



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Covilhã | Portugal

Revisão de Conceitos relativos à Ciência dos Materiais

**Materiais de Construção Aeroespacial
(10368/10388/10408)**

2015

Pedro V. Gamboa

Departamento de Ciências Aeroespaciais

Tópicos

- Tipos de materiais.
- Estrutura e ligação atómica.
- Propriedades físicas fundamentais.

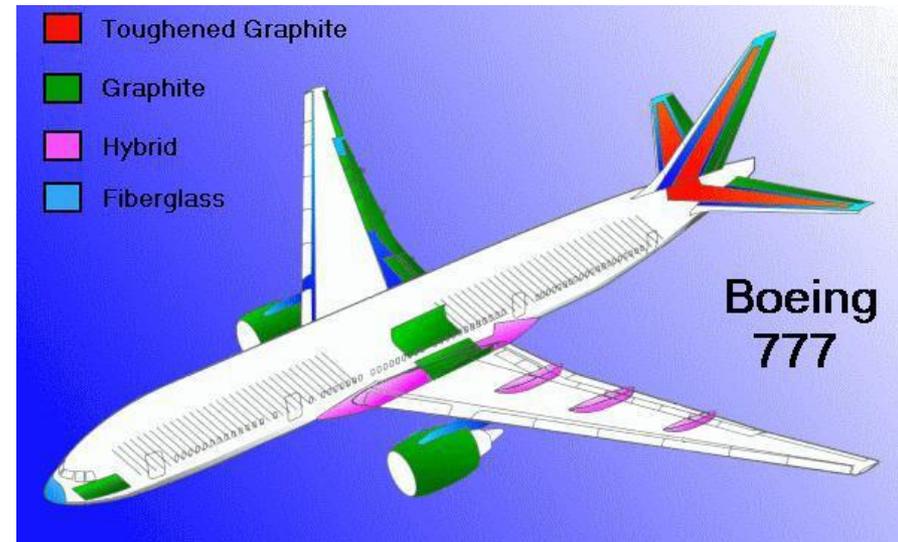
1. Tipos de Materiais

Os materiais de engenharia são, tradicionalmente, agrupados em três classes:

- Materiais metálicos
- Materiais poliméricos
- Materiais cerâmicos

Recentemente, e devido à sua crescente importância no contexto da indústria dos transportes, surgiu uma nova classe de materiais:

- Materiais compósitos



1. Tipos de Materiais

1.1. Materiais metálicos

- Substâncias inorgânicas que contêm um ou mais elementos metálicos (ex.: Fe, Ti, Ni, Al,...), podendo, também, conter elementos não metálicos (ex.: C, O, N, ...)
- Possuem uma estrutura cristalina ordenada (ligação metálica)
- São, geralmente, bons condutores térmicos e eléctricos
- São relativamente resistentes e dúcteis numa ampla gama de temperaturas



ferrosos: contêm uma elevada percentagem de ferro (ex.: aços e ferros fundidos)



não-ferrosos: sem ferro ou com uma percentagem pequena deste elemento (ex.: ligas alumínio, titânio, etc.)

1. Tipos de Materiais

1.2. Materiais poliméricos

- Constituídos por longas cadeias ou redes de moléculas orgânicas contendo combinações de **carbono, hidrogénio e outros elementos não metálicos**
- Estrutura tipicamente não-cristalina
- Geralmente são **maus condutores elétricos e térmicos**
- Podem ter baixas densidades e resistências mecânicas apreciáveis
- Fraca estabilidade a alta temperatura (com conseqüente prejuízo das propriedades mecânicas)

1. Tipos de Materiais

1.2. Materiais poliméricos



plásticos: materiais sintéticos processados por moldagem ou enformação de modo a adquirirem uma determinada forma



elastómeros: materiais do tipo “borracha” que podem sofrer grandes deformações elásticas mediante a aplicação de uma força



1. Tipos de Materiais

1.2. Materiais poliméricos

Tipos de polímeros plásticos:

- **Termoplásticos:** necessitam de aplicação de temperatura para ganharem forma, preservando-a após o arrefecimento. Podem ser reaquecidos e reenformados sucessivamente sem comprometimento das suas propriedades físicas (o que constitui uma vantagem de reutilização). São constituídos por longas cadeias principais de átomos de carbono ligados covalentemente.
 - Exemplos: poliamidas, polipropilenos, polietereterquetonas, polietersulfonas,...

1. Tipos de Materiais

1.2. Materiais poliméricos

Tipos de polímeros plásticos:

- **Termoendurecíveis:** adquirem uma forma permanente por aplicação de uma temperatura que induz um processo de cura (endurecimento do material por reacção química - fortes e rígidas ligações nas moléculas longas). Não podem ser reenformados por reaplicação de temperatura (não são reutilizáveis!).
 - Exemplos: poliésteres, poliimidas, bismaleimidas, resinas fenólicas e resinas epoxídicas.

1. Tipos de Materiais

1.2. Materiais cerâmicos

- São materiais **inorgânicos** constituídos por elementos **metálicos** e **não metálicos** ligados quimicamente entre si (ligações do tipo iónico e/ou covalente)
- Podem ser cristalinos, não cristalinos ou uma mistura de ambos
- Possuem elevada **dureza** e grande **resistência** a alta temperatura, apresentando, simultaneamente, um baixo peso e uma boa resistência ao desgaste
- São **frágeis** (pouca tenacidade e ductilidade)
- Pouca tolerância a danos (ausência de plastificação no processo de fissuração cíclica)
- Bons **isolantes térmicos e elétricos**



1. Tipos de Materiais

1.2. Materiais cerâmicos

- Elevadas temperaturas de fusão e **grande estabilidade química em ambientes agressivos**
- Nesta classificação podem incluir-se: argilas, cimentos e vidros

Alguns compostos cerâmicos simples e respectivos pontos de fusão

Composto cerâmico	Ponto de fusão (°C)	Composto cerâmico	Ponto de fusão (°C)
Carboneto de háfnio, HfC	4150	Carboneto de boro, B ₄ C	2450
Carboneto de titânio, TiC	3120	Óxido de alumínio, Al ₂ O ₃	2050
Carboneto de tungsténio, WC	2850	Dióxido de silício*, SiO ₂	1715
Óxido de magnésio, MgO	2798	Nitreto de silício, Si ₃ N ₄	1900
Carboneto de silício, SiC	2500	Dióxido de titânio, TiO ₂	1605



UBI
Covilhã
Portugal

1. Tipos de Materiais

1.2. Materiais cerâmicos

Revisão de Conceitos relativos à Ciência dos Materiais



1. Tipos de Materiais

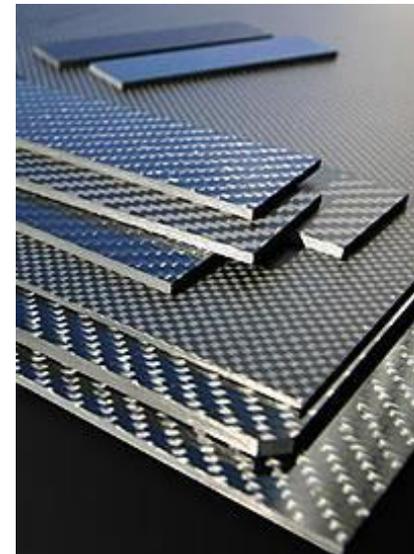
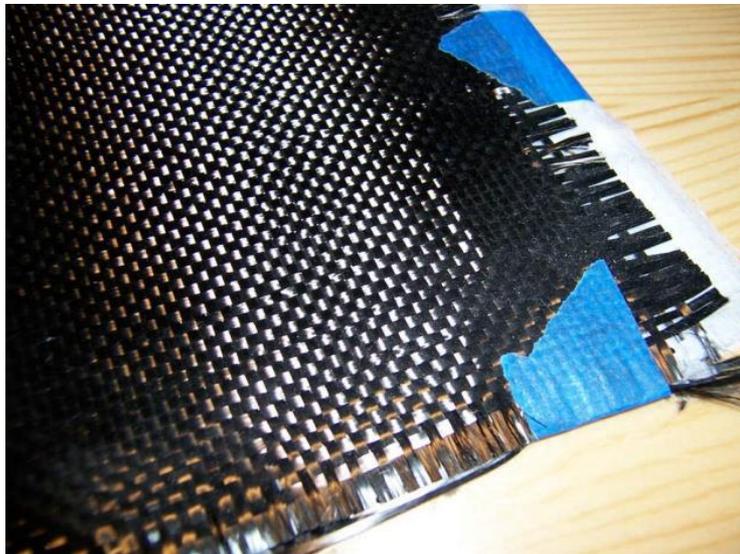
1.2. Materiais compósitos

- Compósito: material que abarca dois ou mais constituintes distintos e separados (com composições químicas diferentes), combinados de modo a garantirem um bom desempenho mecânico de todo o conjunto
- As propriedades globais de um compósito são, em regra, superiores às dos seus componentes (quando considerados individualmente)
- Exemplos de compósitos: plásticos reforçados com fibras, madeiras, estruturas em sandwich, metais/cerâmicas reforçados com fibras/partículas (MMC's/CMC's),...

