

The background is a blue gradient with decorative white circuit board traces in the corners. The main title is centered in a yellow box.

SMM0193 – ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS I

Prof. Dr. José Benedito Marcomini

Prof. Marcomini

- **Engenharia de Materiais (UFSCar-1988);**
- **Mestrado em Engenharia Mecânica: Materiais e Processos, área de concentração: Transformação de fases, Fragilização e Fratura (Unicamp-2008);**
- **Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais: área de concentração: Transformação de Fases, Fragilização e Fratura (Poli-USP-2012);**
- **Pós-doutorado: Propagação de trincas, por fadiga, em aço microligado, em ambientes agressivos (UFSCar-2017);**
- **Experiência industrial: 22 anos em indústrias em vários segmentos: automotiva, equipamentos de óleo & gás, movimentação, mineração, eólica, siderurgia e hidromecânicos;**
- **Qualificado em ultrassom Nível 2- e Supervisor de Proteção Radiológica em Medidores Nucleares pela CNEN**
- **Atua na área de aços há 30 anos;**
- **USP- desde 2013;**
- **Áreas de atuação: Metalurgia Física/Transformação de fases, Comportamento Mecânico e Análise de Falhas.**

Metodologia: serão disponibilizados no moodle (e-disciplinas):

- **Slides** da aula em pdf;
- Aulas teóricas e práticas (3), relatórios em grupo;
- **Dúvidas** na aula ou por e-mail para:
 - **Júnio**, doutorando do SMM, estagiário do PAE
(junio.pasqual@usp.br) ;
 - José Benedito **Marcomini**, professor,
(jmarcomini@usp.br)

Programa-Turma de terça-feira

Semana de aula	Data da aula	Conteúdo	Tipo de Aula (T/P)
X	X	Semana de recepção de calouros 24 a 28/02	
X	X	Carnaval 03 a 05/03	
1ª	11/03	Introdução à Ciência e Engenharia, classificação dos materiais, estrutura e ligação atômica	T
2ª	18/03	Estrutura dos sólidos cristalinos	T
3ª	25/03	Imperfeições em sólidos e Difusão	T
4ª	01/04	Experimento I: Microestrutura, contorno de grão, fases sólidas	P (sugestão de técnicos: Alberto, Ricardo e João)
5ª	08/04	Mecanismos de aumento de resistência	T
X	X	Semana Santa 14/04 a 18/04	
X	X	Tiradentes	
6ª	29/04	Ensaio mecânicos (tração, Charpy, dureza) e introdução à análise de falhas	T

7ª	06/05	Experimento II: ensaios mecânicos	P (sugestão de técnicos: Douglas e Denilson)
8ª	13/05	Prova 1	T
9ª	20/05	Diagramas de Fase, diagrama Isomorfo, diagrama Eutético e Regra de Gibbs	T
10ª	27/05	Diagrama Fe-C e transformação de fases, principais tratamentos térmicos dos aços: Tipos de recozimento: Alívio de tensões, Recozimento de homogeneização, Recozimento pleno, Esferoidização, Recozimento de recristalização, tempera e revenimento.	T
11ª	03/06	Continuação de Recozimento de recristalização, tempera e revenimento. Diagramas TTT, TRC.	T
12ª	10/06	Ligas não ferrosas: ligas de alumínio, magnésio, zinco, cobre e superligas	T
13ª	17/06	Corrosão e proteção contra a corrosão, tipos de corrosão e métodos de proteção.	T

14ª	24/06	Experimento III: Corrosão	P (sugestão de técnicos: Alberto e Pedro)
15ª	01/07	Prova 2	T

$$\text{Nota Final} = 0,8 \left[\frac{(P1 + P2)}{2} \right] + 0,2[\text{média questões/rel.}] \text{ maior ou igual a } 5$$

Não haverá prova substitutiva!

Programa-Turma de quarta-feira

Semana de aula	Data da aula	Conteúdo	Tipo de Aula (T/P)
X	X	Semana de recepção de calouros 24 a 28/02	
X	X	Carnaval 03 a 05/03	
1ª	12/03	Introdução à Ciência e Engenharia, classificação dos materiais, estrutura e ligação atômica	T
2ª	19/03	Estrutura dos sólidos cristalinos	T
3ª	26/03	Imperfeições em sólidos e Difusão	T
4ª	02/04	Experimento I: Microestrutura, contorno de grão, fases sólidas	P (sugestão de técnicos: Alberto, Ricardo e João)
5ª	09/04	Mecanismos de aumento de resistência	T
X	X	Semana Santa 14/04 a 18/04	
X	X	Tiradentes	
6ª	30/04	Ensaio mecânicos (tração, Charpy, dureza) e introdução à análise de falhas	T
7ª	07/05	Experimento II: ensaios mecânicos	P (sugestão de técnicos: Douglas e Denilson)

8ª	14/05	Prova 1	T
9ª	21/05	Diagramas de Fase, diagrama Isomorfo, diagrama Eutético e Regra de Gibbs	T
10ª	28/05	Diagrama Fe-C e transformação de fases, principais tratamentos térmicos dos aços: Tipos de recozimento: Alívio de tensões, Recozimento de homogeneização, Recozimento pleno, Esferoidização, Recozimento de recristalização, tempera e revenimento.	T
11ª	04/06	Continuação de Recozimento de recristalização, tempera e revenimento. Diagramas TTT, TRC.	T
12ª	11/06	Ligas não ferrosas: ligas de alumínio, magnésio, zinco, cobre e superligas	T
13ª	18/06	Corrosão e proteção contra a corrosão, tipos de corrosão e métodos de proteção.	T
14ª	25/06	Experimento III: Corrosão	P (sugestão de técnicos: Alberto e Pedro)
15ª	02/07	Prova 2	T

$$\text{Nota Final} = 0,8 \left[\frac{(P1 + P2)}{2} \right] + 0,2[\text{média questões/rel.}] \text{ maior ou igual a } 5$$

Não haverá prova substitutiva!

AVISOS

- **Presença:** deve conter a **assinatura do aluno na folha de frequência**, caso contrário ficará com **falta**. Se na **lista de presença não houver o mínimo de frequência** o aluno será **reprovado por falta**. Se o nome não estiver na lista **escreva e assine.**;
- **Atestado médico para o professor não abona falta.** Qualquer pedido de abono de falta/perda de prova deve ser **via serviço de graduação/secretaria**. **O professor não tem autorização para abonar falta diretamente;**
- **Relatórios das práticas, quando for solicitado, deve ser feito em grupo com, no máximo 3 componentes. Fazer digitado e não manuscrito, em pdf e enviar para o e-mail do Júnio;**

BIBLIOGRAFIA SUGERIDA

CALLISTER, W.D. – Ciência e Engenharia de Materiais – Uma Introdução, Ed. LTC

COSTA, A.L.C & MEI, P.R. – Aços e ligas especiais. 2a.ed. Eletrometal, Sumaré, SP, 2006.

COLPAERT, H. – Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns, Ed. Blucher.2012.

BARREIRO, J.A – Tratamientos térmicos de los aceros. 8a.ed. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Madrid, 1985.

CHIAVERINI, V. – Aços e ferros fundidos. Associação Brasileira de Metais, SP, 1977.

ASM Metals Handbook, vol. 4. 2009.

BROOKS, Charlie R. – Principles of the heat treatment of plain carbon and low alloy steels, 1996.

SUBARAO, E.C.; **CHAKRAVORTY, D.;** **MERIAM, M.F;** **REGHAVAN V., SINGHAL, L.K.** – Experiências de ciências dos materiais. Ed. Edgard Blücher, Ed. Da Universidade de São Paulo, 1973, pag. 236.

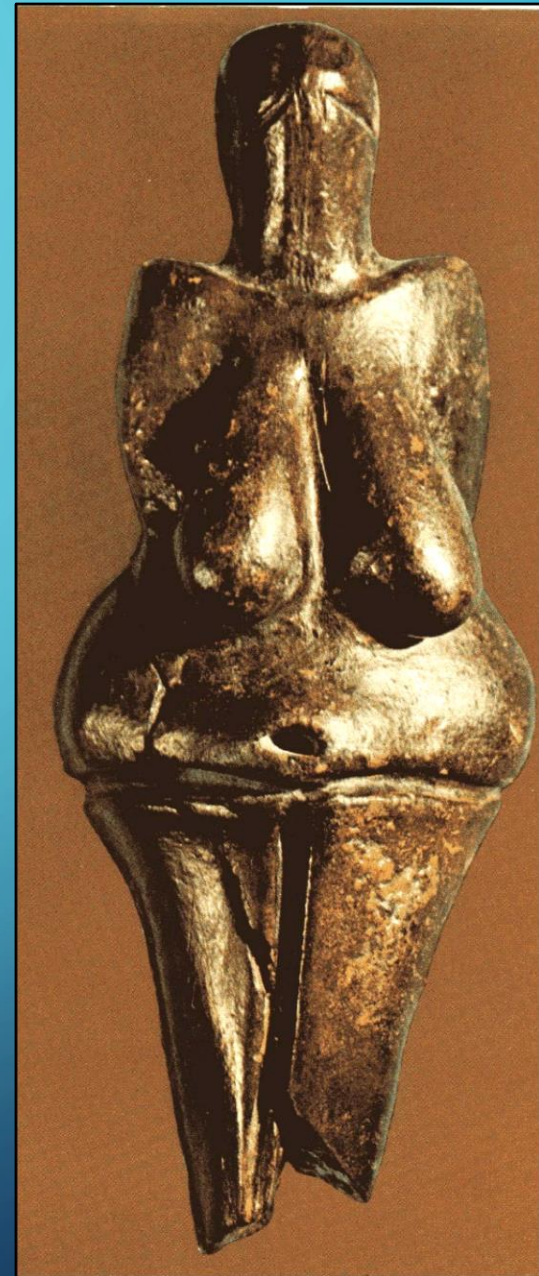
GARCIA, A., SPIM, J. A., SANTOS, C. A, Ensaio dos Materiais, Ed. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2000.

The background is a blue gradient with white circuit-like lines in the corners. A yellow rectangular box is centered on the page.

INTRODUÇÃO

Primeiro artefato fabricado pelo homem. Encontrada na atual República Tcheca

Imagem da “Vênus” de Dolní Věstonice, cerâmica (argila cozida) - datada de 23.000 a.C. (Paleolítico)

