petróleo, na indústria farmacêutica, de laticínios, de refrigerantes e cervejas, na indústria naval, na manufatura de “stent” cardiológicos, em equipamentos de ressonância magnética, em catalisadores automobilísticos, na construção civil, na manufatura de relógios, tesouras e bisturis cirúrgicos, cozinhas industriais, entre outras aplicações.
- Em relação aos elementos de máquinas são empregados em peças sujeitas a corrosão atmosférica, em elementos para decoração, em tubulações e reservatórios, e em ferramentas e instrumentos de corte.

Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

- Aços de Alta Liga

Aços Inoxidáveis

Plataforma de Petróleo



Millenium Park - Chicago (EUA)



Edifício Sede da VIVO - Rio (Brasil)

Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

- Aços de Alta Liga

Aços Inoxidáveis

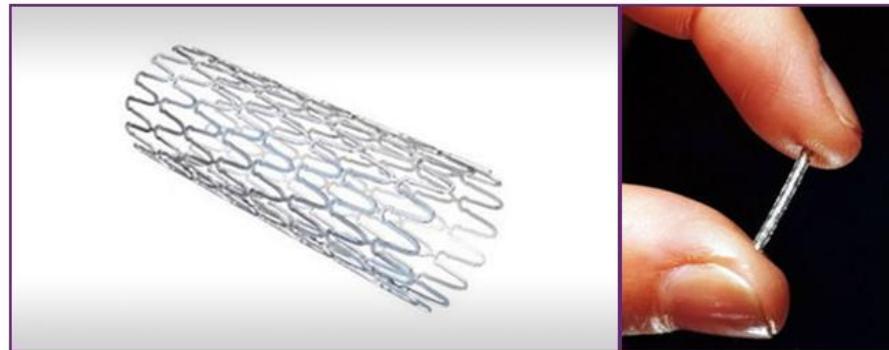


Equipamentos em aço inoxidável eletro-polido utilizados na indústria farmacêutica.

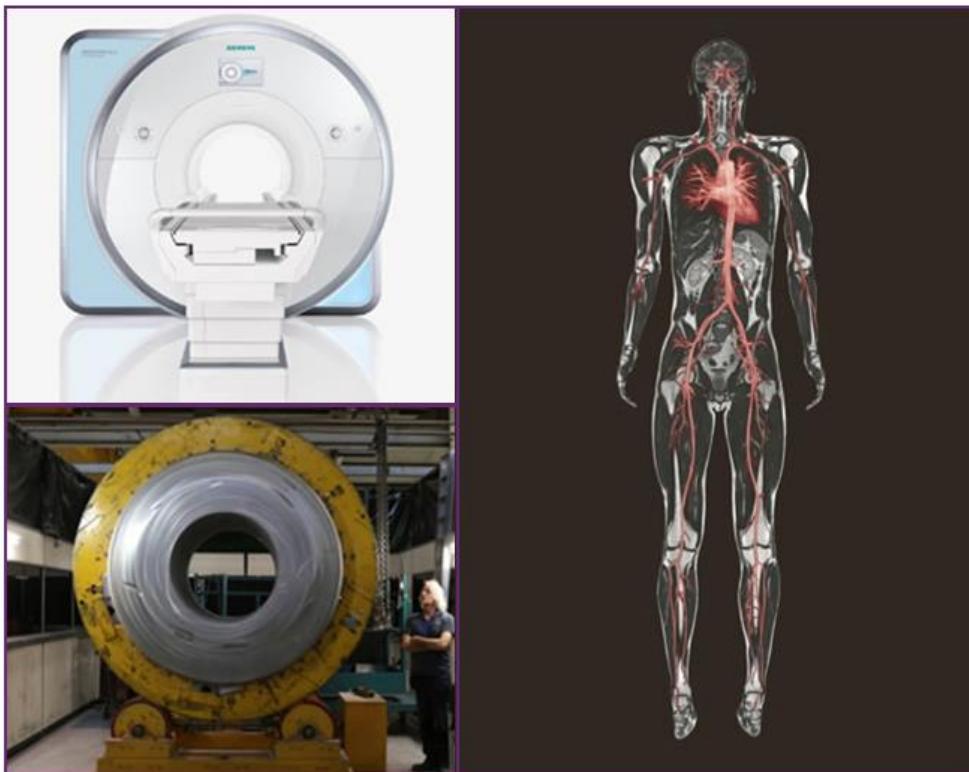


Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

- Aços de Alta Liga
Aços Inoxidáveis



Stent



Equipamento de ressonância magnética

Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

- Aços de Alta Liga

Aços Inoxidáveis



Tesouras cirúrgicas
(Courtesy of Plymouth Hospitals NHS Trust)