1. Tipos de Materiais

1.2. Materiais compósitos

- No caso particular dos compósitos poliméricos, combina-se um material de reforço, normalmente ***fibras*** com alinhamentos intencionais ou filamentos de orientação aleatória, cuja agregação está garantida por um outro material de suporte a que chamamos ***matriz***





2. Estrutura e Propriedades

TIPO DE MATERIAL	CARACTERÍSTICAS	CONSTITUINTES TÍPICOS
METÁLICOS	Dúctil, Resistência Mecânica Elevada, Condutor Elétrico e Térmico, Dureza Elevada, Opaco	Átomos Metálicos e Não-Metálicos
CERÂMICOS	Frágil, Isolante Térmico e Elétrico, Alta Estabilidade Térmica, Dureza Elevada Transparentes em Alguns Casos	Óxidos, Silicatos, Nitretos, Aluminatos, etc.
POLIMÉRICOS (Plásticos)	Dúctil, Baixa Resistência Mecânica, Baixa Dureza, Flexível, Baixa Estabilidade Térmica, Transparentes em Alguns Casos	Cadeia Molecular Orgânica de Comprimentos Elevados

2. Estrutura e Propriedades

- A aplicação de materiais na forma de produtos acabados envolve, geralmente, etapas de processamento onde algumas das suas características podem ser significativamente alteradas.
- Isto resulta, normalmente, em alterações da estrutura interna do material.
- Por exemplo, a modificação geométrica de um material metálico, ou seja, a conformação plástica do mesmo, acarreta alterações no estado de tensão da estrutura atómica e pode até modificar a estrutura ao nível atómico.
- As condições encontradas durante tal processamento exercem uma influência decisiva no arranjo final dos átomos do material.

2. Estrutura e Propriedades

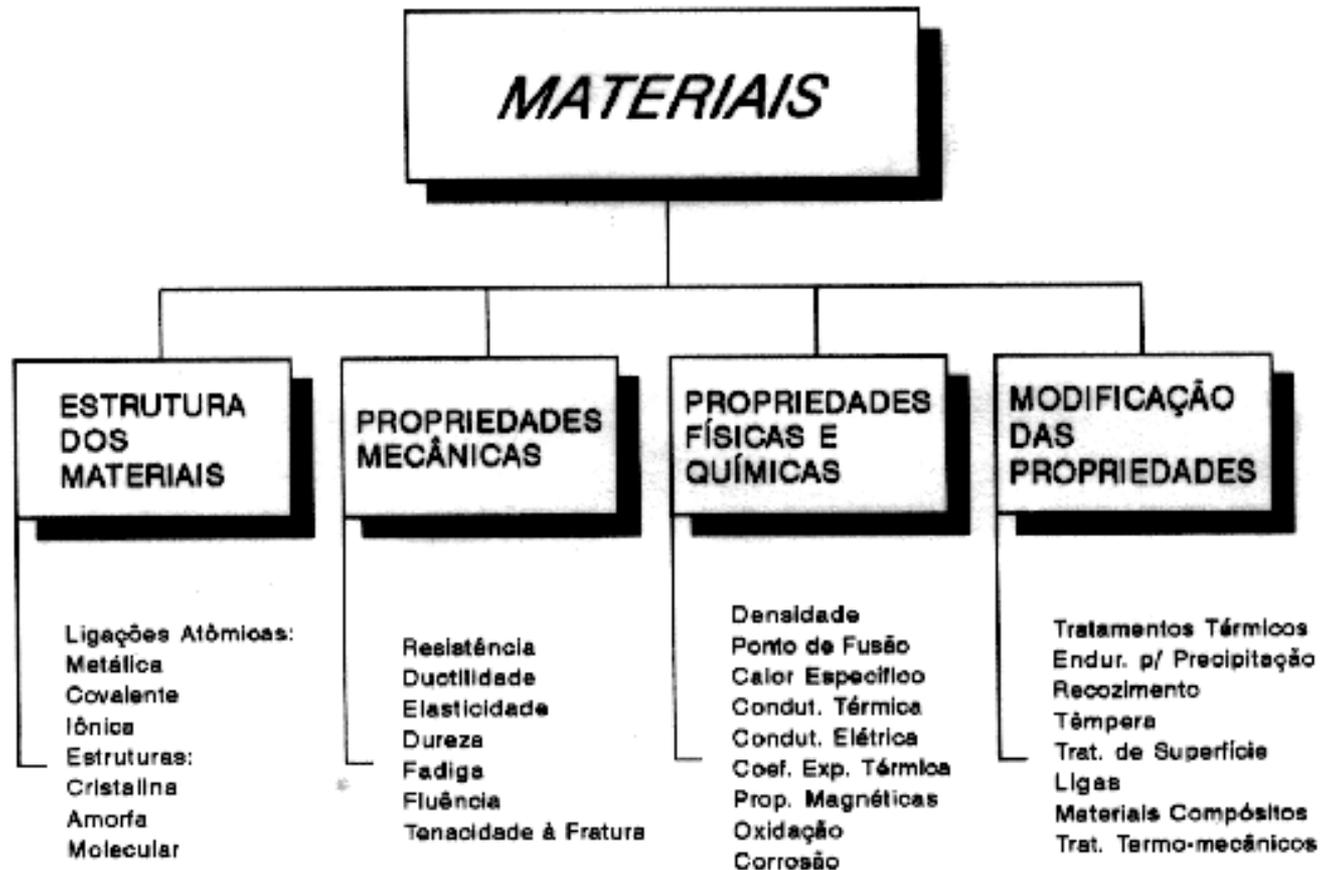
- Um exemplo típico é a produção de uma peça metálica obtida pela fundição, como é o caso de um pistão de motor alternativo.
- Neste caso, um molde geralmente metálico ou cerâmico, com a mesma forma geométrica do pistão, é preenchido por um volume de metal líquido.
- Após a solidificação do metal, a peça é desmoldada e a fundição do pistão é concluída.
- Se a velocidade de solidificação do metal líquido foi alta ou baixa, a estrutura interna do material será afetada em relação a defeitos nos arranjos atômicos influenciando as propriedades da peça.

2. Estrutura e Propriedades

- Concluindo, um material para ser aplicado em engenharia tem que possuir dados sobre as suas características básicas e sobre a forma com que foi processado até ao momento da sua aplicação.
- Uma chapa de aço, uma liga de ferro e carbono, laminada “a frio” apresenta características distintas de uma outra laminada “a quente”.



2. Estrutura e Propriedades

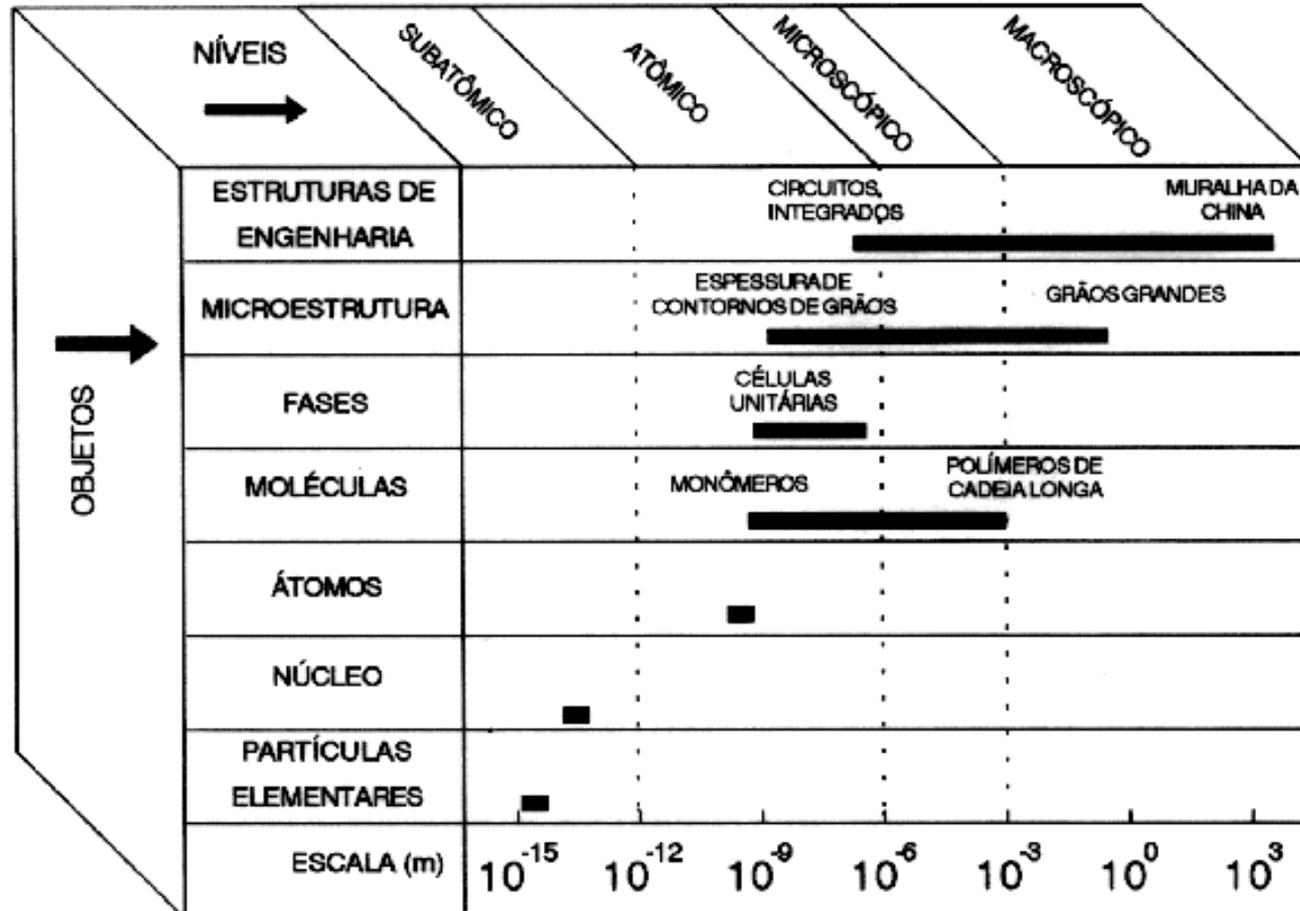


2. Estrutura e Propriedades

- A natureza e comportamento dos materiais estão associados ao tipo de átomos envolvidos e ao arranjo dos mesmos.
- Um material pode ser constituído por um ou mais tipos de elementos químicos.
- A forma como os elementos se arranjam no espaço determinará as características do material.
- A estrutura dos materiais pode ser estudada de acordo com quatro níveis:
 - Subatómico
 - Atómico
 - Microscópico
 - Macroscópico