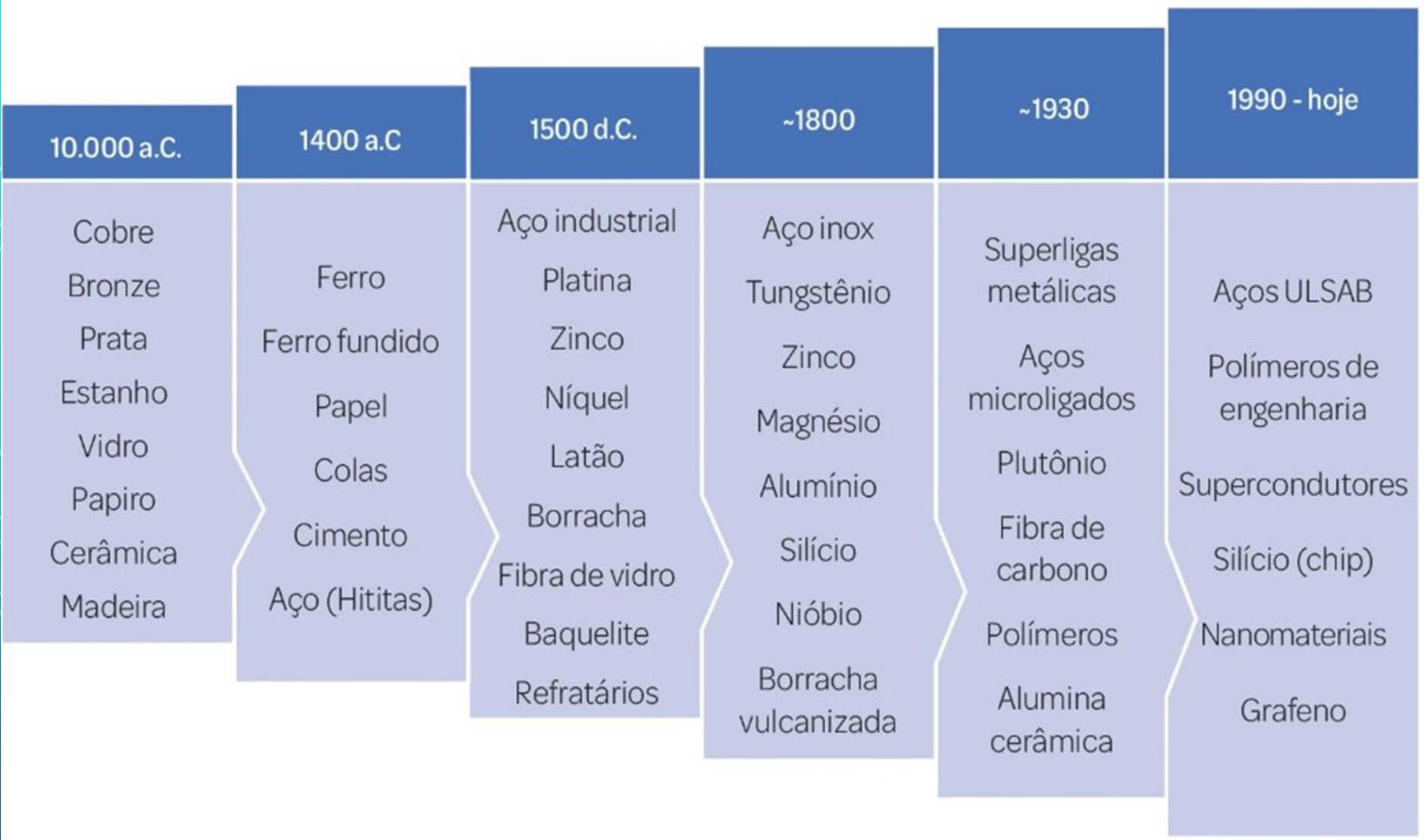


Histórico

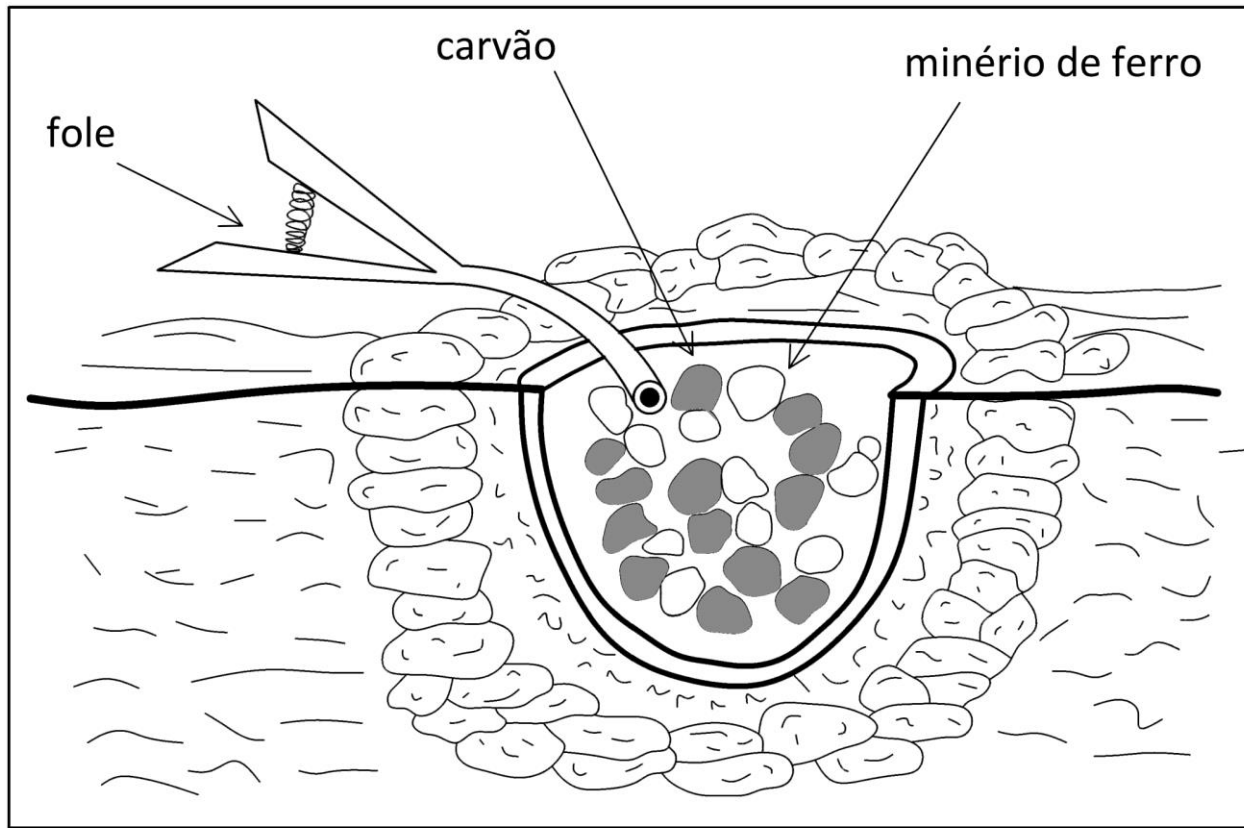
Idade da Pedra

Idade dos Metais





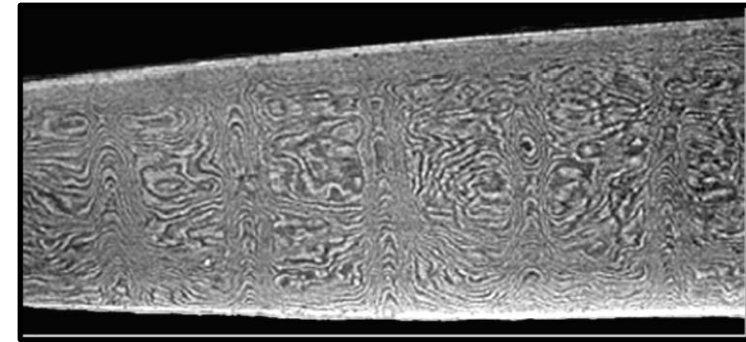
1.200 - 1400 a.C., os Hititas no sul da atual Turquia desenvolveram um processo para produção de espadas de “aço” por meio da redução direta do ferro



HISTÓRIA – PRIMEIRO MILÊNIO D.C. – AÇO DE DAMASCO

	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	Cu
Damascus	1.41	<0.01	0.098	0.006	0.05	0.04	<0.01	<0.01	0.09

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



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

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



FABRICAÇÃO DO AÇO DE DAMASCO

Minas específicas da Índia

Minério com traços de V, Mn, Cr, Co E Ni.

Fundição com madeira da “Cassia auriculata” e folhas da “Calotropis gigantean”



Cassia auriculata



Calotropis gigantean

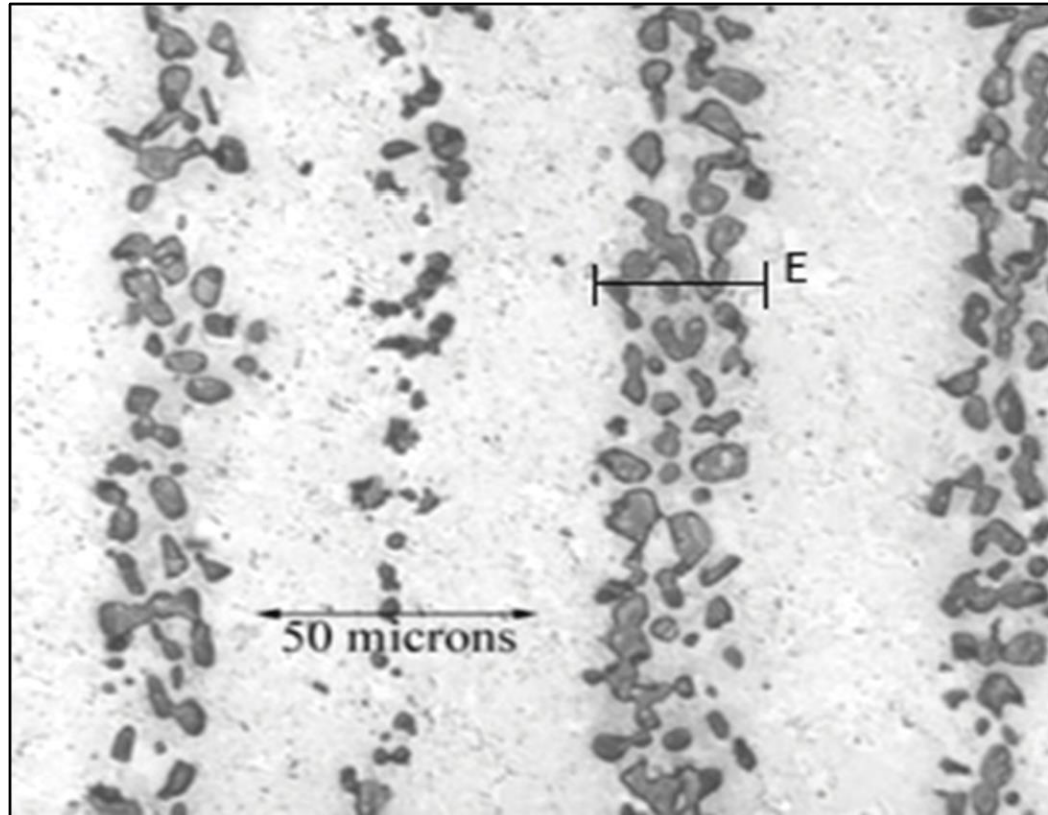
AÇO WOOTZ

DAMASCO-SÍRIA

Forjamento e tratamentos térmicos cíclicos

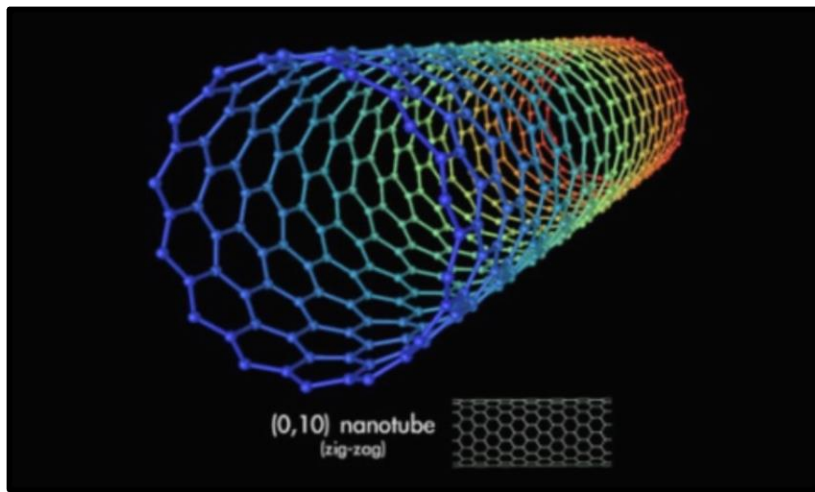


CONSEQUÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DA ECM E MF - ARQUEOMETALURGIA



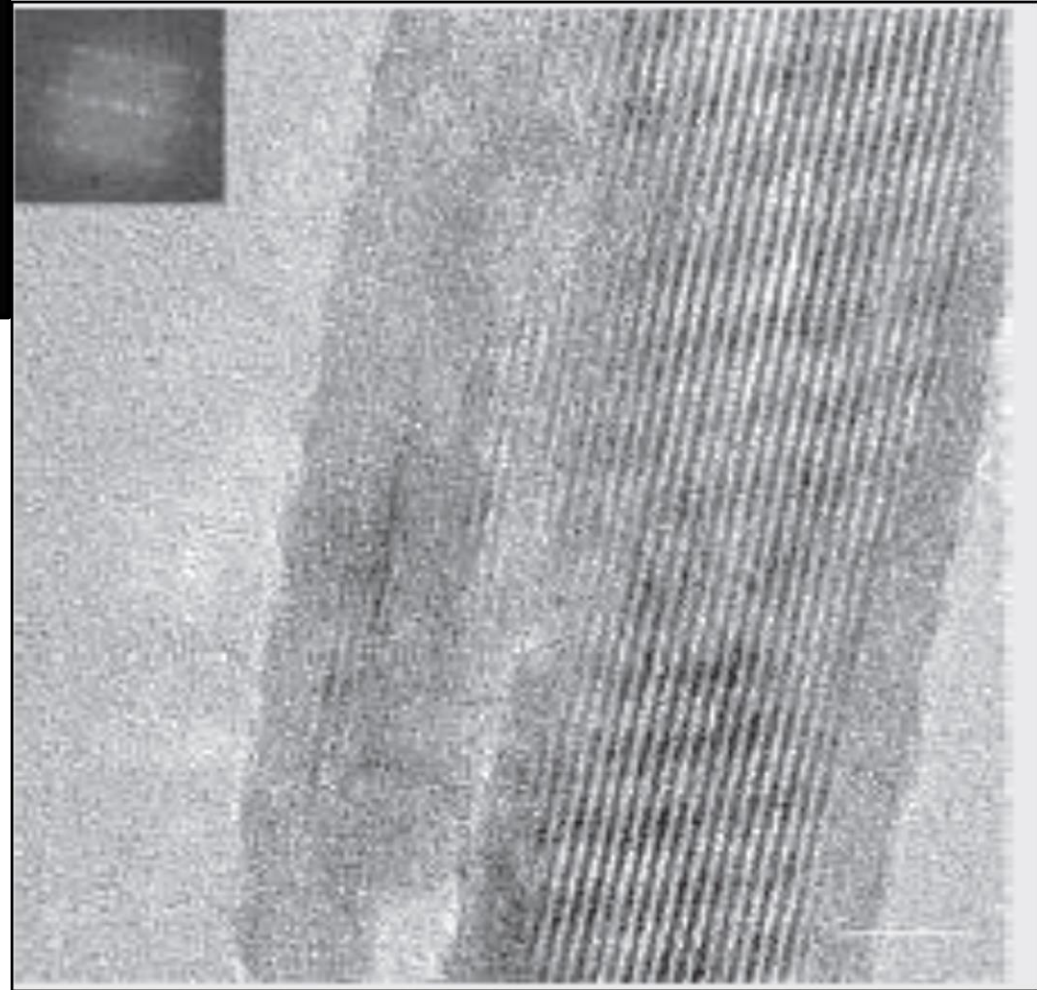
Figuras 4. Bandas de partículas de cementita (região escura) dentro de uma matriz ferrítica (região clara da figura).

CARBONETOS ALINHADOS EM MATRIZ PERLÍTICA.



**CIÊNCIA DOS
MATERIAIS**

**“Remnants of cementite
nanowires encapsulated
by carbon
Nanotubes”**



NATURE|Vol 444|16 November 2006

Em 1808, Alois von Widmanstätten (1753-1849) observou pela primeira vez estruturas ferríticas num meteorito caído em Agram [Smith, 1960].

CIÊNCIA DOS MATERIAIS- BASE PARA A METALURGIA FÍSICA

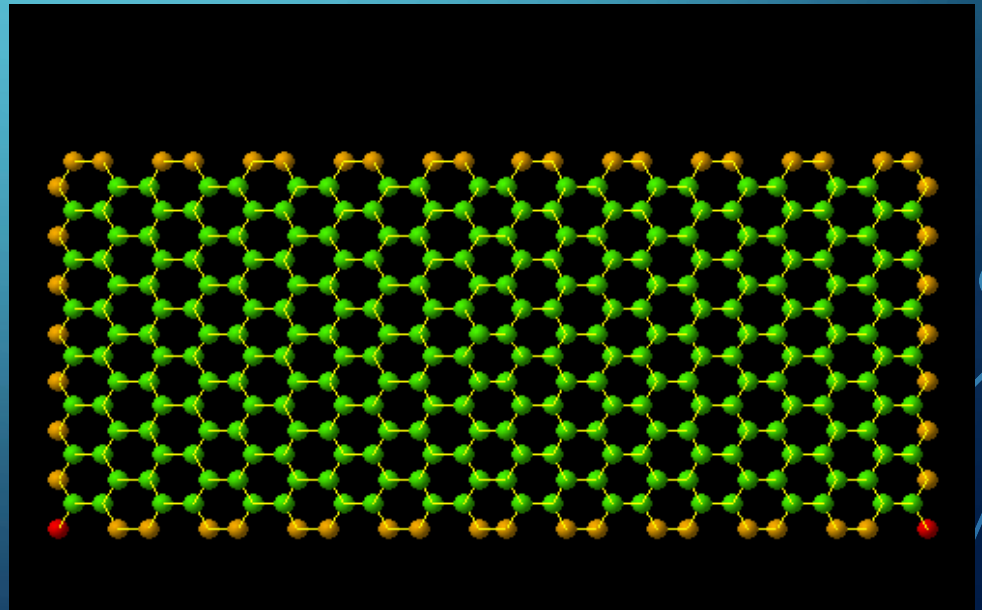


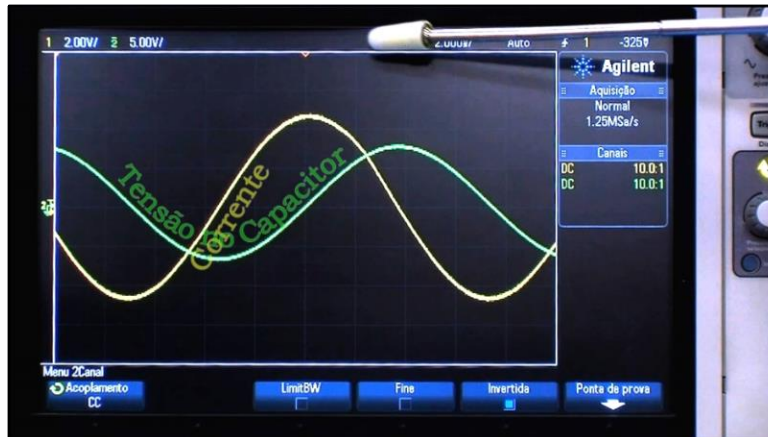
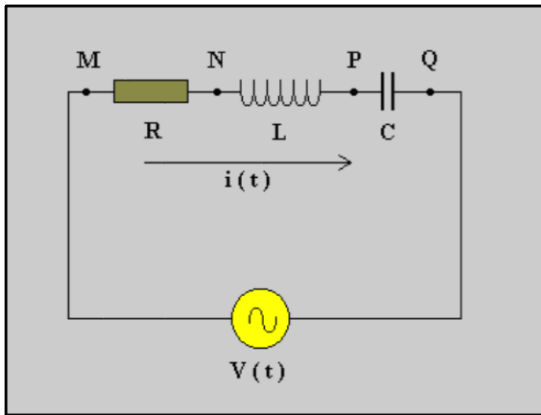
**Meteorito de Ferro-
Níquel (siderito) –
estrutura de
Widmanstätten**