Bisturís
(Courtesy of Plymouth Hospitals NHS Trust)

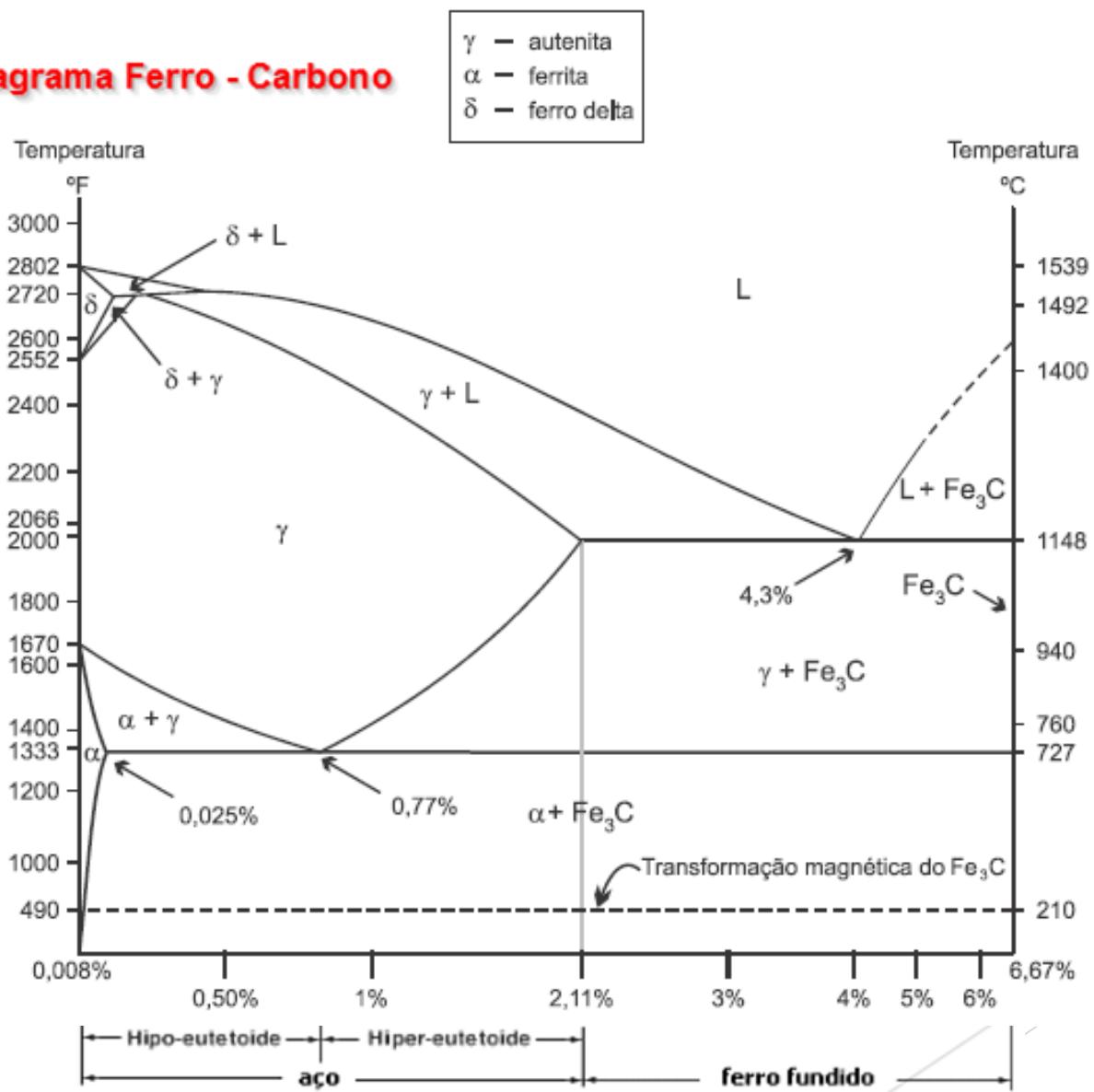
Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

- **Ferros Fundidos**

- Por definição, Ferro Fundido são ligas de ferro que contém mais de 2,11% em peso de carbono.
- Em geral, contém até 3% de Si.
- Os Ferros Fundidos possuem temperaturas de fusão relativamente baixas (cerca de 1200°C) e viscosidade na fase líquida.
- Os aços em geral exibem ponto de fusão acima de 1470°C e os inoxidáveis da ordem de 1510°C.
- Normalmente a forma final é obtida através de moldes e as propriedades mecânicas inferiores devem-se a uma microestrutura menos uniforme e alguma porosidade.

Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

Diagrama Ferro - Carbono



Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

- Ferros Fundidos

- Existem 4 tipos de Ferros Fundidos:
 - Ferro Fundido Branco (caracterizado por possuir uma superfície de fratura branca; possui grandes quantidades de cementita, gerando um material duro e frágil);
 - Ferro Fundido Cinzento (caracterizado por possuir uma superfície de fratura cinzenta e frágil);
 - Ferro Fundido Dúctil/Nodular (apresenta boa ductilidade e resistência);
 - Ferro Fundido Maleável (apresenta ductilidade razoável, sendo inicialmente fundido como branco e, depois, tratado termicamente).

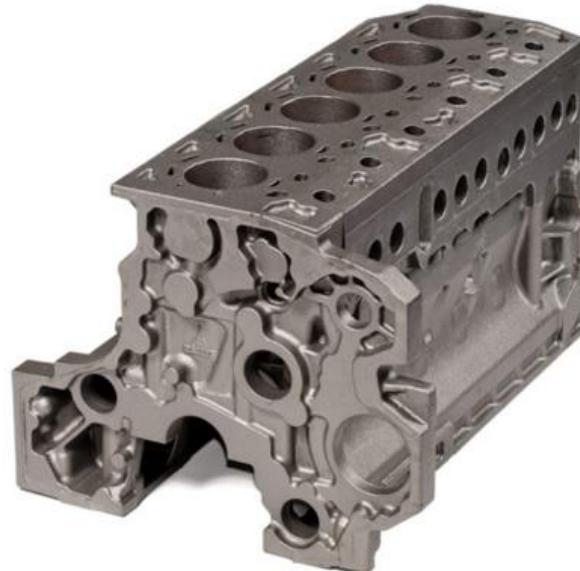
Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

- Ferros Fundidos

- Aplicação:
- Branco: Fabricação de equipamentos para a moagem de minérios, pás de escavadeiras, rodas de trem e outros componentes similares.
- Cinzento: Uso geral em aplicações com reduzida solicitação mecânica, componente estruturais e/ou estáticos de máquinas ou construções mecânicas/civis: carcaças, tampas, bases, contrapesos, calços, etc.
- Dúctil: Utilizado em componentes mecânicos que são submetidos a cargas moderadas. Indicado, também, para serviços em altas temperaturas: grelhas, cubos de rodas, tambores, etc.
- Maleável: Empregado em conexões para tubulação hidráulicas, conexões para linhas de transmissão elétrica, sapatas de freios, etc.

Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

- Ferros Fundidos



Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

- Ferros Fundidos



Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

- Ligas de Alumínio
 - São conhecidas por sua baixa densidade e resistência à corrosão;
 - A condutividade elétrica, fabricabilidade e aparência, também, são características relevantes; (PF : 660°C)
 - A baixa densidade do Al proporcionou sua utilização em larga escala na indústria automobilística, aonde o uso da ligas de Al em conjunto com o uso de polímeros e compósitos, reduziu o peso total do veículo e, por consequência, o consumo de combustível;
 - As reservas mundiais de Al são significativas e a reciclagem é simples, no entanto o processo de transformação da bauxita em alumínio metálico (lingotes e chapas planas) é custoso e complexo, pois são requeridas 2 etapas (processo Bayer → alumínio primário, e o processo Hall-Heroult → redução do alumínio);
 - As principais ligas são obtidas em associação com Cu, Mn, Si, Mg e Zn.

Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

- Ligas de Alumínio
 - Aplicação: utensílios de cozinha, perfis, chassis, embalagens, aeropartes, autopeças, tratamento de água, etc.



Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

- Ligas de Alumínio
 - Aplicação: utensílios de cozinha, perfis, chassis, embalagens, aeropartes, autopeças, tratamento de água, etc.



Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

- Ligas de Magnésio

- As ligas de magnésio possuem densidade ainda menor que as de alumínio e, como resultado, aparecem em diversas aplicações estruturais como projetos aeroespaciais; (PF : 650°C)
- Suas ligas são usadas em fundições de peças estruturais, fabricadas por processo de fundição e/ou conformação mecânica (laminação, forjamento ou extrusão). Trata-se de metal com uso crescente na indústria automobilística, ferramentas manuais e equipamentos eletrônicos, como computadores e celulares, sempre priorizando a leveza do produto final;
- Além da baixa densidade, possuem alta resistência, dureza em baixas e altas temperaturas e elevada resistência à corrosão em temperatura ambiente. Essas características fazem com que elas se tornem adequadas à fabricação de peças de embreagem, suporte de pedal de freio, trava de coluna de direção, etc.;
- Aplicação: aeropartes, autopeças, bicicletas, etc.

Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

- Ligas de Magnésio

Rodas de motocicletas em liga de magnésio forjadas



Pedais para bicicletas de alto desempenho em liga de magnésio forjada



Rodas automotivas em liga de magnésio forjada



Peças para a indústria aeronáutica



Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

- Ligas de Magnésio



Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

- Ligas de Titânio

- O titânio é um metal não-ferroso que ganhou importância estratégica há somente 40 anos por sua alta resistência mecânica, alta resistência à corrosão e ter por volta de 55% da densidade do aço. O fato mais interessante a respeito do titânio é que, embora ele exista em grande quantidade na crosta terrestre, o custo de sua obtenção é muito alto; (PF : 1668°C)
- Em contato com o ar, forma-se em sua superfície um óxido impermeável e protetor muito importante se ele estiver em um meio corrosivo. Daí sua propriedade mais relevante: a resistência à corrosão da água do mar e outras soluções de cloretos, hipocloritos, cloro úmido e ácido nítrico. Essa qualidade torna-o ideal para a fabricação de próteses humanas tais como componentes de válvulas cardíacas, placas e pinos para unir ossos, pois os fluidos que existem dentro do nosso corpo são soluções salinas, com PH ácido. Elas também contêm outros ácidos orgânicos aos quais o titânio é imune.

Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

- Ligas de Titânio
 - Ligas de Ti com Al, Mo, Va, Sn e Ni são utilizados em estruturas espaciais, aviões e tubulações na indústria química, além de geradores de turbinas a gás e vapor, ou aeronáuticas;



Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

- Ligas de Titânio



Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

- Ligas de Cobre

- Sua excelente condutividade elétrica as tornam o principal material empregado em instalações elétricas;
- Sua condutividade térmica a qualifica para o uso em radiadores e trocadores de calor;
- Possui boa resistência a corrosão, especialmente em ambientes marinhos, além disso, sua coloração faz com que o mesmo seja utilizado em detalhes arquitetônicos; (PF : 1085°C)
- Vamos começar nosso estudo pela liga mais antiga que se conhece: o bronze. Formado por cobre (Cu) e estanho (Sn), foi descoberto provavelmente por puro acaso, pois esses metais podem ser encontrados juntos na natureza. Isso aconteceu por volta de 4000 a.C. no Oriente Médio.
- Hoje o bronze é uma associação de Cu + Sn, Al, Si, Ni.

Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

- Ligas de Cobre

- O latão é a liga de cobre (Cu) e zinco (Zn) utilizada no acabamento de móveis e fechaduras, porém, pode-se adicionar outros elementos.
- Os latões de Sn são empregados em tubos de condensadores, já os de Si são utilizados em válvulas, bombas e engrenagens.



Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

- Ligas de Cobre



Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

- **Ligas de Níquel**

- Para a composição de ligas, o níquel pode receber adições de cobre (Ni-Cu), silício (Ni-Si) ou molibdênio (Ni-Mo). Pode também formar ligas com cromo e ferro (Ni-Cr-Fe) e cromo e molibdênio (Ni-Cr-Mo). Ou ainda, com cromo, ferro, molibdênio e cobre (Ni-Cr-Fe-Mo-Cu); (PF: 1453°C)
- Como já dissemos, devido ao alto custo, os metais não-ferrosos e suas respectivas ligas têm uso limitado a aplicações especiais. **No caso do níquel, por exemplo, as ligas custam de vinte a cem vezes mais que os aços inoxidáveis.** Isso torna seu uso limitado a aplicações especiais tais como: turbinas de aviões, caldeiras de vapor, turbocompressores e válvulas de exaustão de motores, ferramentas para injeção e trabalho a quente, equipamentos para tratamento térmico, etc.;
- São aplicações que precisam de características como alta resistência à corrosão e ao calor.

Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

- Ligas de Níquel
 - Graças às suas propriedades mecânicas e sua resistência à corrosão, estas ligas são empregadas na confecção de válvulas, bombas, trocadores de calor, eixos, molas, pás de turbinas e no processamento de produtos químicos.



Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

- Ligas de Níquel



Eixos - Indústria Automotiva



Inconel 625 (Ni-Cr-Mo)

Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

- Zinco, Chumbo e outras ligas
 - As ligas de Zinco são mais adequadas para fundição em molde, pois exibem baixo Ponto de Fusão e ausência de reação corrosiva com cadinhos e moldes de aço; (PF: 419°C)
 - Um exemplo típico de aplicação são revestimentos em ligas ferrosas como proteção anticorrosiva;
 - As ligas de Chumbo são duráveis e versáteis; (PF: 327°C)
 - São utilizados em malhas de baterias, soldas, blindagem contra radiação e estruturas de controle acústico;
 - No entanto, a toxicidade do chumbo limita sua aplicação;
 - Metais refratários (Mo, Nb, Ta e W) resistentes a altas temperaturas são utilizados com restrições, pois sua reatividade com o oxigênio exige que sejam trabalhados em atmosferas controladas;

Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

- Zinco, Chumbo e outras ligas
- Os metais preciosos (Au, Ag, Pt, Rh) possuem excelente resistência a corrosão;
- Circuitos em Au na indústria eletrônica, diversas ligas dentárias e revestimentos em Pt para conversores catalíticos são alguns exemplos de aplicação.



Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

- Zinco, Chumbo e outras ligas

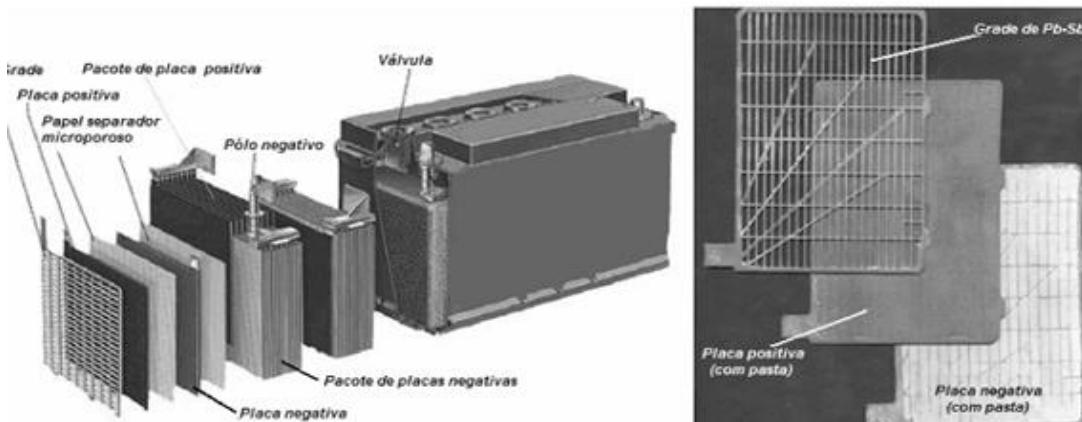
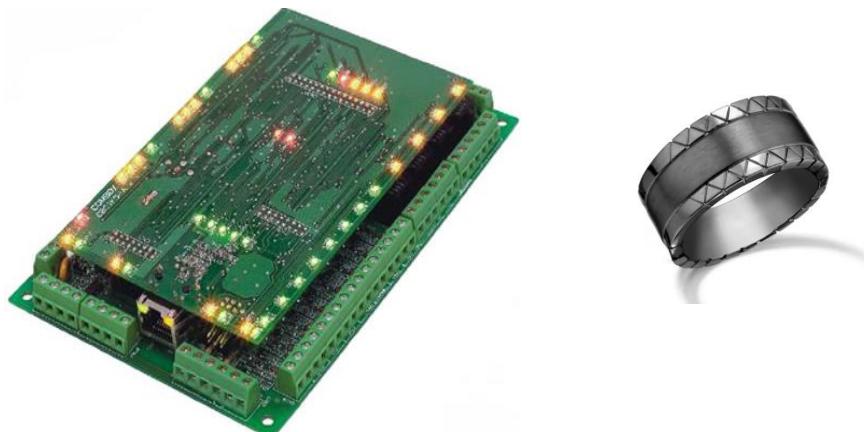


Figura 1: Representação esquemática de uma bateria ácido-chumbo evidenciando a grade e as placas positivas e negativas fabricadas em Pb-Sb.



Materiais Ferrosos e Não-Ferrosos

- Ouro, Prata e Platina
(Metais Nobres)



Ouro branco	vs	Platina
Custo inferior à platina	✓	X
Sua tonalidade branca não é natural	X	✓
Precisa de manutenção do banho de ródio	X	✓
Requer mais cuidado com o uso diário	X	✓
É mais leve do que a platina	✓	X
Grande variedade de modelos de aliança em ouro branco	✓	X



Curiosidade (Preço - US\$/ton.): **(Ago/21)**



Cu – US\$ 9476

Zn – US\$ 2997

Al – US\$ 2596

Pb – US\$ 2398

Sn – US\$ 36221

Ni – US\$ 19305

Fe – US\$ 168

Nb – US\$ 45