2. Estrutura e Propriedades



2. Estrutura e Propriedades

- **Nível subatômico:** está relacionado com a análise do átomo individual e o comportamento do seu núcleo e os eletrões das suas camadas periféricas. Existe uma relação forte entre o comportamento do átomo e as suas partículas subatómicas e as propriedades elétricas, térmicas e magnéticas do material.
- **Nível atômico:** está relacionado com a análise do comportamento de um átomo em relação a outro átomo, ou seja, a interação entre átomos e as ligações entre os mesmos e a formação das moléculas. As ligações interatómicas dependem do comportamento do átomo ao nível subatômico. Em função do tipo e intensidade dessas ligações, um dado material, numa determinada condição, pode apresentar-se como sólido, líquido ou gasoso.

2. Estrutura e Propriedades

- **Nível microscópico:** está relacionado com a análise do arranjo dos átomos ou das moléculas no espaço. Um arranjo atómico pode resultar em três tipos estruturais: arranjo cristalino, molecular ou amorfo. O arranjo estrutural apresentado por um material influencia diretamente as propriedades e características do mesmo.
- **Nível macroscópico:** está relacionado com as características e propriedades dos materiais em serviço que estão diretamente ligadas à natureza do comportamento atómico dos três níveis anteriores e à forma como o material foi processado.

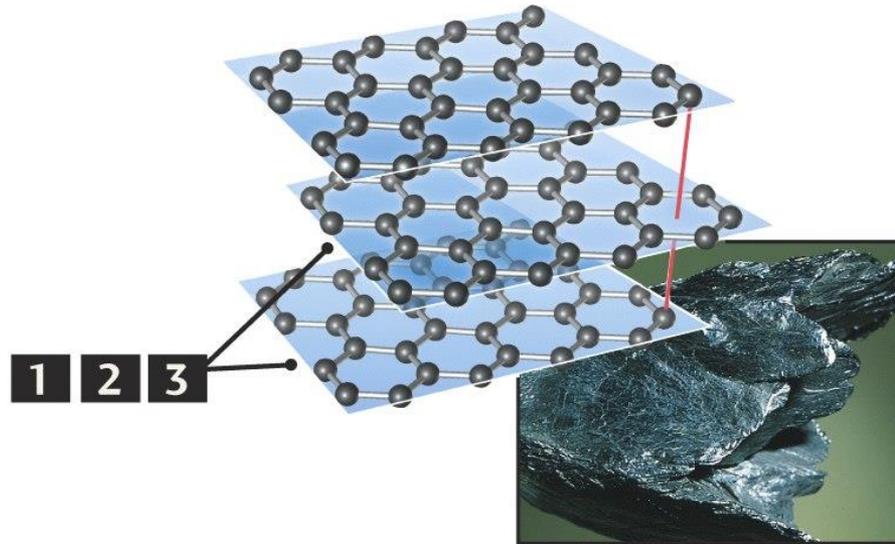
3. Ligação Atómica

- Algumas das propriedades importantes dos materiais sólidos dependem dos arranjos geométricos dos átomos e também das interações que existem entre os átomos ou moléculas constituintes.
- Um exemplo é o Carbono na forma de **Grafite** e na forma de **Diamante** que apresentam durezas diferentes, tendo o primeiro uma dureza relativamente baixa enquanto o segundo tem uma dureza elevada.
- Esta diferença é justificada diretamente a partir do forma de **ligação interatómica** que ocorre na **Grafite** e que é diferente da do **Diamante**.

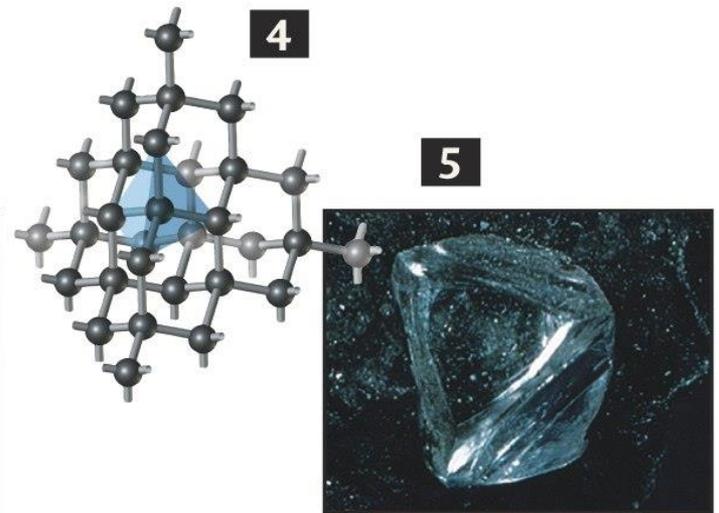
3. Ligação Atómica

Formas alotrópicas do carbono

(a) Grafite



(b) Diamante

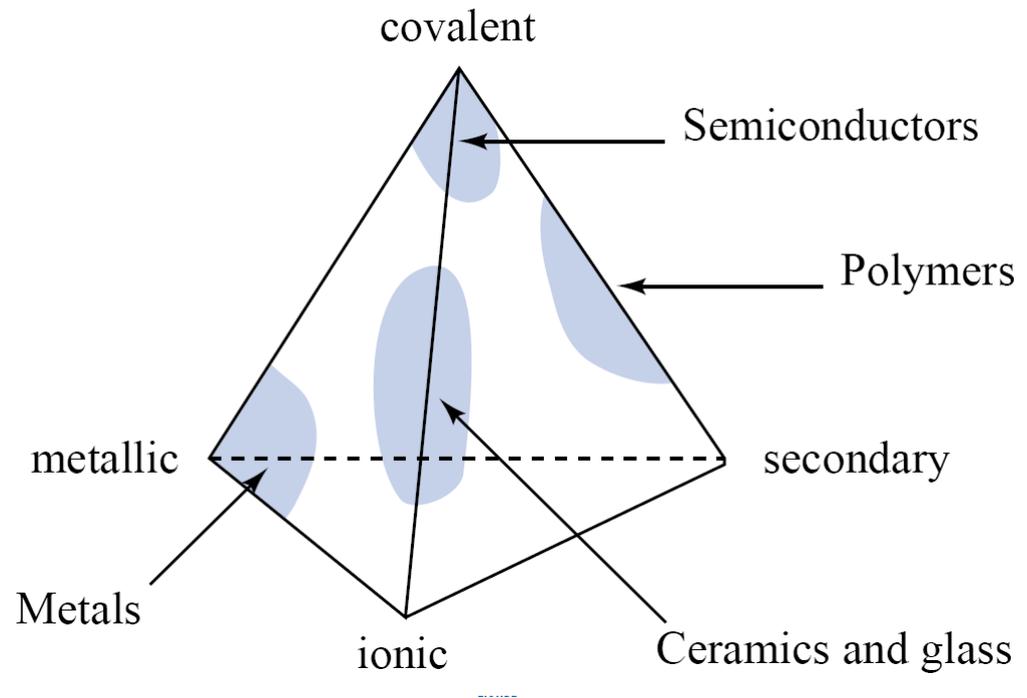


(c) Fulereno

(d) Grafeno

3. Ligação Atômica

- Vamos rever conceitos fundamentais como **estrutura atômica, configurações eletrônicas dos átomos e tabela periódica, e os vários tipos de ligações interatômicas primárias e secundárias** que mantêm unidos os átomos que compõem um sólido.