Agram é o nome em alemão e russo da capital da croácia que em croata é Zagreb

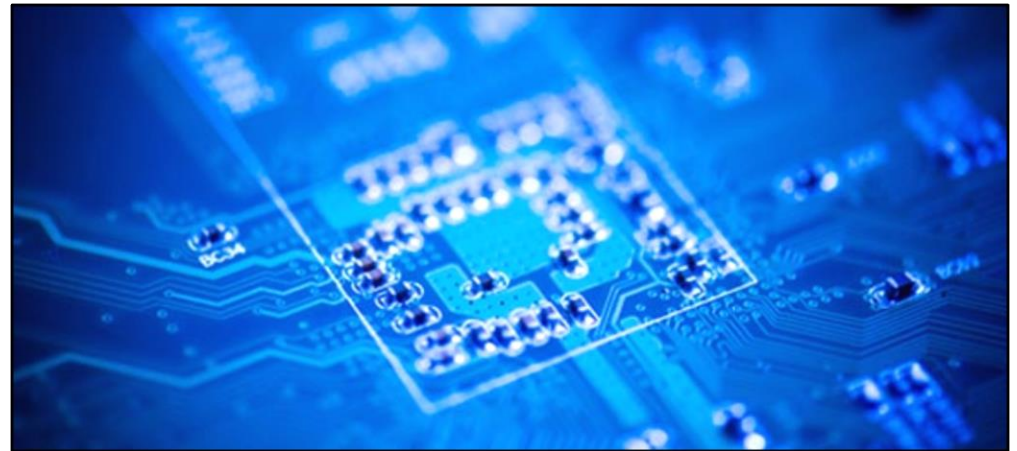
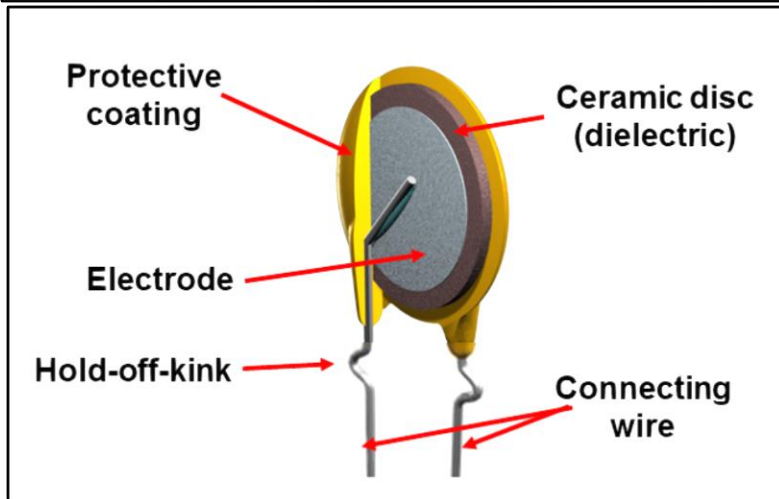
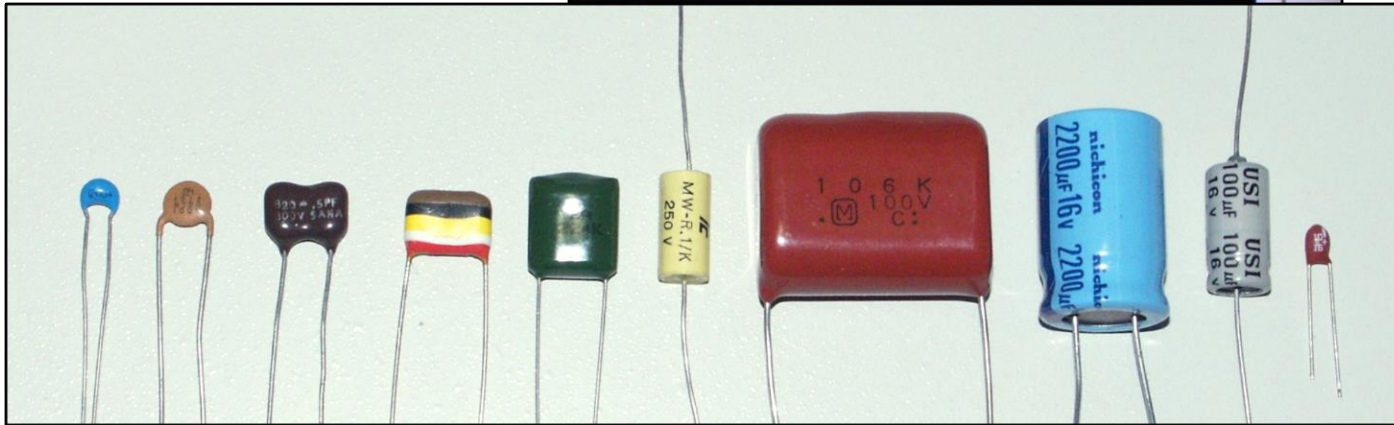
O termo “**polímero**” foi criado em **1832** pelo químico sueco **J. J. Berzelius** (1779-1848) e só veio a ser usado com o significado atual após **1922**. Os primeiros experimentos com polímeros foram realizados com borracha natural. O físico **Michael Faraday** fez uma **análise química elementar da borracha em 1826**.



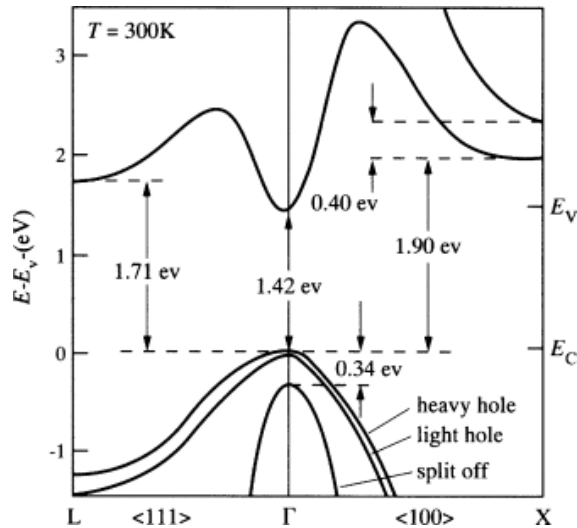
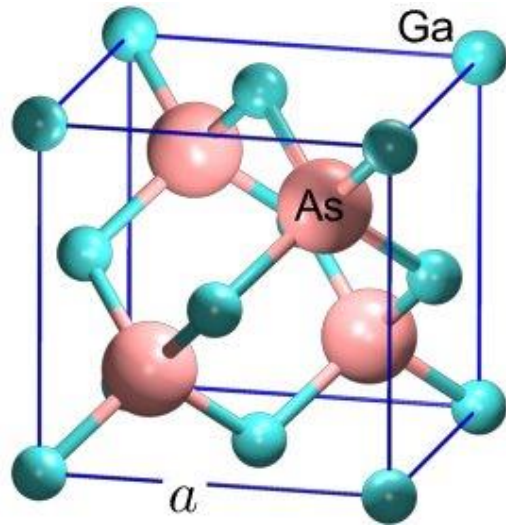




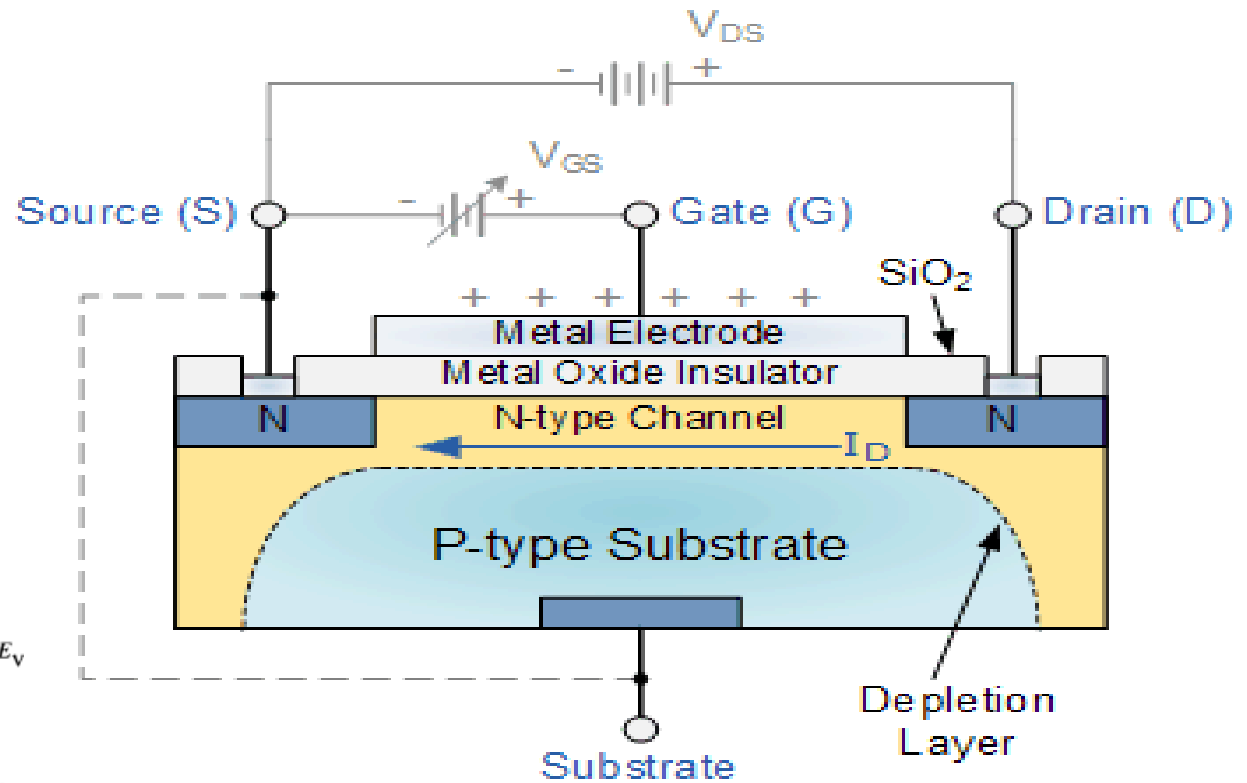
CERÂMICAS ELETRÔNICAS - CAPACITOR



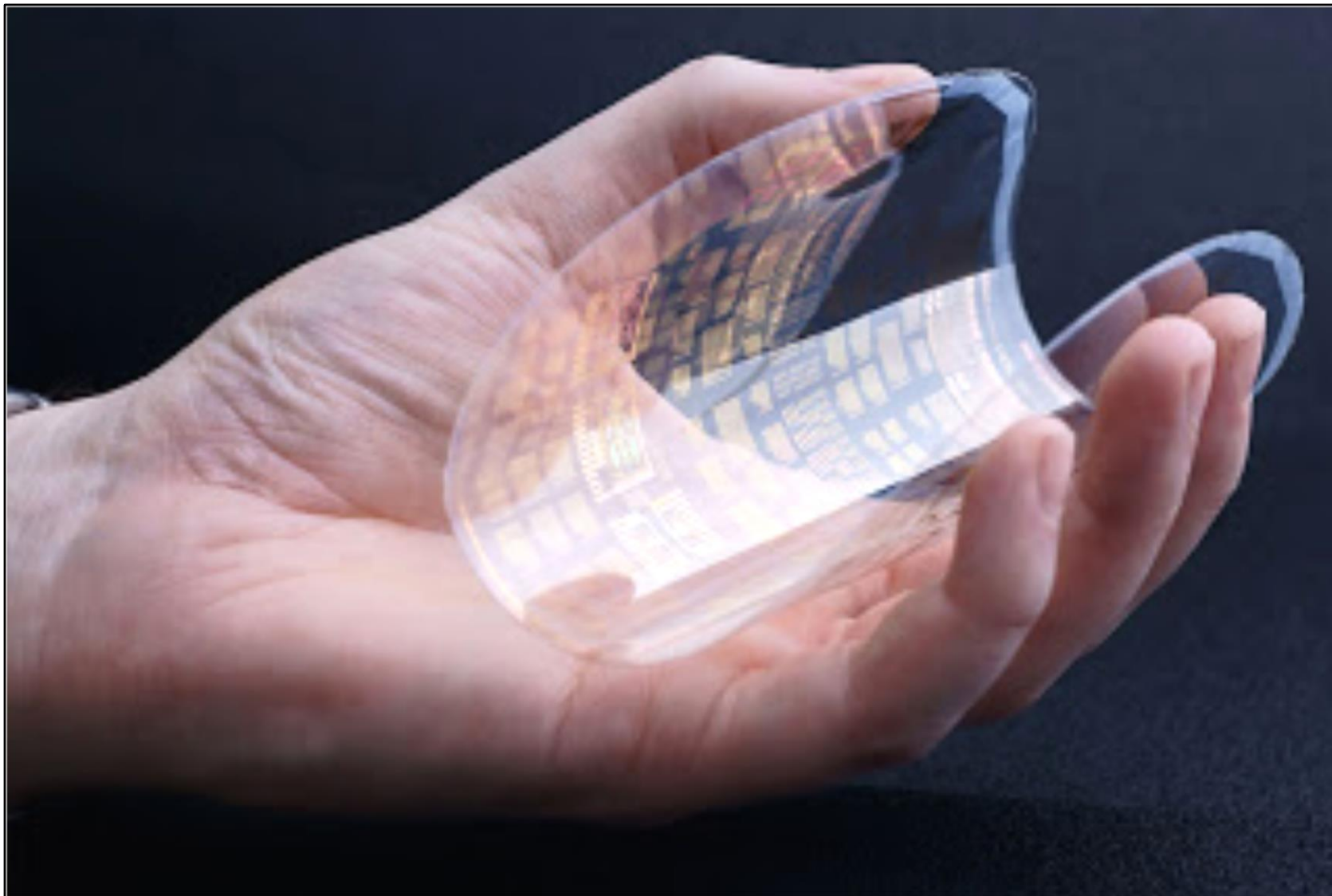
- Em 1947- transistor: Si e Ge;
- Em 1970- GaAs/ MOSFET