3. Ligação Atómica

- ***A estrutura eletrónica dos átomos determina a natureza das ligações atómicas e define algumas propriedades dos materiais***

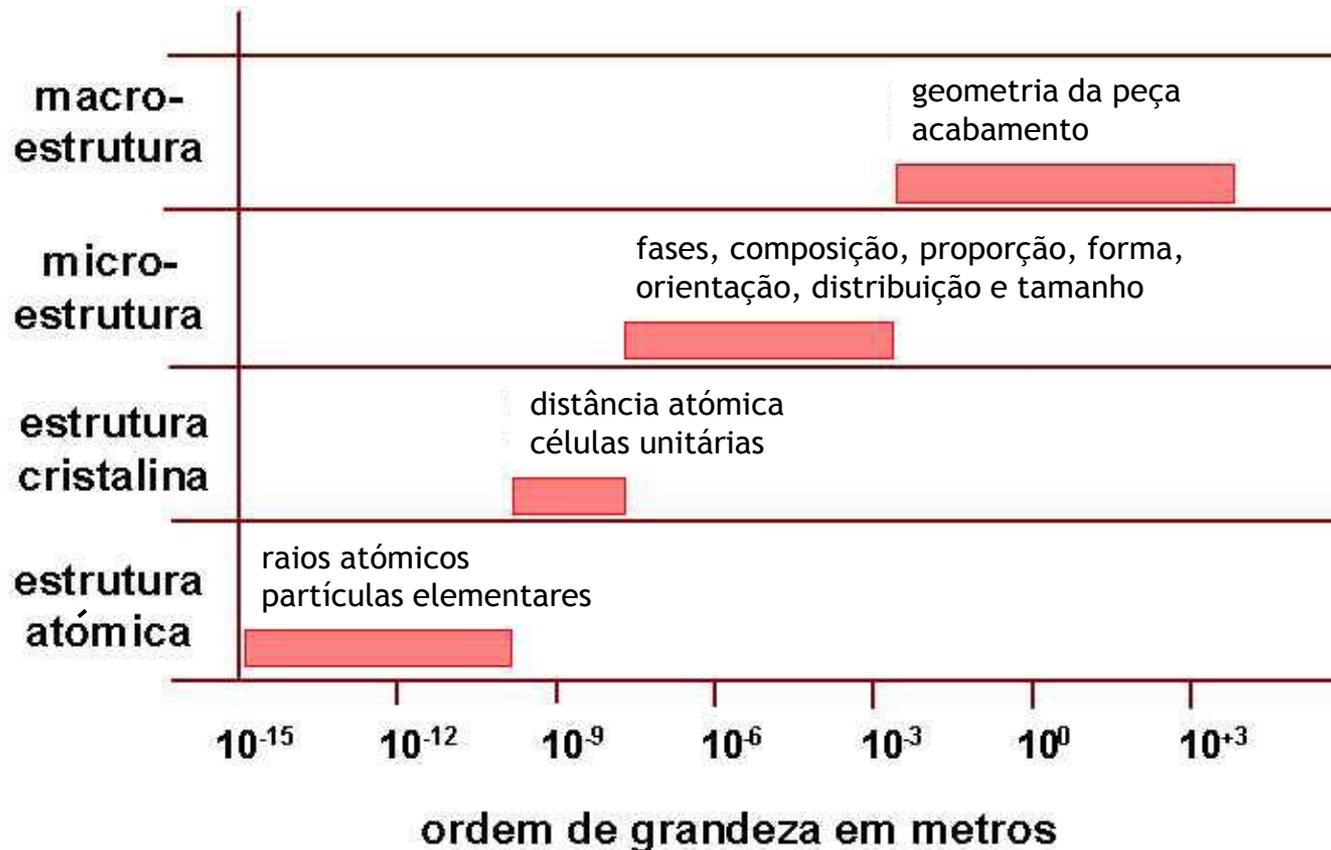


- ***Propriedades: físicas, óticas, elétricas e térmicas***



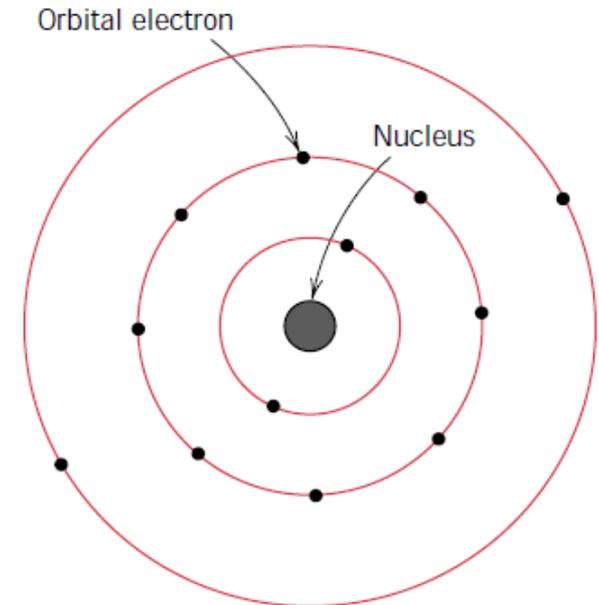
3. Ligação Atómica

- Ordem de grandeza da estrutura atómica → 10^{-15} a 10^{-10} m



3. Ligação Atômica

- Cada átomo consiste num pequeno núcleo, composto por prótons e neutrões, que é circundado por eletrões em movimento
- Os eletrões e os prótons são partículas carregadas eletricamente com carga de $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$
- Os eletrões têm carga negativa e os prótons têm carga positiva
- Os neutrões são eletricamente neutros





3. Ligação Atómica

3.1. Tabela Periódica

IA		IIA												IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	0	
1 H 1.0080		3 Li 6.939	4 Be 9.0122																	2 He 4.0026
11 Na 22.990	12 Mg 24.312			IIIB	IVB	VB	VIB	VII B	VIII			IB	IIB	5 B 10.811	6 C 12.011	7 N 14.007	8 O 15.999	9 F 18.998	10 Ne 20.183	
19 K 39.102	20 Ca 40.08	21 Sc 44.956	22 Ti 47.90	23 V 50.942	24 Cr 51.996	25 Mn 54.938	26 Fe 55.847	27 Co 58.933	28 Ni 58.71	29 Cu 63.54	30 Zn 65.37	31 Ga 69.72	32 Ge 72.59	33 As 74.922	34 Se 78.96	35 Br 79.91	36 Kr 83.80			
37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc (99)	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.4	47 Ag 107.87	48 Cd 112.40	49 In 114.82	50 Sn 118.69	51 Sb 121.75	52 Te 127.60	53 I 126.90	54 Xe 131.30			
55 Cs 132.91	56 Ba 137.34	Rare earth series	72 Hf 178.49	73 Ta 180.95	74 W 183.85	75 Re 186.2	76 Os 190.2	77 Ir 192.2	78 Pt 195.09	79 Au 196.97	80 Hg 200.59	81 Tl 204.37	82 Pb 207.19	83 Bi 208.98	84 Po (210)	85 At (210)	86 Rn (222)			
87 Fr (223)	88 Ra (226)	Actinide series																		
Série das Terras Raras			57 La 138.91	58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.35	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.92	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.04	71 Lu 174.97			
Série dos Actinídeos			89 Ac (227)	90 Th 232.04	91 Pa (231)	92 U 238.03	93 Np (237)	94 Pu (242)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (249)	99 Es (254)	100 Fm (253)	101 Md (256)	102 No (254)	103 Lw (257)			



3. Ligação Atómica

3.1. Tabela Periódica

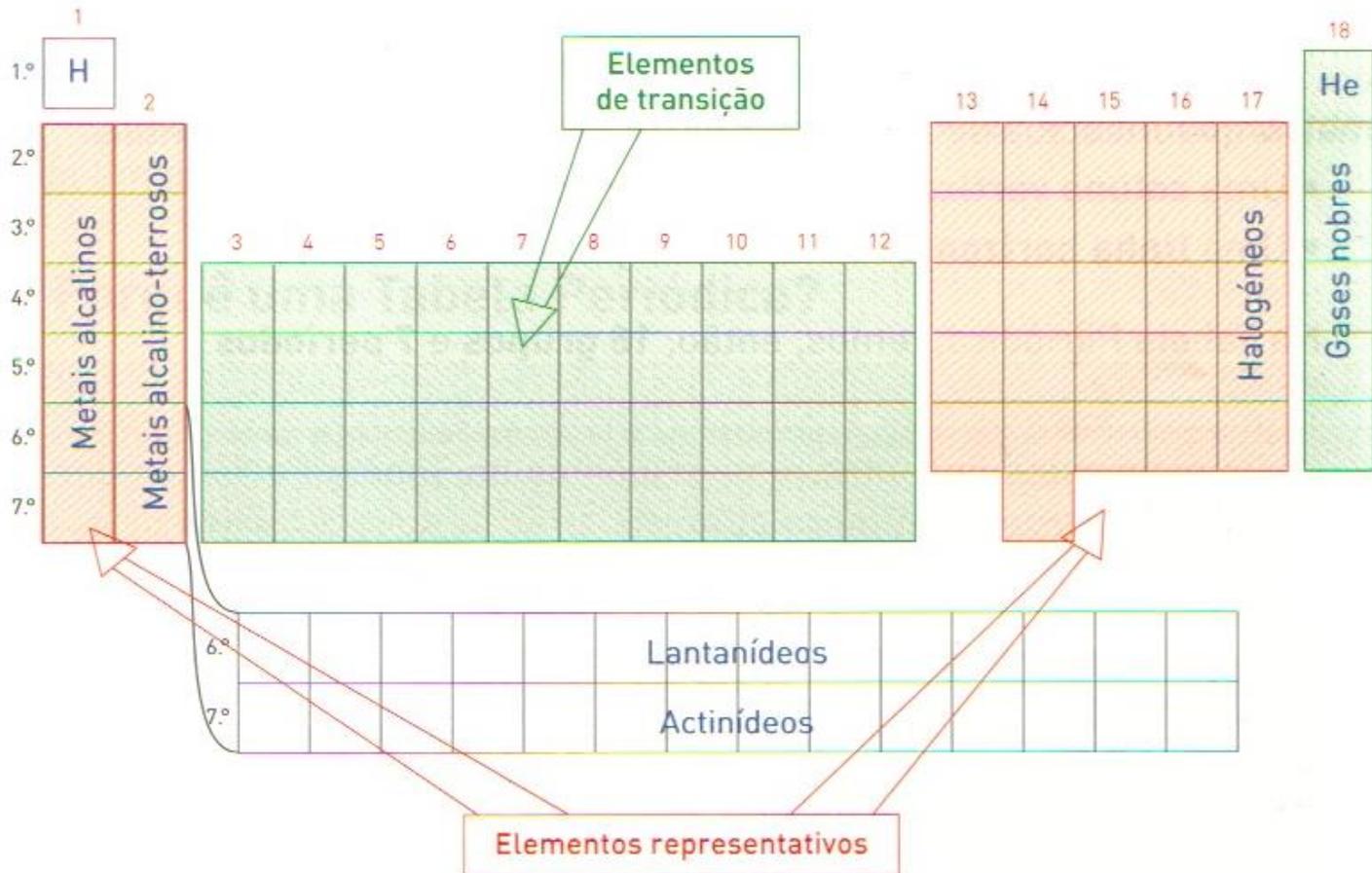


Tabela Periódica dos Elementos

- Ver o link <http://www.ptable.com/?lang=pt>

1 1A 1 H Hidrogênio 1.00794	2 IIA 4 Be Berílio 9.012182											13 IIIA 5 B Boro 10.811	14 IVA 6 C Carbono 12.0107	15 VA 7 N Nitrogênio 14.00674	16 VIA 8 O Oxigênio 15.9994	17 VIIA 9 F Flúor 18.9984032	18 VIIIA 2 He Hélio 4.002602	
3 3A 3 Li Lítio 6.941	4 4A 4 Be Berílio 9.012182	3 IIIB	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8 VIII	9 VIII	10 VIII	11 IB	12 IIB	13 IIIA 13 Al Alumínio 26.981538	14 IVA 14 Si Silício 28.0855	15 VA 15 P Fósforo 30.973761	16 VIA 16 S Enxofre 32.066	17 VIIA 17 Cl Cloro 35.453	18 VIIIA 18 Ar Argon 39.948	
11 3A 11 Na Sódio 22.989770	12 4A 12 Mg Magnésio 24.3050	21 3A 21 Sc Escândio 44.955910	22 4A 22 Ti Titânio 47.867	23 5A 23 V Vanádio 50.9415	24 6A 24 Cr Cromo 51.9961	25 7A 25 Mn Manganês 54.938049	26 8A 26 Fe Ferro 55.8457	27 9A 27 Co Cobalto 58.933200	28 10A 28 Ni Níquel 58.6934	29 11A 29 Cu Cobre 63.546	30 12A 30 Zn Zinco 65.409	31 13A 31 Ga Gálio 69.723	32 14A 32 Ge Germânio 72.64	33 15A 33 As Arsênio 74.92160	34 16A 34 Se Selênio 78.96	35 17A 35 Br Bromo 79.904	36 18A 36 Kr Criptônio 83.798	
37 1A 37 Rb Rubídio 85.4678	38 2A 38 Sr Estrôncio 87.62	39 3A 39 Y Ítrio 88.90585	40 4A 40 Zr Zircônio 91.224	41 5A 41 Nb Nióbio 92.90638	42 6A 42 Mo Molibdênio 95.94	43 7A 43 Tc Tecnécio (98)	44 8A 44 Ru Rutênio 101.07	45 9A 45 Rh Ródio 102.90550	46 10A 46 Pd Paládio 106.42	47 11A 47 Ag Prata 107.8682	48 12A 48 Cd Cádmio 112.411	49 13A 49 In Índio 114.818	50 14A 50 Sn Estanho 118.710	51 15A 51 Sb Antimônio 121.760	52 16A 52 Te Telúrio 127.60	53 17A 53 I Iodo 126.90447	54 18A 54 Xe Xenônio 131.293	
55 1A 55 Cs Césio 132.90545	56 2A 56 Ba Bário 137.327	57 to 71 Lantanídeos		72 3A 72 Hf Háfnio 178.49	73 4A 73 Ta Tântalo 180.9479	74 5A 74 W Tungstênio 183.84	75 6A 75 Re Rênio 186.207	76 7A 76 Os Ósmio 190.23	77 8A 77 Ir Iridio 192.217	78 9A 78 Pt Platina 195.078	79 10A 79 Au Ouro 196.96655	80 11A 80 Hg Mercúrio 200.59	81 12A 81 Tl Tálio 204.3833	82 13A 82 Pb Chumbo 207.2	83 14A 83 Bi Bismuto 208.98038	84 15A 84 Po Polônio (209)	85 16A 85 At Astató (210)	86 17A 86 Rn Radônio (222)
87 1A 87 Fr Frâncio (223)	88 2A 88 Ra Rádio (226)	89 to 103 Atinídeos		104 3A 104 Rf Ruterfórdio (261)	105 4A 105 Db Dúbnio (262)	106 5A 106 Sg Seabórgio (266)	107 6A 107 Bh Bóhrio (264)	108 7A 108 Hs Hássio (269)	109 8A 109 Mt Meitnério (268)	110 9A 110 Ds Darmstádio (271)	111 10A 111 Rg Roentgenium (272)	112 11A 112 Uub Ununbium (285)	113 12A 113 Uut Ununtrium (284)	114 13A 114 Uuq Ununquádmio (289)	115 14A 115 Uup Ununpéutrio (288)	116 15A 116 Uuh Ununhexium (292)	117 16A 117 Uus Ununseptium	118 17A 118 Uuo Ununoctium

Massas atômicas em parênteses são aquelas do isótopo mais estável ou comum.

Direitos autorais de design © 1997 Michael Dayah (michael@dayah.com), <http://www.dayah.com/periodic>

Nota: Os números de subgrupo 1-18 foram adotados em 1984 pela International Union of Pure and Applied Chemistry (União Internacional de Química Pura e Aplicada). Os nomes dos elementos 112-118 são os equivalentes latinos desses números.

57 3A 57 La Lantânio 138.9055	58 4A 58 Ce Cério 140.116	59 5A 59 Pr Praseodímio 140.90765	60 6A 60 Nd Neodímio 144.24	61 7A 61 Pm Promécio (145)	62 8A 62 Sm Samário 150.36	63 9A 63 Eu Európio 151.964	64 10A 64 Gd Gadolínio 157.25	65 11A 65 Tb Térbio 158.92534	66 12A 66 Dy Disprósio 162.500	67 13A 67 Ho Hólmio 164.93032	68 14A 68 Er Érbio 167.259	69 15A 69 Tm Túlio 168.93421	70 16A 70 Yb Ítrébio 173.04	71 17A 71 Lu Lutécio 174.967
89 3A 89 Ac Actínio (227)	90 4A 90 Th Tório 232.0381	91 5A 91 Pa Protactínio 231.03588	92 6A 92 U Urânio 238.02891	93 7A 93 Np Netúnio (237)	94 8A 94 Pu Plutônio (244)	95 9A 95 Am Americário (243)	96 10A 96 Cm Cúrio (247)	97 11A 97 Bk Berquélio (247)	98 12A 98 Cf Califórnio (251)	99 13A 99 Es Einstênio (252)	100 14A 100 Fm Férmio (257)	101 15A 101 Md Mendelévio (288)	102 16A 102 No Nobélio (259)	103 17A 103 Lr Laurêncio (262)



3. Ligação Atómica

3.1. Tabela Periódica

Metals	Não-metals
 <p>cobre mercúrio</p>	 <p>iodo oxigénio</p>
Propriedades físicas	Propriedades físicas
<p>– Revelam brilho metálico característico e são:</p> <ul style="list-style-type: none"> • opacos; • bons condutores do calor e da corrente eléctrica; • maleáveis (formam lâminas flexíveis); • dúcteis (esticam-se em fios). <p>– Em geral são sólidos à temperatura ambiente (o mercúrio é líquido).</p> <p>– A maioria tem pontos de fusão elevados.</p>	<p>– Não possuem brilho característico e são:</p> <ul style="list-style-type: none"> • maus condutores do calor e da corrente eléctrica (com excepção da grafite); • fragmentam-se com facilidade (não são maleáveis); • difícil de esticar em fios (não são dúcteis). <p>– À temperatura ambiente, são sólidos, líquidos e gasosos.</p> <p>– Em geral:</p> <ul style="list-style-type: none"> • os sólidos têm pontos de fusão baixos; • os líquidos têm pontos de ebulição baixos.
Propriedades químicas	Propriedades químicas
<p>– É possível graduar uma escala de reactividade dos metais com:</p> <ul style="list-style-type: none"> • a água; • o oxigénio, formando óxidos básicos (ou alcalinos) (em solução aquosa); • os ácidos. <p>– Formam iões positivos (ou catiões) em soluções aquosas.</p>	<p>– Reagem com o oxigénio para formarem óxidos ácidos (em solução aquosa).</p> <p>– Não reagem com os ácidos.</p> <p>– Formam iões negativos (ou aniões) em soluções aquosas.</p>