MOSFET

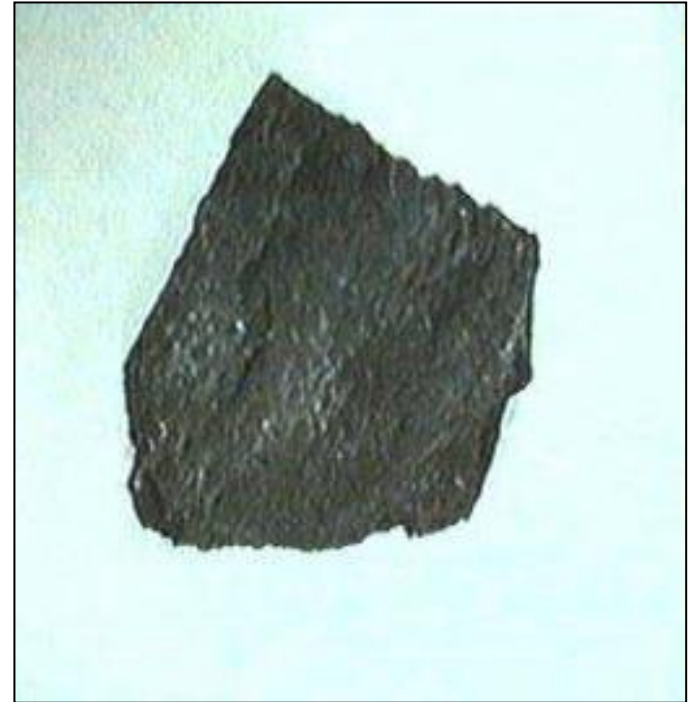
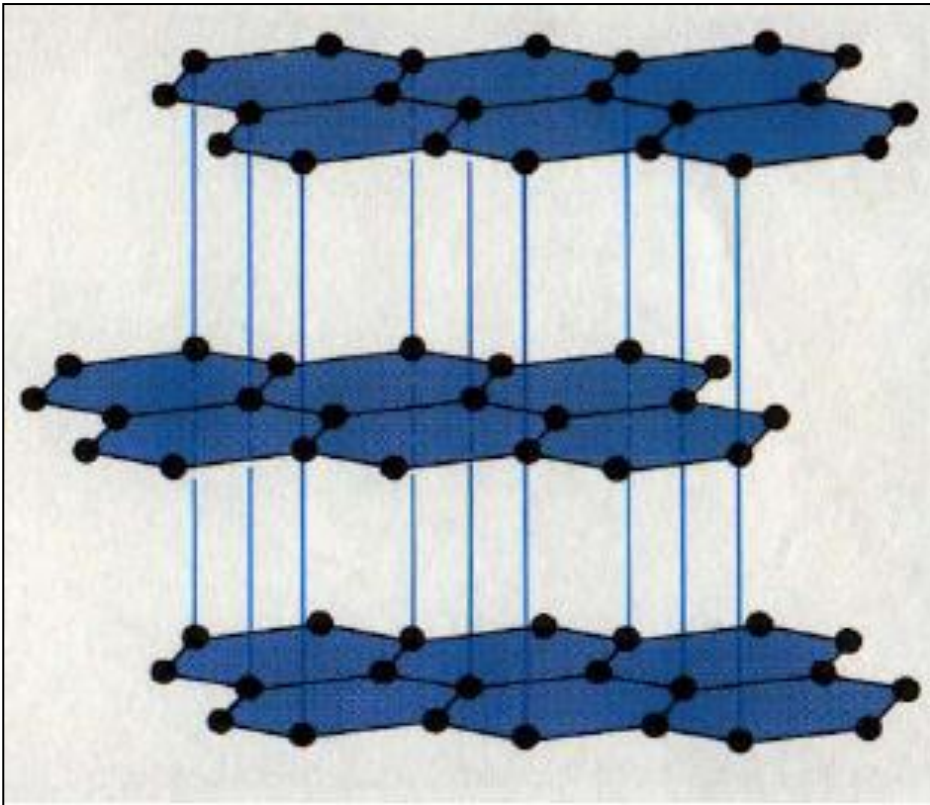


ESPECIAIS - GRAFENO



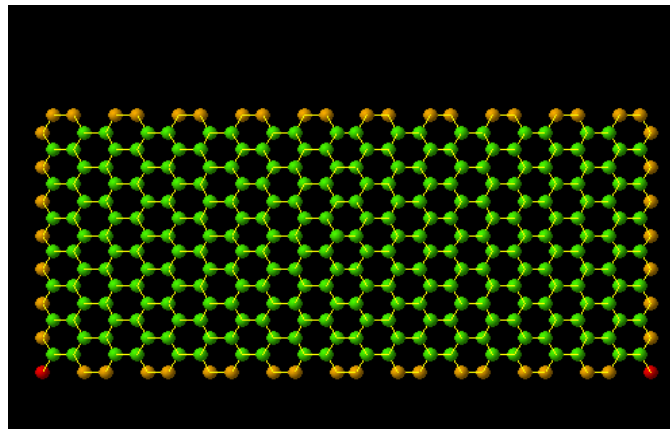
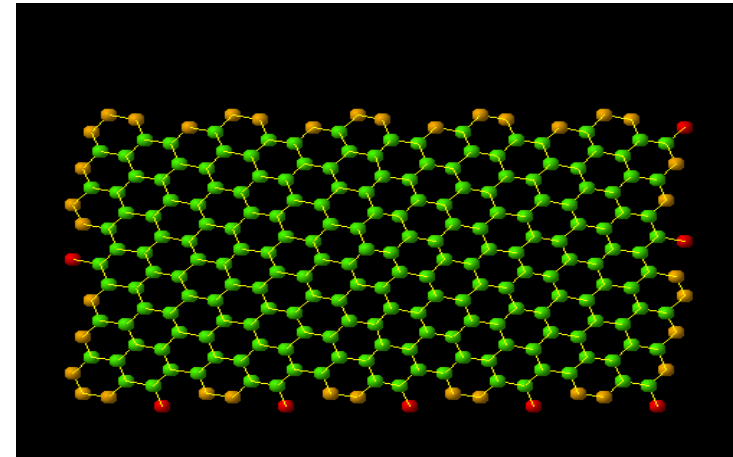
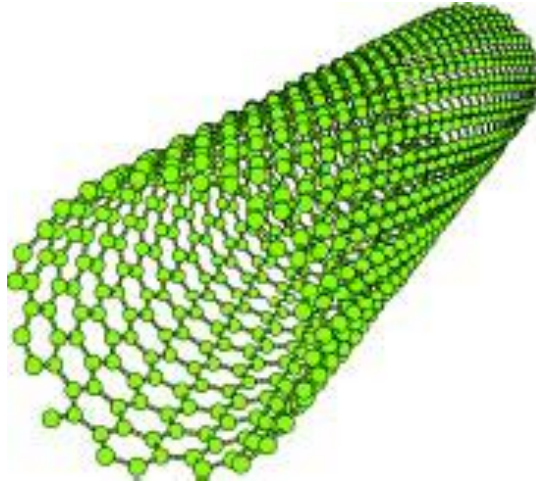
ESPECIAIS - GRAFENO

Grafite



ESPECIAIS - GRAFENO

- **Descoberta dos Nanotubos de Carbono, 1991**
- **1993, foi demonstrada a existência de nanotubos de única camada**



GRAFENO

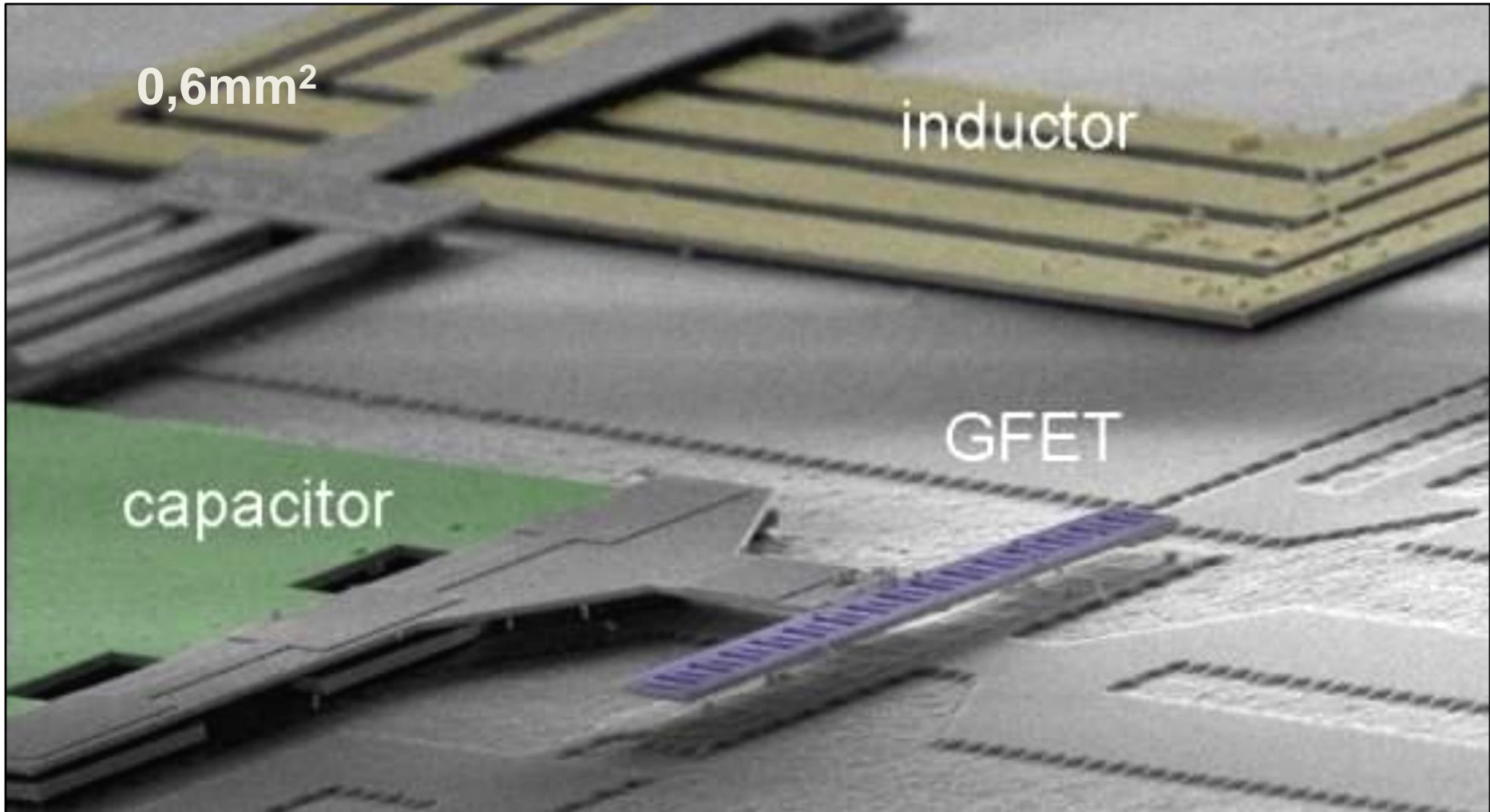
0,6mm²

inductor

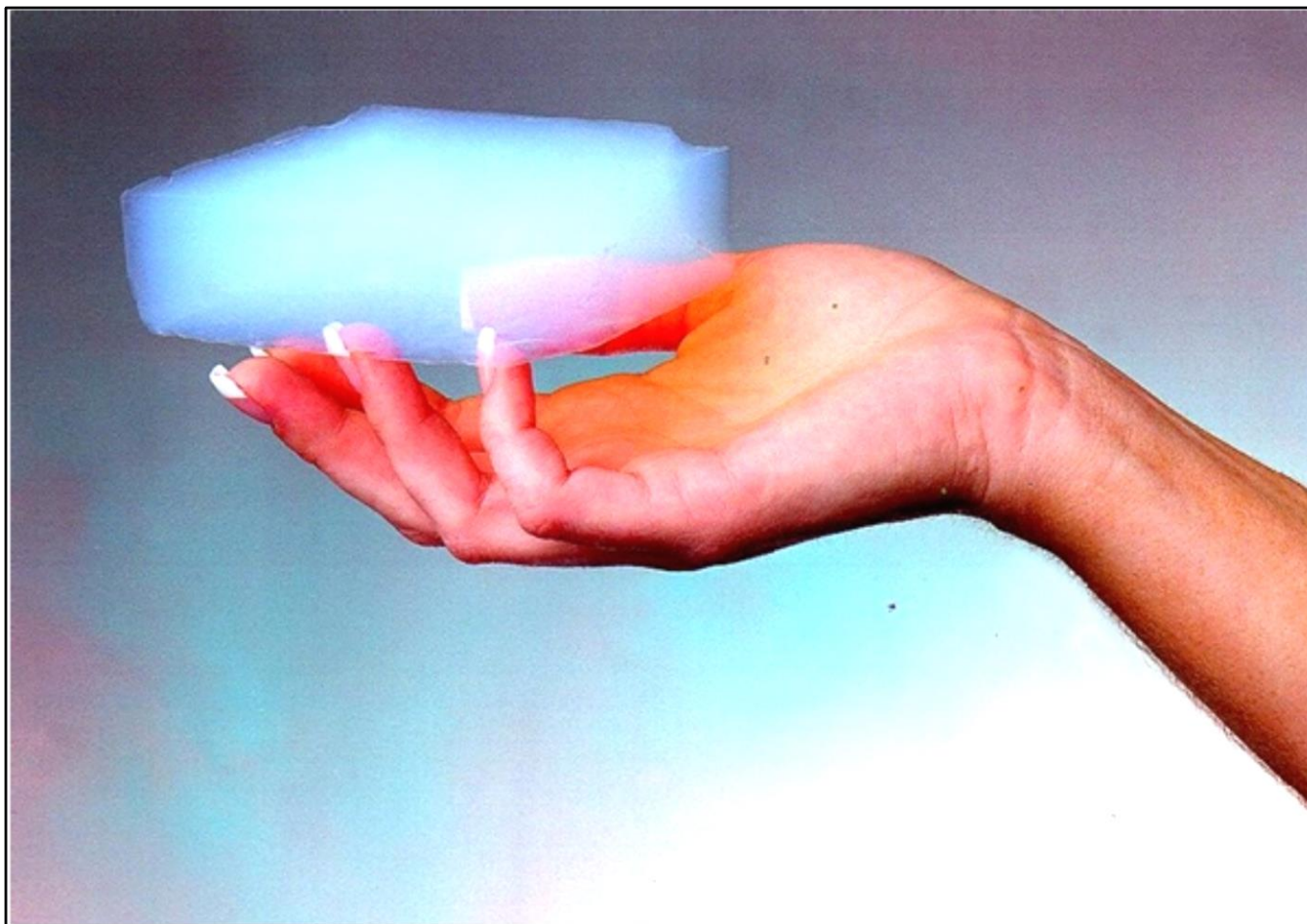
capacitor

GFET

TRANSISTOR DE GRAFENO-GFET



MATERIAIS COM PROPRIEDADES ESPECIAIS

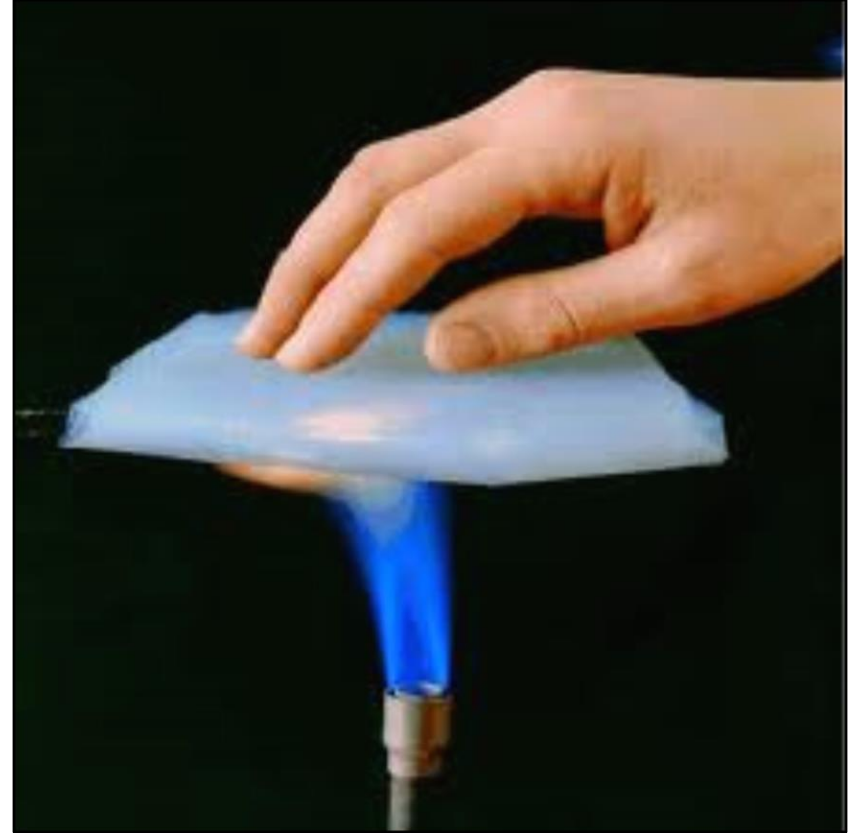
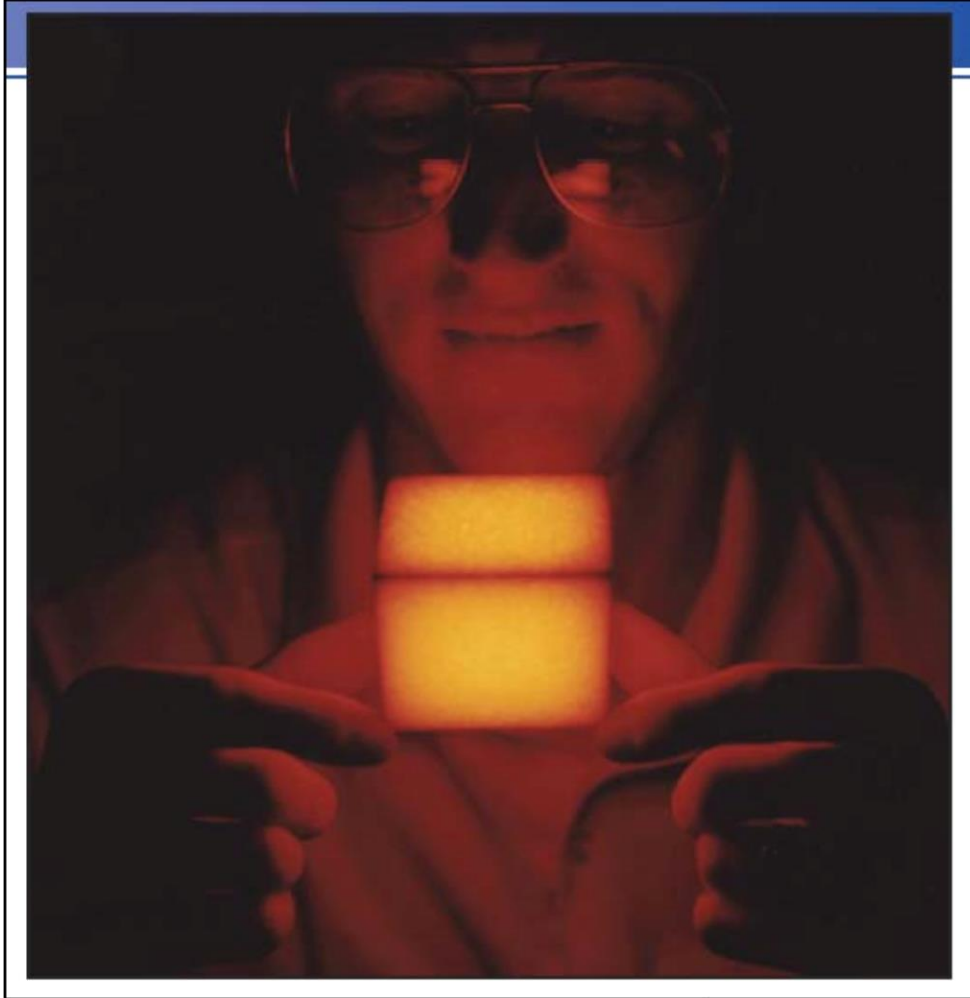


AEROGEL

AEROGEL

O aerogel foi criado por Steven Kistler, em 1931, como resultado de uma aposta com Charles Learned, para tentar substituir o líquido de gelatinas por gás, sem causar encolhimento. Trata-se de Sílica com 90% a 98% de ar. Processo complexo.

EXCELENTE ISOLANTE TÉRMICO



**PODERIA SER UTILIZADO EM OUTRAS APLICAÇÕES,
COMO ISOLANTE TÉRMICO.**

PROBLEMA ERA RESISTÊNCIA MECÂNICA.

**SOLUÇÃO: INTRODUÇÃO DE NANOTUBOS DE
CARBONO COM FULERENOS BUCKMINSTER.**

'Bola' de carbono fascina cientistas

ISAAC ASIMOV



Um novo tipo de carbono deixou os químicos fascinados em setembro do ano passado. A descoberta foi de uma equipe liderada por Donald R. Huffman, da

Universidade do Arizona, em Tucson, e de Wolfgang Krantschmer, do Instituto Max Plank, em Heidelberg, na Alemanha.

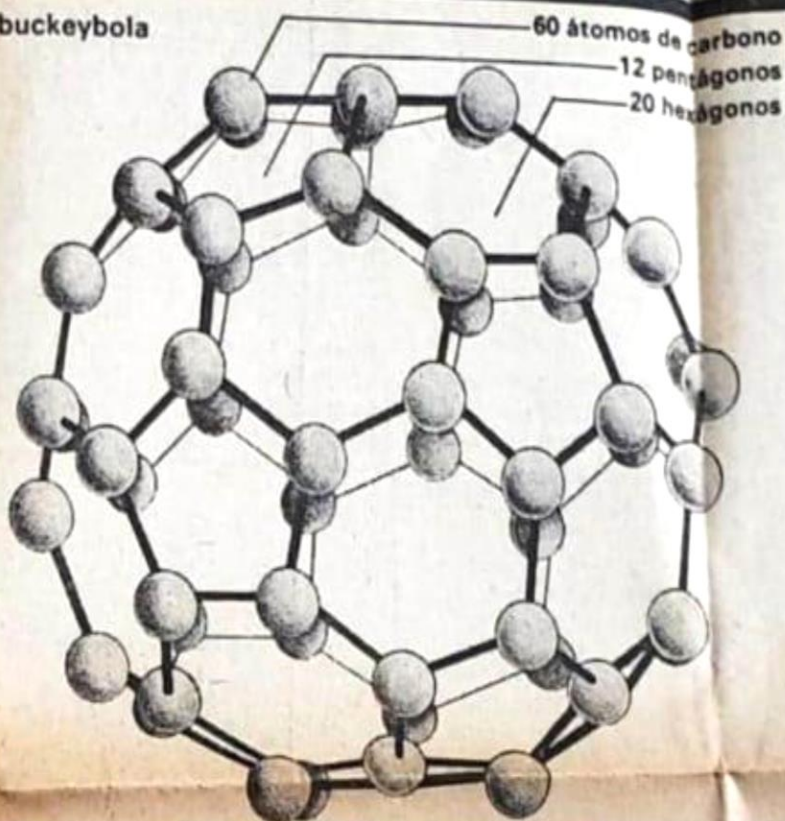
O átomo de carbono difere dos demais porque, primeiro, é muito pequeno e, por isso, pode ficar mais perto dos seus vizinhos e se ligar fortemente com eles; segundo, o carbono tem a capacidade de se ligar com quatro outros átomos ao mesmo tempo.

Como resultado, o carbono pode formar cadeias e anéis moleculares. A vida depende dessa habilidade dos átomos de carbono. Geralmente, quando eles se ligam uns aos outros, sobram "ganchos" químicos onde podem se ligar átomos de outros elementos. Em consequência, existe uma quantidade praticamente infinita de possíveis compostos de carbono. É o que explica a va-

Bola na rede

O novo tipo de molécula tridimensional de carbono é uma rede de 60 átomos formando uma esfera com 12 pentágonos e 20 hexágonos, como uma bola de futebol. Ela foi chamada de "buckeybola", em homenagem ao arquiteto Richard Buckminster Fuller, que projetou uma estrutura geodésica com essa forma.

A buckeybola



● Americanas fazem sexo mais cedo, diz pesquisa

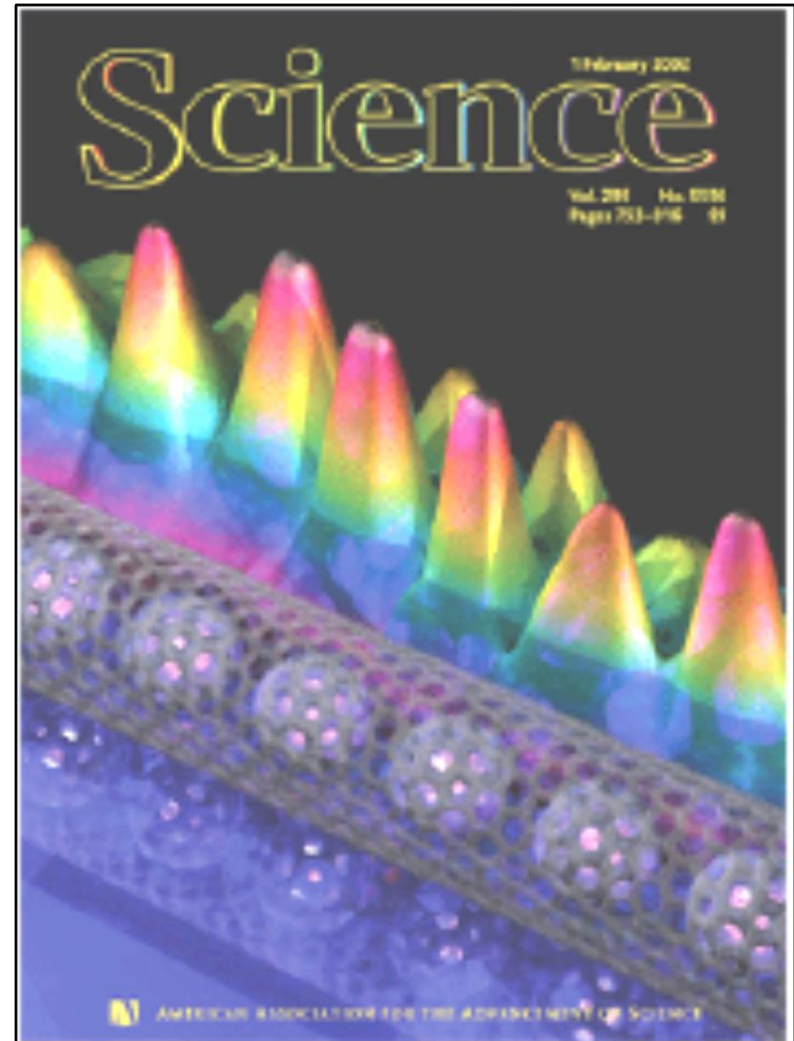
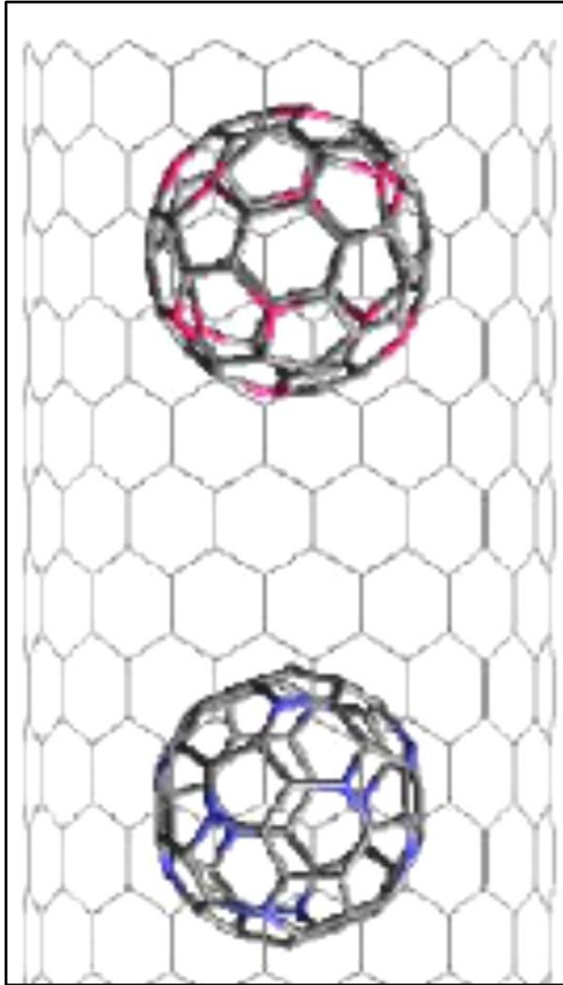
ATLANTA — O número de mulheres norte-americanas entre 15 e 19 anos que têm relações sexuais antes do casamento cresceu de 29%, em 1970, para 51,5%, em 1988, de acordo com o Centro de Controle de Doenças dos Estados Unidos (CDC). Em consequência, as doenças sexualmente transmissíveis também estão aumentando, segundo o CDC. Apenas 8,2% dessas adolescentes usam preservativos — o dobro do número de 1970.