3. Ligação Atômica

3.2. Força de ligação

- A compreensão da origem de muitas propriedades físicas baseia-se no conhecimento das forças de ligação interatômicas que unem os átomos
- Considerando as ligações entre dois átomos desde uma proximidade grande até uma distância infinita:
 - A grandes distâncias as forças podem ser desconsideradas
 - À medida que os átomos se aproximam eles exercem forças uns sobre os outros
- Estas forças podem ser de atração ou de repulsão, sendo que a sua magnitude depende da distância entre os átomos
- A força de atração depende do tipo de ligação e varia com a distância interatômica

3. Ligação Atómica

3.2. Força de ligação

- Quando a última camada de dois átomos começa a sobrepor-se, surgem forças de repulsão
- A força de ligação (F_L) é, então, a resultante entre a força de Atração e a força de Repulsão:

$$F_L = F_A + F_R \quad (1.01)$$

- Quando existe **equilíbrio** entre as forças de atração e repulsão, a força resultante de ligação é zero:

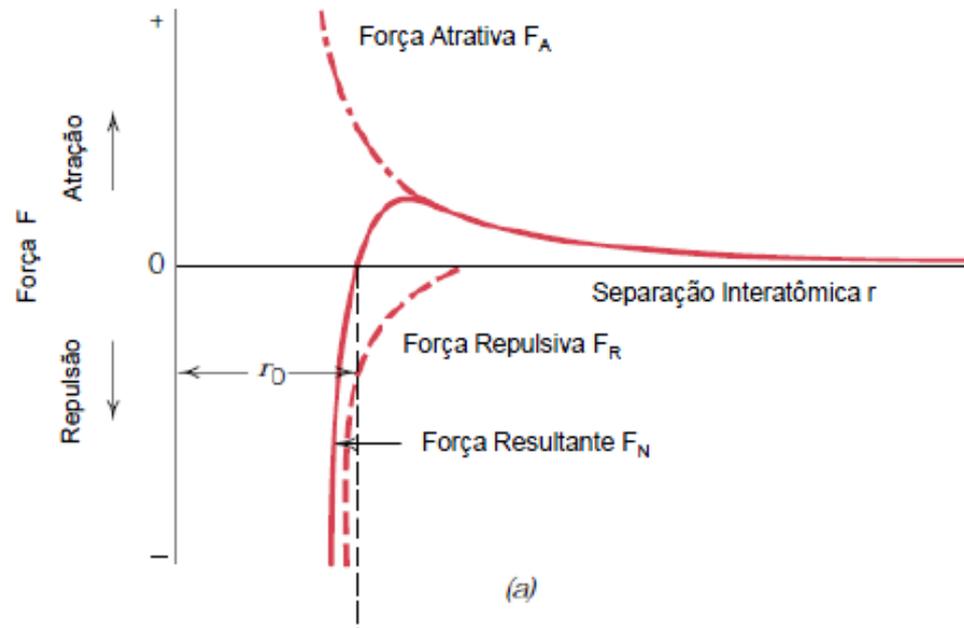
$$F_A + F_R = 0 \quad (1.02)$$

- Nesta condição, estabelece-se a **distância interatómica de equilíbrio**, ou r_0 .

3. Ligação Atômica

3.2. Força de ligação

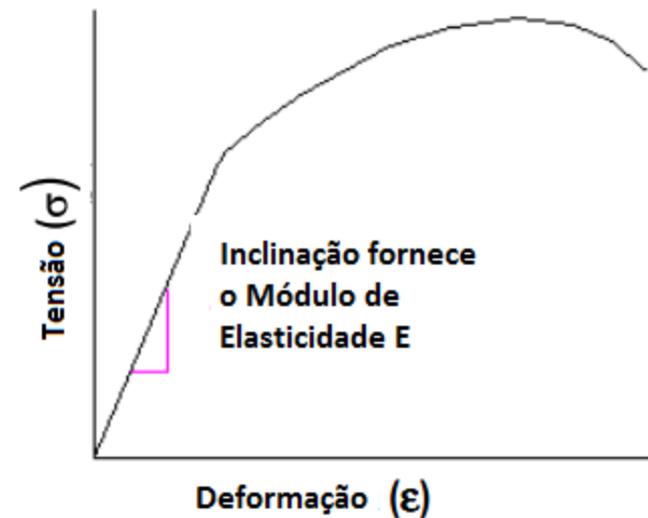
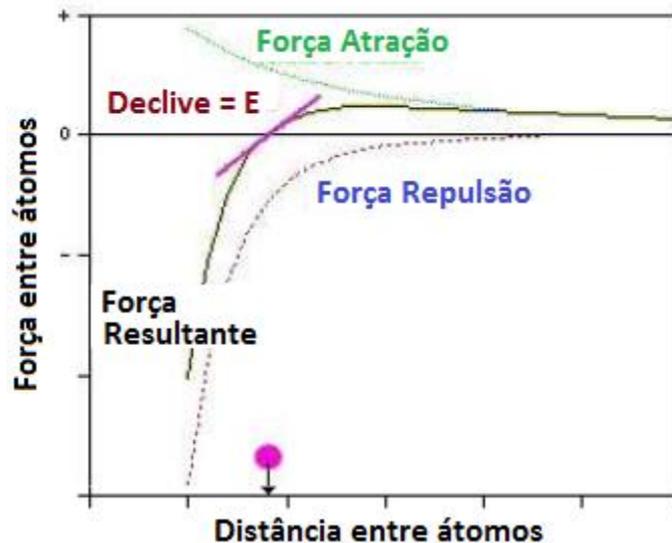
- Neste caso, os centros do átomos estarão separados por uma distância r_0 .
- Para diversos átomos esta distância é de **3nm** → os átomos **não se aproximam nem se afastam**



3. Ligação Atômica

3.3. Força de ligação e rigidez

- O que é a deformação no regime elástico?
- A inclinação da curva no ponto de equilíbrio dá a força necessária para separar os átomos sem promover a quebra da ligação



3. Ligação Atómica

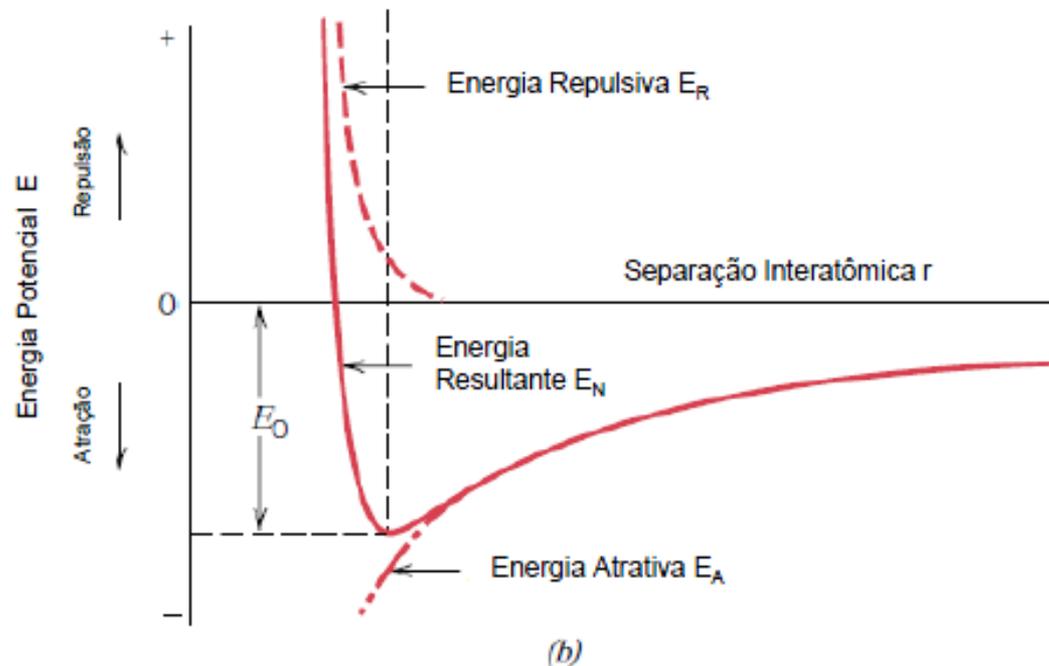
3.3. Força de ligação e rigidez

- Os materiais que apresentam uma **inclinação grande** são **considerados materiais rígidos**
- Pelo contrário, materiais que apresentam uma **inclinação menos acentuada** são **bastante flexíveis**
- A **rigidez e a flexibilidade** também estão associadas ao **módulo de elasticidade (E)** que é determinado pela **inclinação da curva tensão x deformação** obtida no **ensaio mecânico de tração**

3. Ligação Atômica

3.4. Energia de ligação

- Quando analisamos a energia potencial, vemos que a distância de equilíbrio r_0 é aquela que desenvolve a menor energia



3. Ligação Atômica

3.4. Energia de ligação

- Nesta condição, estabelece-se a energia mínima E_0 que representa a energia necessária para separar estes dois átomos até uma distância infinitamente grande

$$E_L = E_A + E_R \quad (1.03)$$

$$E = \int Fdr \quad (1.04)$$

- Diferentes átomos → diferentes tipos de ligação química → curvas diferentes de energia resultante
- Quando consideramos, por exemplo, uma deformação que envolve o afastamento de átomos no regime elástico, podemos entender que o módulo de elasticidade de cada material será diferente, pela razão antes exposta