● Melhora estado de saúde do frei Damião

O estado de saúde do frei capuchinho italiano Damião de Bozzano, vítima de embolia pulmonar, está melhorando. Aos 92 anos, ele foi internado na madrugada de sexta-feira no Hospital São Paulo. Ontem o frei já conseguia sentar e mantinha o ritmo cardíaco regular. Deve permanecer até segunda-feira na Unidade de Terapia Intensiva (UTI), onde está sendo acompanhado pela equipe do médico Miguel Boggian.

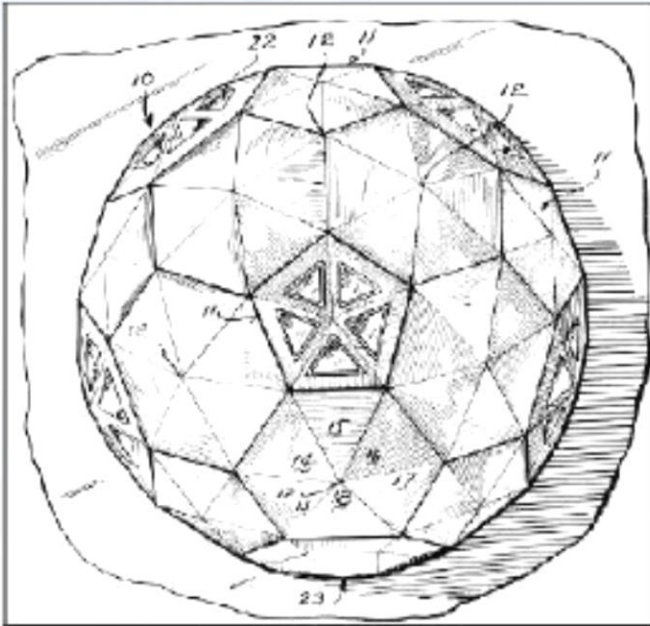
● Laboratório obtém células humanas em prove

FULERENO + NANOTUBO DE CARBONO

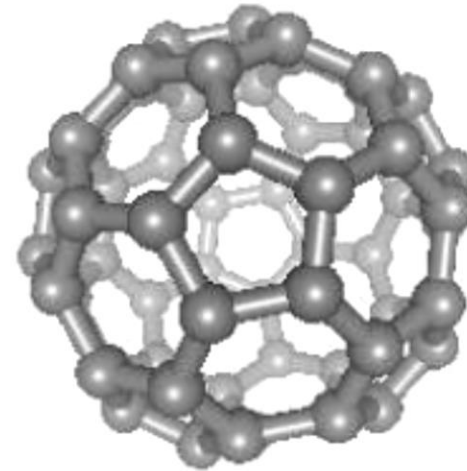


FULLER-ARQUITETO E PATENTEOU A FORMA

Cúpula geodésica



desenho da cúpula como
aparece na patente
(www.bfi.org)





Harold Kroto descobriu os fulerenos:

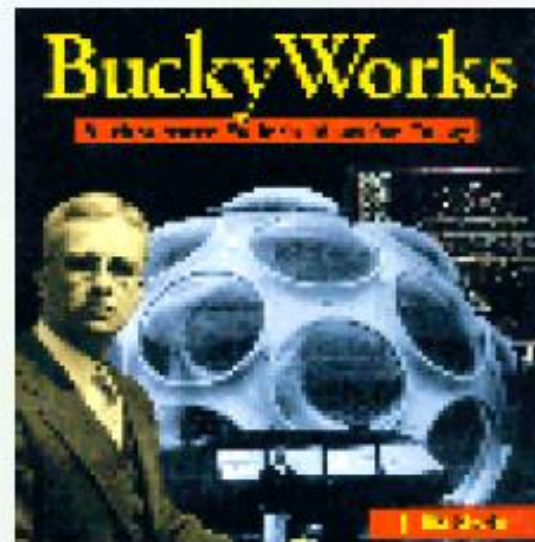


University of Sussex

e homenageou Richard Buckminster Fuller (de apelido Bucky) batizando as novas partículas de carbono de Buckminsterfullerene, ou buckyball

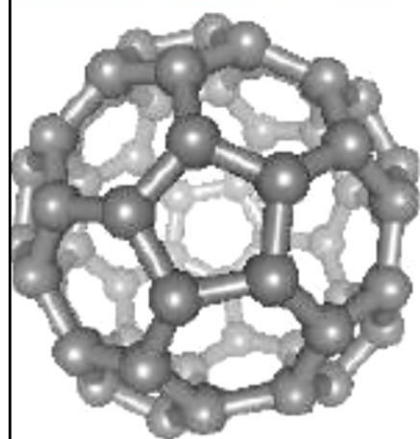
NATURE 318 (6042): 162-163, 1985

Prêmio Nobel de Química de 1996, em conjunto com Richard Smalley e Robert Curl

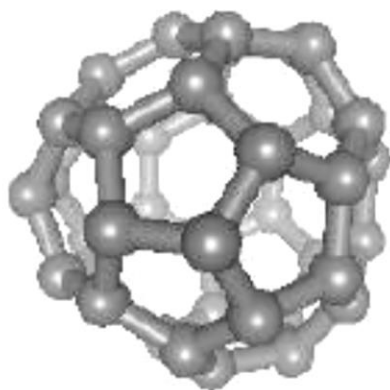


Fulerenos menores: 40 a 50 átomos de carbono

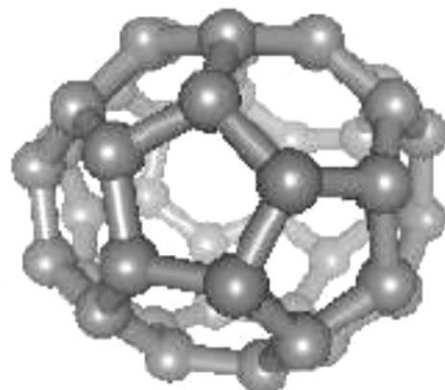
C_{60}



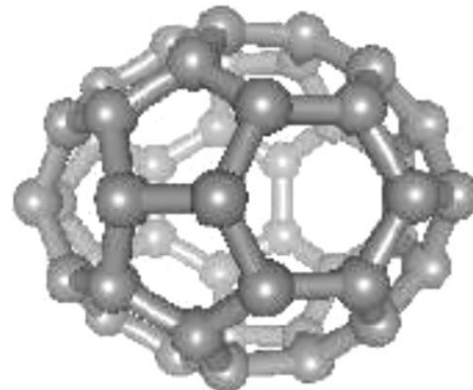
C_{40} [40]



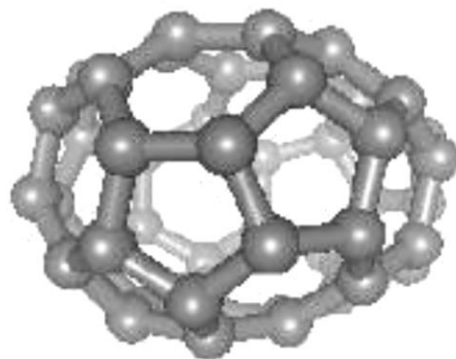
C_{42} [45]



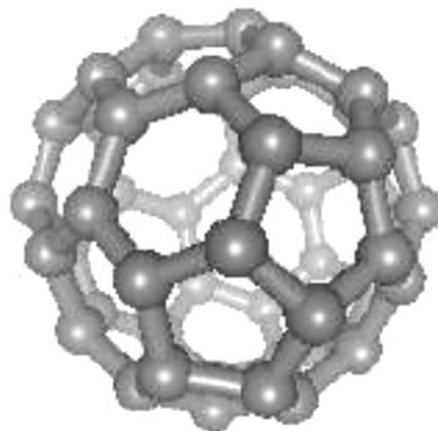
C_{44} [89]



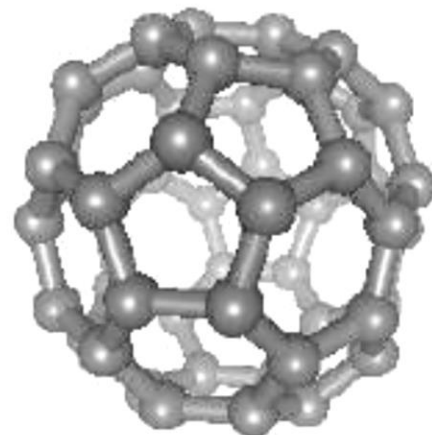
C_{46} [116]



C_{48} [199]



C_{50} [271]



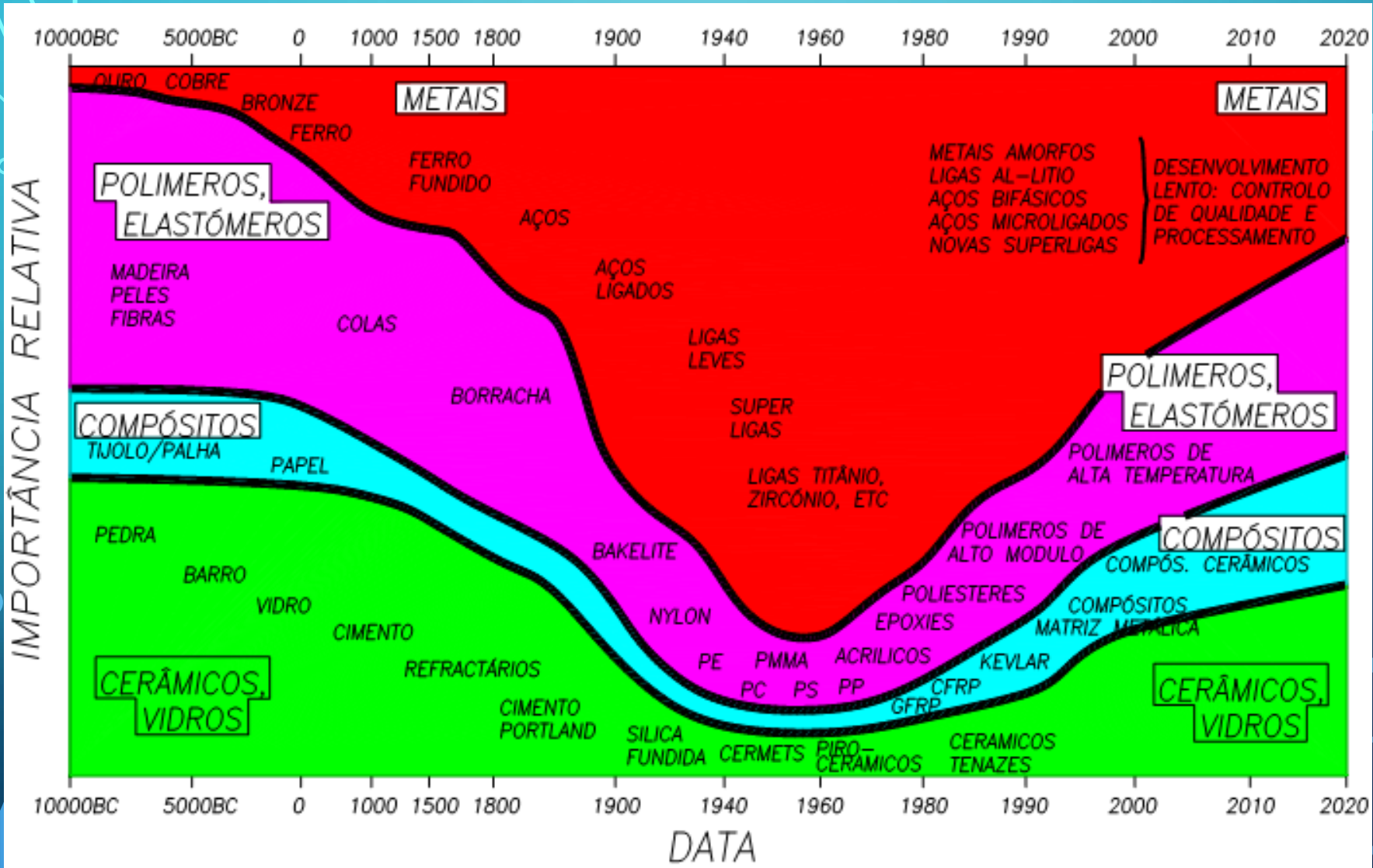
RESULTADO



APLICAÇÕES ISOLAÇÃO TÉRMICA NA INDÚSTRIA DE O&G



EVOLUÇÃO DOS MATERIAIS



O CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

O 1º curso de **graduação em Engenharia de Materiais** foi criado na universidade de **Sheffield, Inglaterra, em 1908.**

No Brasil, o responsável pela criação do curso de graduação em Engenharia de Materiais e da UFSCar foi o **Prof. Dr. Sergio Mascarenhas-DFCM-USP.** Em 1967, o DFCM, iniciou um processo de mudança, tendendo para **Física do Estado Sólido, Física da Matéria Condensada,** a partir das quais a ideia do curso de Ciência e Engenharia de Materiais se originou. A UFSCar foi fundada em 1969, com 2 cursos: **Engenharia de Ciência dos Materiais** e Licenciatura em Ciências (biologia), que foi desativado. Apesar das represálias, **Macarenhas** e seus colaboradores (**David Welch**-Universidade de Princeton, EUA e **Richard Williams**-Laboratório RCA, Radio Corporation of America) fizeram o 1º currículo do curso, em 1970. Foi convidado um grupo de professores, entre eles, o **Prof. Dr. Dionísio Garcia Pinatti (nome do prédio da Metais)** para a coordenar a criação do curso, que iniciou em **1971.**