3. Ligação Atómica

3.4. Energia de ligação

Temperatura de Fusão:

- Quanto maior o valor de $|E_0|$, maior a temperatura de fusão de um material, já que há necessidade de rompimento de ligações para a mudança de estado físico (sólido \rightarrow líquido)
- Pequenos valores de $|E_0|$ são típicos de materiais gasosos
- Os líquidos apresentam energias de ligação intermédias

3. Ligação Atômica

3.4. Energia de ligação

Coeficiente de Expansão:

- O coeficiente de expansão linear de um material é dependente da forma da curva E_0 versus r_0
- Elevadas energias de ligação → baixo coeficiente de expansão térmica (alterações dimensionais pequenas)

3. Ligação Atômica

3.4. Energia de ligação

Resistência Mecânica:

- Aumenta com a força de ligação e com a profundidade do poço da curva de energia de ligação
- Por outras palavras, quanto maior a energia de ligação, maior a resistência

3. Ligação Atômica

3.5. Tipos de ligação

- Os tipos primários de ligação em sólidos são:
 - **Iônicas**
 - **Covalentes**
 - **Metálicas**
- Para cada um destes tipos, a ligação envolve os elétrons de valência e o tipo de ligação depende da estrutura eletrónica dos átomos
- De forma geral, cada um destes tipos de ligação visa assumir estruturas eletrónicas estáveis como a dos gases inertes

3. Ligação Atómica

3.5. Tipos de ligação

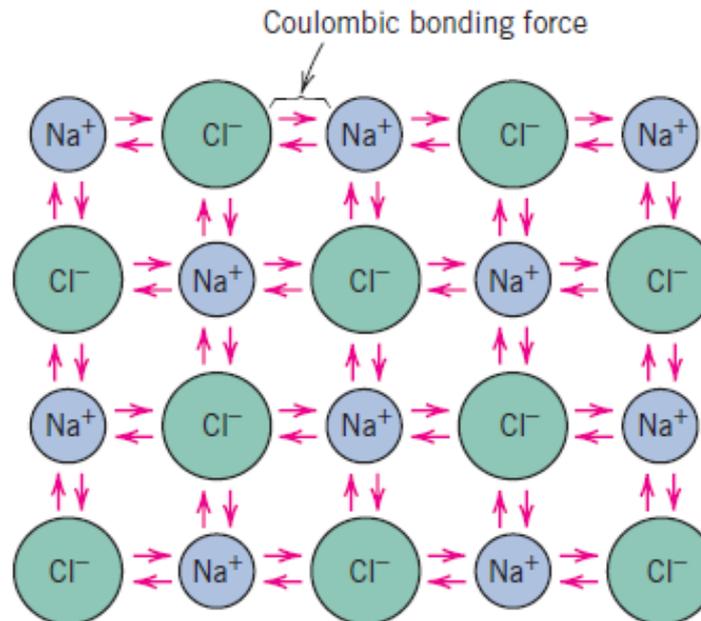
- Forças de origem secundária ou física são ainda encontradas em muitos materiais sólidos
- Estas forças são mais fracas que as de ligações principais mas ainda assim influenciam as propriedades físicas dos materiais → Ligações Secundária
- **Ligações Primárias:** Iónicas, Covalentes, Metálicas.
- **Ligações Secundárias:** Van der Waals: Dipolo Induzido por Flutuação, Dipolo Induzido-Moléculas Polares, Dipolo Permanente

3. Ligação Atómica

3.5. Tipos de ligação

3.5.1. Ligações iónicas

- Uma das mais fáceis de descrever e visualizar
- São sempre encontradas em compostos formados por **metais** e **não-metais**, situados horizontalmente nas **extremidades da tabela periódica**





3. Ligação Atómica

3.5. Tipos de ligação

3.5.1. Ligações iónicas

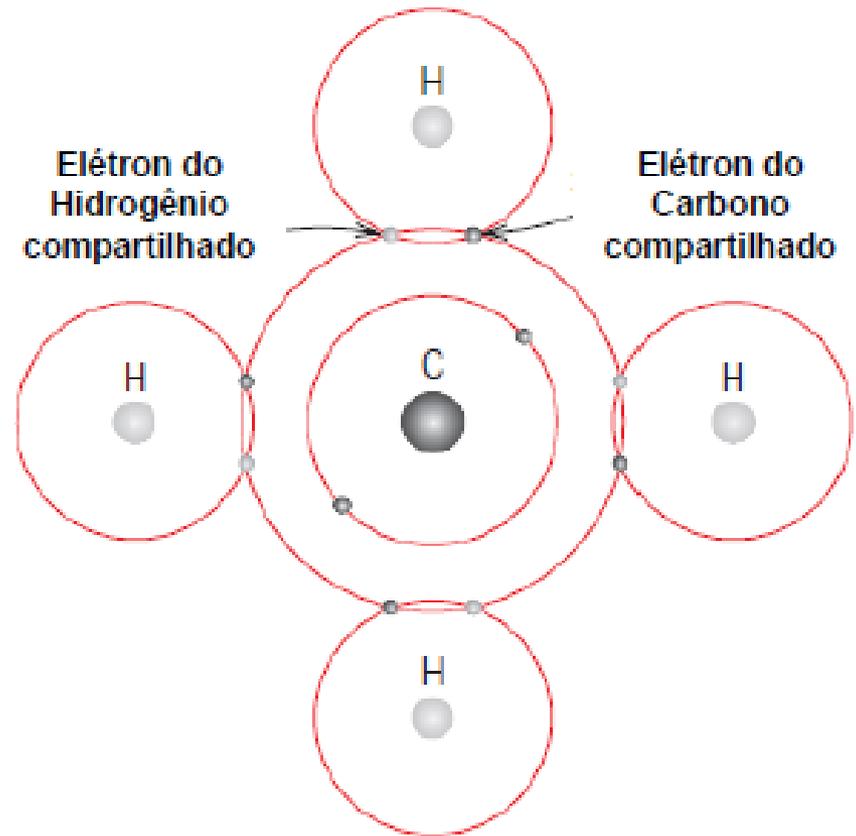
- Os átomos **metálicos** facilmente cedem os eletrões de valência aos elementos **não-metálicos**
- Neste caso, os átomos das duas espécies adquirem a **configuração estável** ou tal como a dos gases inertes **e adicionalmente os átomos passam a ser iões (ganham carga elétrica)**
- Os metais cedem os eletrões de valência e tornam-se catiões (iões com carga positiva)
- Os não-metais recebem os eletrões e tornam-se aniões (iões com carga negativa)

3. Ligação Atómica

3.5. Tipos de ligação

3.5.2. Ligações covalentes

- Nas ligações covalentes, a configuração estável é obtida pela **partilha** dos eletrões entre átomos adjacentes
- Estes eletrões pertencerão a ambos os átomos



3. Ligação Atómica

3.5. Tipos de ligação

3.5.2. Ligações covalentes

- Este tipo de ligação aparece em **não-metais** gasosos como H_2 , Cl_2 , F_2 , H_2O , HNO_3 , assim como em **sólidos tais como o diamante (carbono), silício, germânio**
- Também aparece em compostos formados por elementos do lado direito da tabela periódica, como o **Gálio-Arsénio, Índio-Antimónio e Carbeto de Silício**

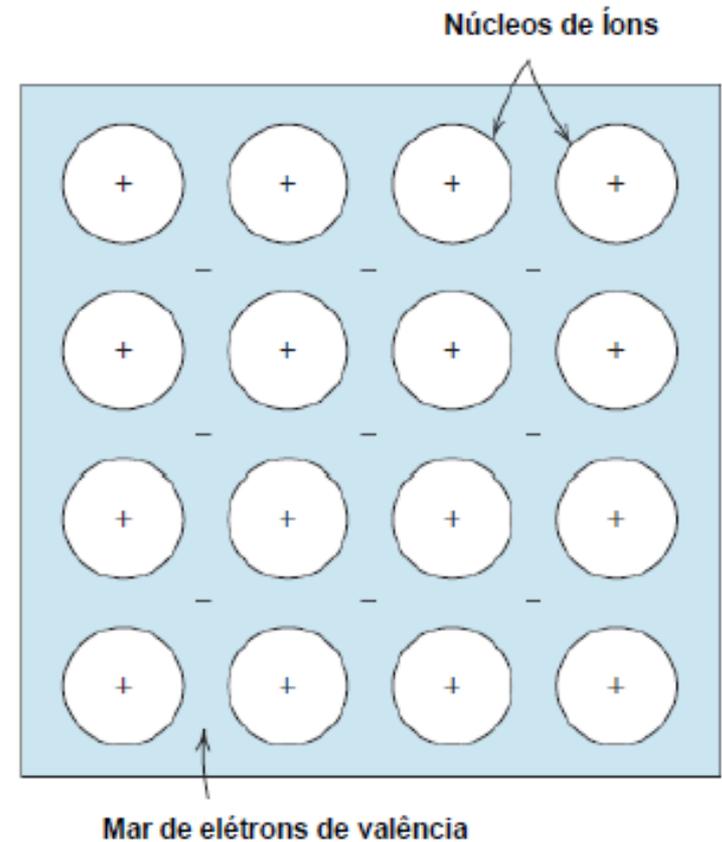
Modelo molecular	Fórmula química	Notação de Lewis	Fórmula de estrutura
 Modelo da molécula do oxigénio	O_2	$\ddot{O} : \ddot{O}$ Há partilha de 2 pares de electrões	$O=O$ Uma ligação covalente dupla apolar
 Modelo da molécula do azoto	N_2	$\ddot{N} : \ddot{N}$ Há partilha de 3 pares de electrões	$N \equiv N$ Uma ligação covalente tripla apolar
 Modelo da molécula do dióxido de carbono	CO_2	$O : : C : : O$ O átomo de carbono partilha 2 pares de electrões com cada átomo de oxigénio	$O=C=O$ Duas ligações covalentes duplas polares

3. Ligação Atômica

3.5. Tipos de ligação

3.5.3. Ligações metálicas

- As ligações metálicas são encontradas nos metais e ligas metálicas
- Os metais têm entre um e três elétrons de valência e dentro deste modelo, os elétrons de valência **não** estão ligados a um átomo específico e **estão mais ou menos livres para o movimento entre os átomos que constituem o material, tal como uma nuvem eletrónica**





3. Ligação Atómica 3.5. Tipos de ligação

3.5.3. Ligações metálicas

- Os eletrões que não são os de valência e os núcleos atómicos formam o que usualmente se chama de:
 - núcleos iónicos, com carga positiva igual em magnitude à carga total dos eletrões de valência por átomo

3. Ligação Atómica

3.6. Propriedades

Os materiais com ligações atómicas apresentam:

- Elevadas temperaturas de fusão
- Elevada Dureza e Fragilidade
- Bom isolamento Elétrico e Térmico

Os materiais com ligações covalentes apresentam:

- Ligações fortes como a do Diamante, que resultam em:
 - Elevadas temperaturas de fusão (3550°C) e elevada Dureza
- Ligações fracas como a do Bismuto, que resultam em:
 - Baixas temperaturas de fusão (270°C)
- Bom isolamento Elétrico e Térmico

3. Ligação Atómica

3.6. Propriedades

Os materiais com ligações metálicas apresentam:

- Temperaturas de fusão desde baixas até elevadas
- Baixa dureza e alta ductilidade
- Boa condutibilidade elétrica e térmica como consequência dos eletrões livres

Os materiais Moleculares com ligações de van der Waals / Hidrogénio apresentam:

- Baixas temperaturas de fusão
- Baixa Dureza



3. Ligação Atômica

3.6. Propriedades

Tipo de Ligação	Substância	Energia de Ligação		Temperatura de Fusão (°C)
		KJ/ mol	eV / átomo, Íon / Molécula	
Iônica	NaCl	640	3.3	801
	MgO	1000	5.2	2800
Covalente	Si	450	4.7	1410
	C (Diamante)	713	7.4	>3550
Metálica	Hg	68	0.7	-39
	Al	324	3.4	660
	Fe	406	4.2	1538
	W	849	8.8	3410
Van der Waals	Ar	7.7	0.08	-189
	Cl ₂	31	0.32	-101
Hidrogênio	NH ₃	35	0.36	-78
	H ₂ O	51	0.52	0



3. Ligação Atómica

3.6. Propriedades

SÓLIDO	TIPO DE LIGAÇÃO	PROPRIEDADES
Metálicos	<u>Ligação metálica</u> – forças electrostáticas da rede cristalina formada por iões positivos e electrões de valência.	Maleáveis. Dúcteis. Bons condutores de calor e de corrente eléctrica.
Iónicos	<u>Ligação iónica</u> – rede cristalina formada por iões positivos (catiões) e iões negativos (aniões) cujos tamanhos, de um modo geral, são diferentes e entre os quais se verificam forças electrostáticas.	Duros. Frágeis. Elevados ponto de fusão. Maus condutores de calor e de corrente eléctrica.
Moleculares	<u>Ligação intermoleculares</u> – interacções electrostáticas entre moléculas que podem ser polares – forças dipolo-dipolo e ligação de hidrogénio, ou apolares – forças de dispersão de London.	Macios. Pontos de fusão baixos. Maus condutores de calor e corrente eléctrica.
Covalentes	<u>Ligação covalente</u> – forças electrostáticas que ocorrem devido à partilha de pelo menos um par de electrões por mais do que um átomo.	Duros. Elevados ponto de fusão. Maus condutores de calor e de corrente eléctrica.



3. Ligação Atómica

3.6. Propriedades

Substâncias	Tipo de corpúsculos constituintes da estrutura	Exemplos de substâncias	Ligação química	Propriedades gerais
<p>Moleculares</p>  <p>Água</p>	Moléculas	<ul style="list-style-type: none"> • Enxofre cristalizado • Iodo • Metano • Amoníaco • Álcool etílico • Oxigénio 	Ligações covalentes (polares e apolares) e ligações intermoleculares (por ex.: ligações de hidrogénio)	<ul style="list-style-type: none"> • Pontos de fusão e pontos de ebulição baixos. • Não conduzem a corrente eléctrica, com excepção das substâncias constituídas por moléculas polares (em solução aquosa).
<p>Covalentes</p>  <p>Diamante</p>	Átomos	<ul style="list-style-type: none"> • Diamante • Grafite • Óxido de silício (quartzo) 	Ligações covalentes	<ul style="list-style-type: none"> • Pontos de fusão e pontos de ebulição elevados. • Não conduzem a corrente eléctrica com excepção da grafite. • Duros e quebradiços.
<p>Iónicas</p>  <p>Cloreto de sódio</p>	Íons positivos e íons negativos	<ul style="list-style-type: none"> • Cloreto de sódio • Cloreto de potássio • Fluoreto de potássio • Iodeto de sódio • Carbonato de cálcio 	Ligações iónicas	<ul style="list-style-type: none"> • Pontos de fusão e pontos de ebulição elevados. • Não conduzem a corrente eléctrica no estado sólido. • Conduzem a corrente eléctrica em solução aquosa e fundidos. • Duros e quebradiços.
<p>Metálicas</p>  <p>Prata</p>	Íons positivos e electrões livres	<ul style="list-style-type: none"> • Prata • Cobre • Sódio • Zinco • Ferro • Alumínio 	Ligações metálicas	<ul style="list-style-type: none"> • Pontos de fusão e pontos de ebulição elevados. • Bons condutores térmicos e eléctricos. • Maleáveis e dúcteis. • Brilho metálico.

4. Propriedades Fundamentais

- As propriedades mecânicas e físicas e outras características influenciam a adoção dos materiais para dadas aplicações de engenharia.

4. Propriedades Fundamentais

4.1. Propriedades mecânicas

- **Fluência**
 - Taxa de fluência
 - Propriedades tensão-rutura
- **Ductibilidade**
 - Percentagem de alongamento
 - Percentagem de redução de área
- **Fadiga**
 - Autonomia de vida
 - Vida à fadiga
- **Dureza**
 - Resistência ao risco superficial
 - Taxa de desgaste
- **Impacto**
 - Energia absorvida
 - Resiliência
 - Temperatura de transição
- **Resistência**
 - Módulos de elasticidade
 - Tensão de rutura
 - Tensão de cedência

4. Propriedades Fundamentais

4.2. Propriedades físicas

- Química
 - Corrosão
 - Refinamento
- Densidade
- Elétrica
 - Condutividade
 - Dielétrica (isolamento)
 - Ferroelétrico e piezoelétrico
- Magnética
 - Ferromagnética
- Ótica
 - Absorção e cor
 - Difração
 - Fotocondução
 - Reflexão, refração e transmissão
- Térmica
 - Capacidade calorífica
 - Condutividade térmica
 - Expansão térmica

4. Propriedades Fundamentais

4.3. Outras características

- Custo
 - Extração /obtenção
 - Processamento
- Aceitação
 - Mercado



5. Onde encontrar informação sobre materiais?

ASM International - *American Society for Metals*

- ASM Handbooks (21 volumes ou CDs sobre diversos tipos de materiais e técnicas associadas); Alloy Finder CD; Failure Analysis on CD-ROM;...
- www.asminternational.org

ASTM International - *American Society for Testing and Materials*

- Diversas normas técnicas para ensaios de diferentes tipos de materiais;
- www.astm.org



5. Onde encontrar informação sobre materiais?

Outros:

- www.steel.org (site da AISI - American Iron and Steel Institute);
- www.aluminum.org
- www.azom.com
- www.specialmetals.com
- www.matweb.com
- www.about.com
- www.nist.gov
-



5. Onde encontrar informação sobre materiais?

Outras 5 grandes bases de dados a considerar:

- BIOSIS - Biological Abstracts (www.biosis.org): índices e abstracts na área da biologia, bioquímica e outros ramos da ciência associados;
- INSPEC - Physics Abstracts, Electrical and Electronics Abstracts, Computer and Control Abstracts (www.iee.org.uk): mais de 2 milhões de referências desde 1969;
- CAS - Chemical Abstracts and the Registry File (www.cas.org): papers, livros e outras publicações técnicas na área da química, bioquímica e áreas afins;
- COMPENDEX (www.ei.org): Índices e abstracts de diversas publicações técnicas e científicas na área da engenharia;
- Science Citation Index (www.isinet.com): mais de 3500 publicações técnicas e científicas cobrindo cerca de 150 disciplinas (incluindo muitas referências na área dos materiais).