ENGENHARIA DE MATERIAIS

MATERIAL

**COMPOSIÇÃO
QUÍMICA**

+

PROCESSAMENTO

ESTRUTURA

P

R

O

P

R

I

E

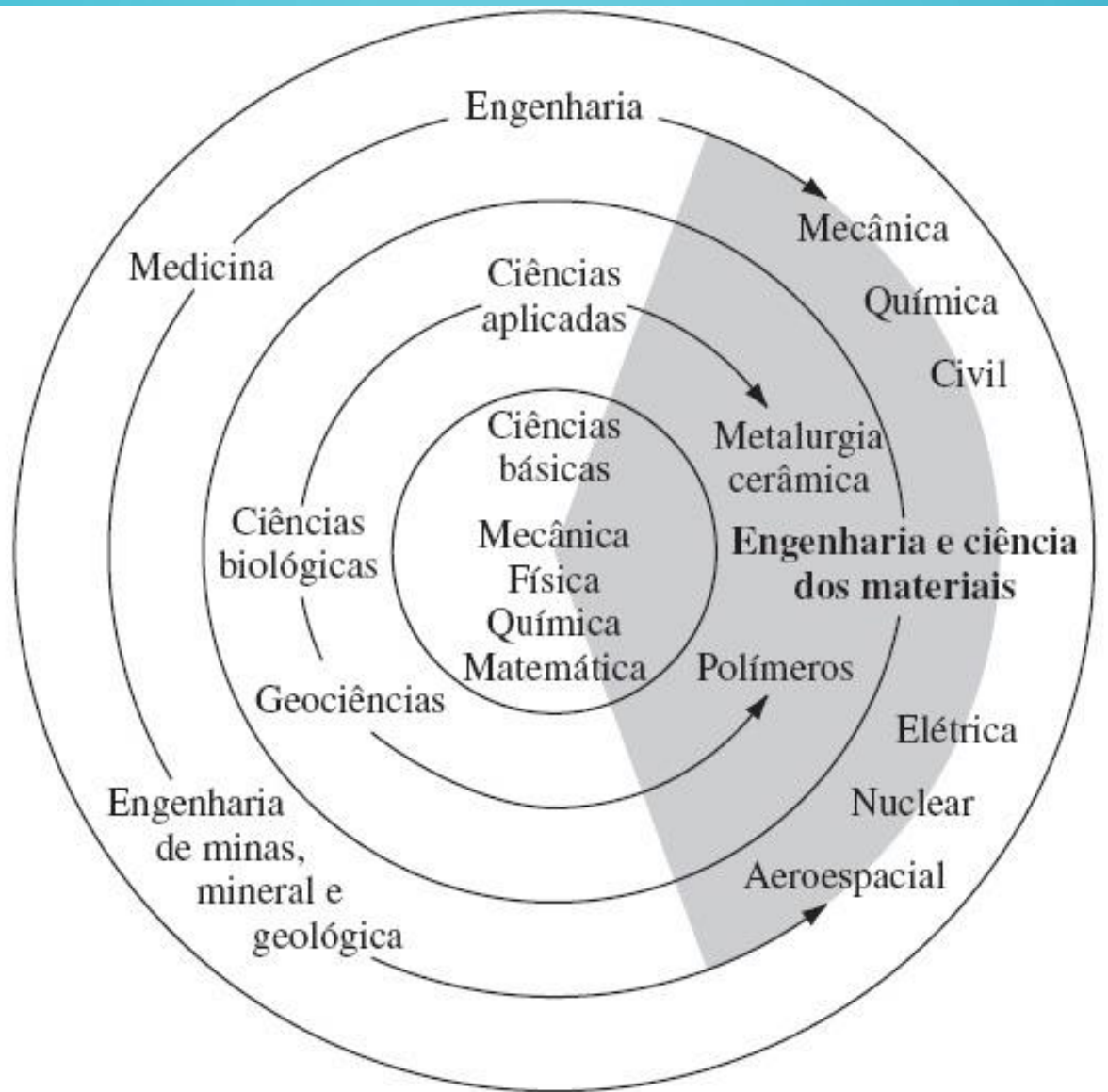
D

A

D

E

ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS

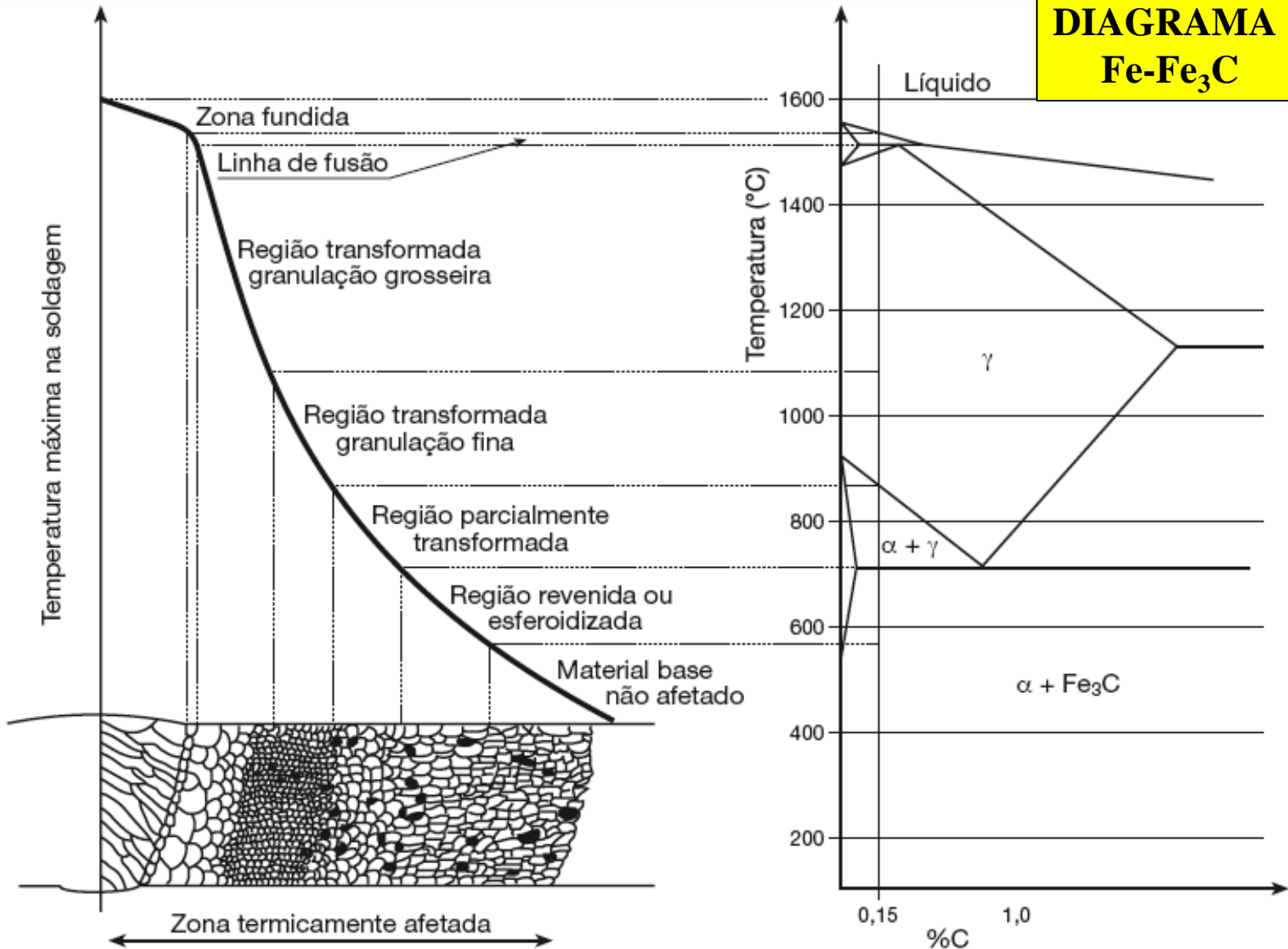


The background is a blue gradient with white circuit-like lines in the corners. The title is centered in a yellow box.

APLICAÇÃO DA ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS

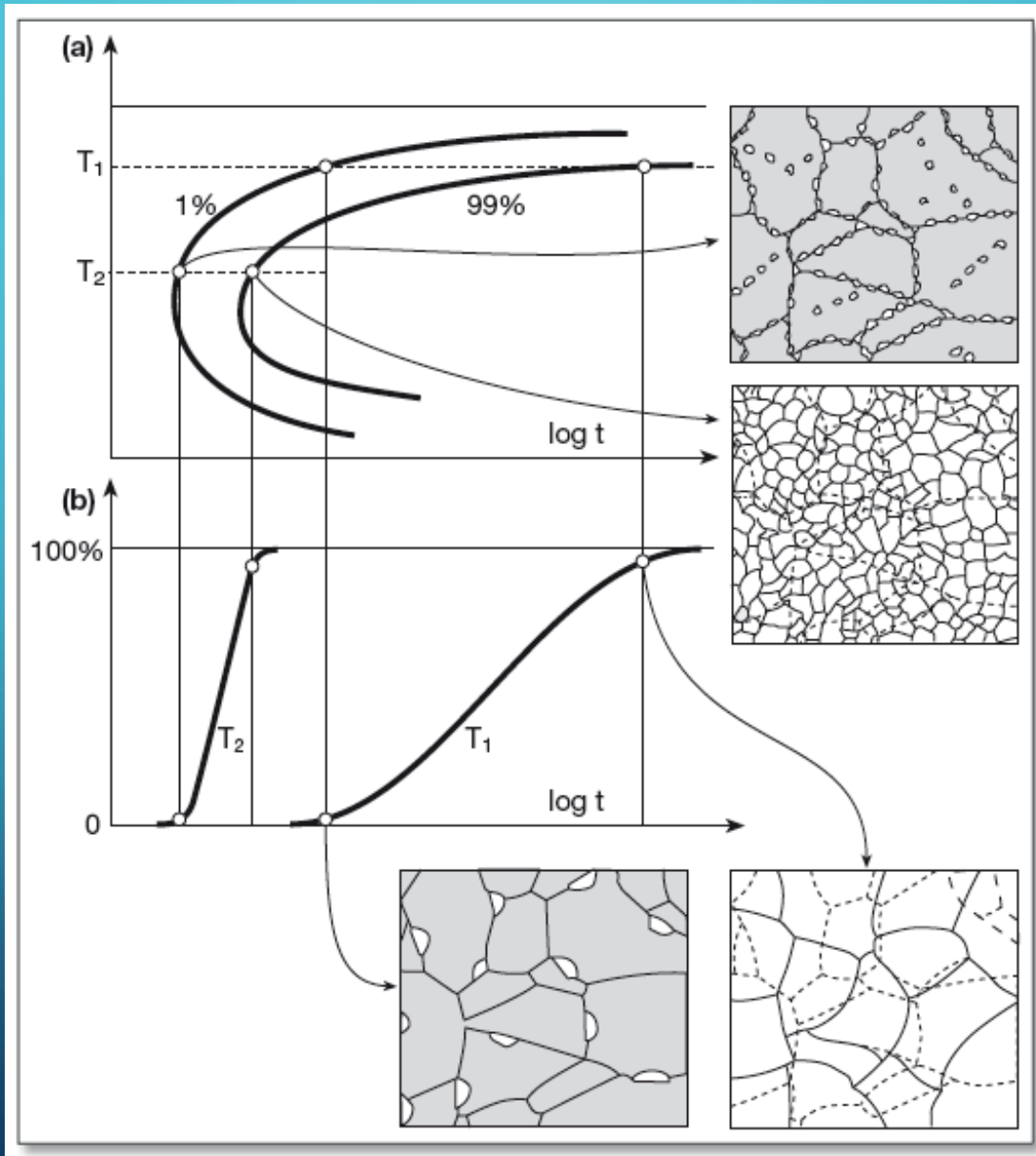
SOLDAGEM

DIAGRAMA Fe-Fe₃C



SOLDAGEM- RESFRIAMENTO RÁPIDO-FORA DO EQUILÍBRIO

CURVAS TRC



DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE BARRAS DE PROTENSÃO.

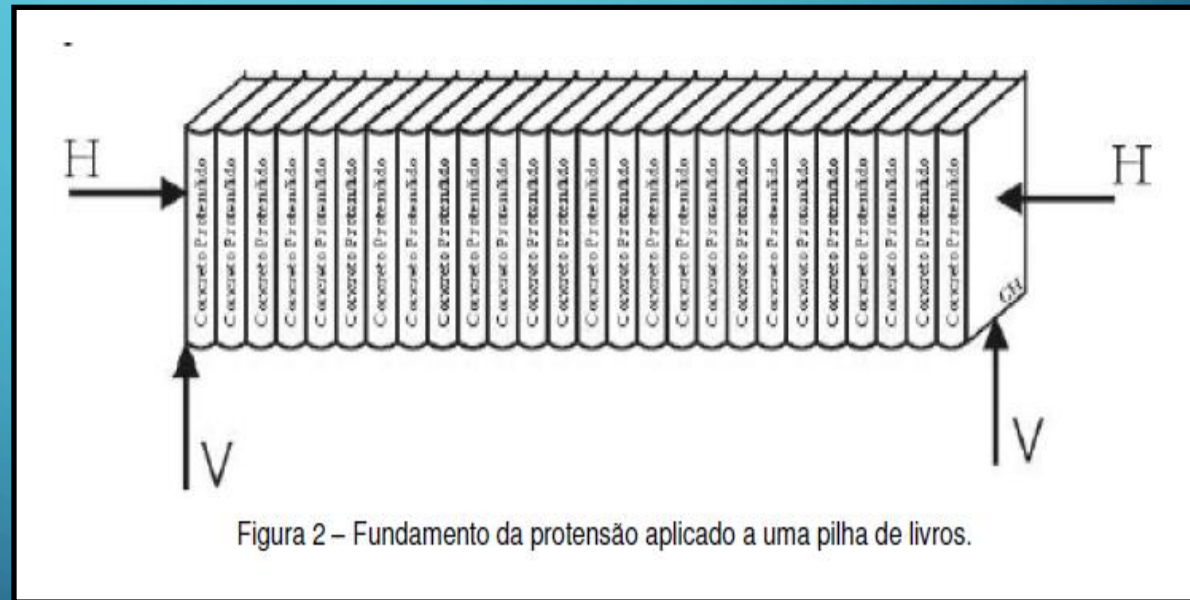
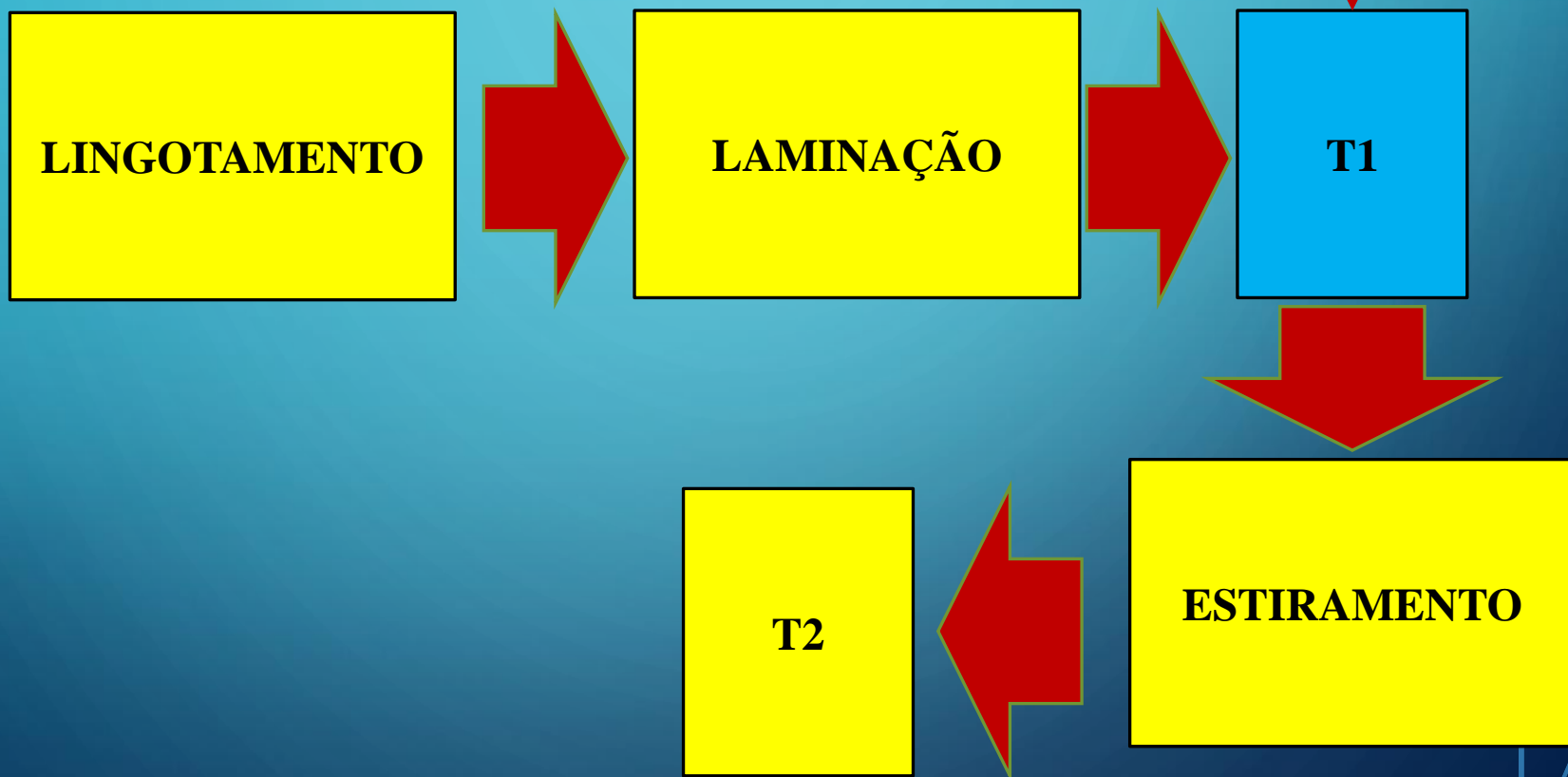


Figura 2 – Fundamento da protensão aplicado a uma pilha de livros.

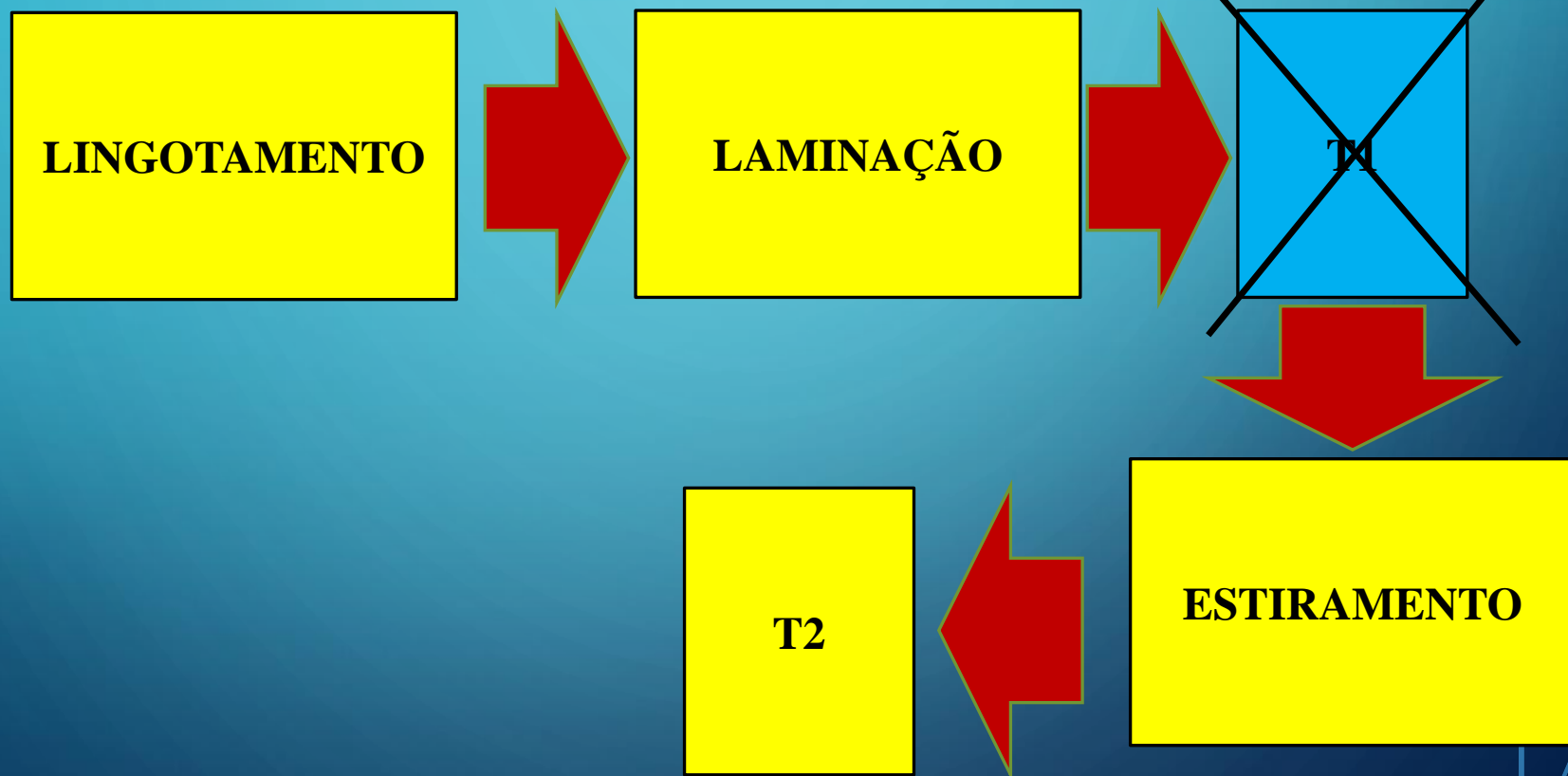


COMO ERA O PROCESSO?

POR QUÊ? FRAG. POR H₂



COM CONHECIMENTO DA ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS FOI POSSÍVEL A ELIMINAÇÃO DO TRATAMENTO TÉRMICO APÓS LAMINAÇÃO: REDUÇÃO DE TEMPO, ENERGIA, CUSTO, OU SEJA, AUMENTO DE PRODUTIVIDADE!



**BIELAS SAE 1541 X 27MnSiVS6:
METALURGIA, PROCESSO DE FORJAMENTO,
USINABILIDADE, PROPRIEDADES
MECÂNICAS E ATENDIMENTOS AOS
REQUISITOS OPERACIONAIS**

ALESSANDRO TEIXEIRA NETO

ANTÔNIO JOSÉ DE ARAUJO PÔRTO

EDWARD WERNINGHAUS

JOSÉ BENEDITO MARCOMINI

MAURO VALADÃO



ThyssenKrupp Metalúrgica Campo Limpo

CROSS WEDGE ROLLING

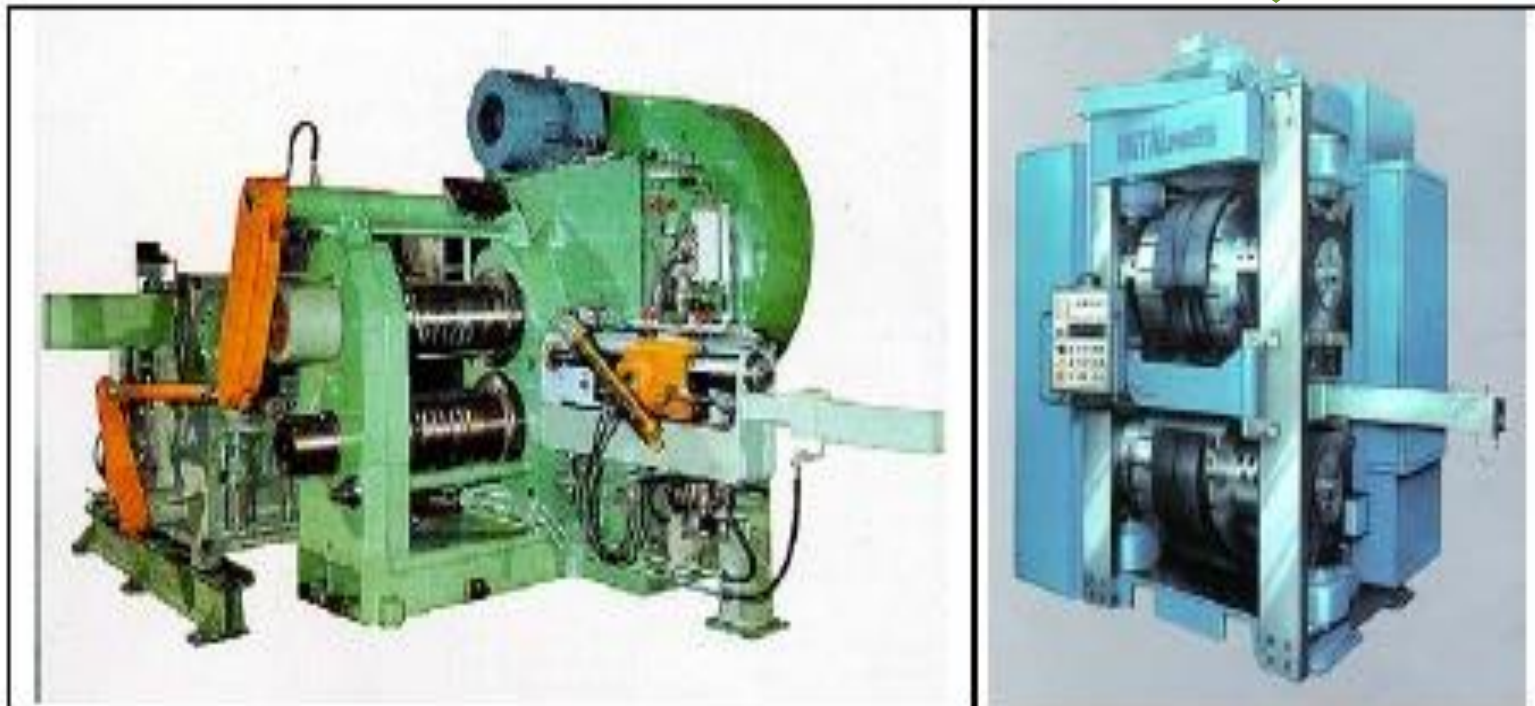
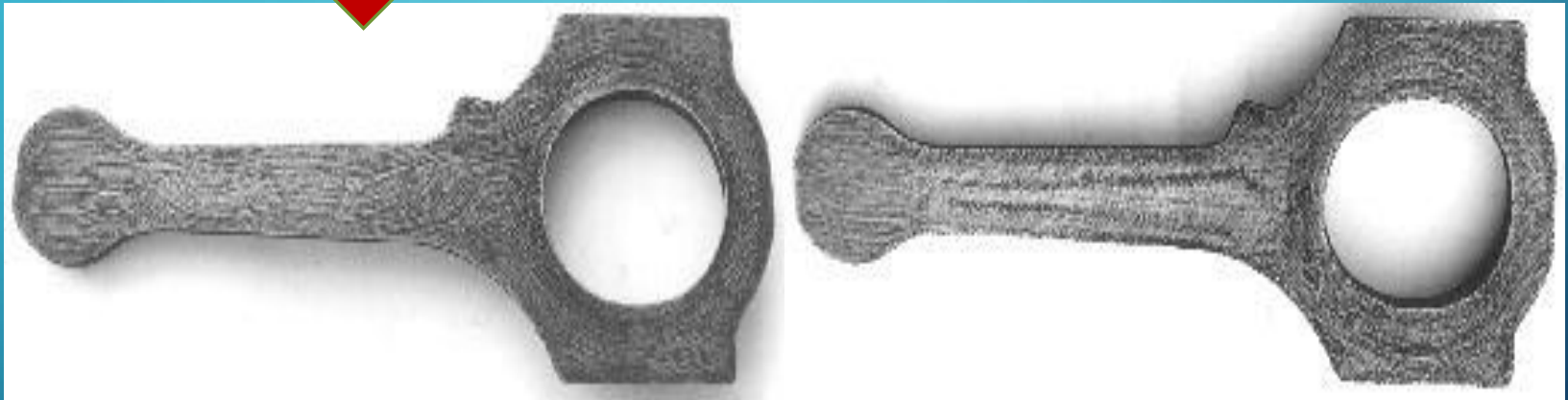
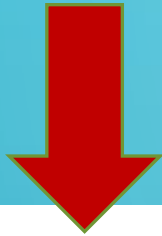


Figura 2 – Laminadoras Convencional e Transversal

CROSS WEDGE ROLLING



Fibramento CWR e convencional

**COM CONHECIMENTO DE ENGENHARIA E
CIÊNCIA DOS MATERIAIS, FOI ELIMINADA A
ETAPA DE TRATAMENTO TÉRMICO DE TÊMPERA
E REVENIMENTO, ECONOMIZANDO TEMPO,
ENERGIA E CUSTO: AUMENTO DE
PRODUTIVIDADE**

NA PIOR CONDIÇÃO, SE O CARRO FICASSE LIGADO ININTERRUPTAMENTE, LEVARIA MAIS DE 300 ANOS PARA FALHAR POR FADIGA.

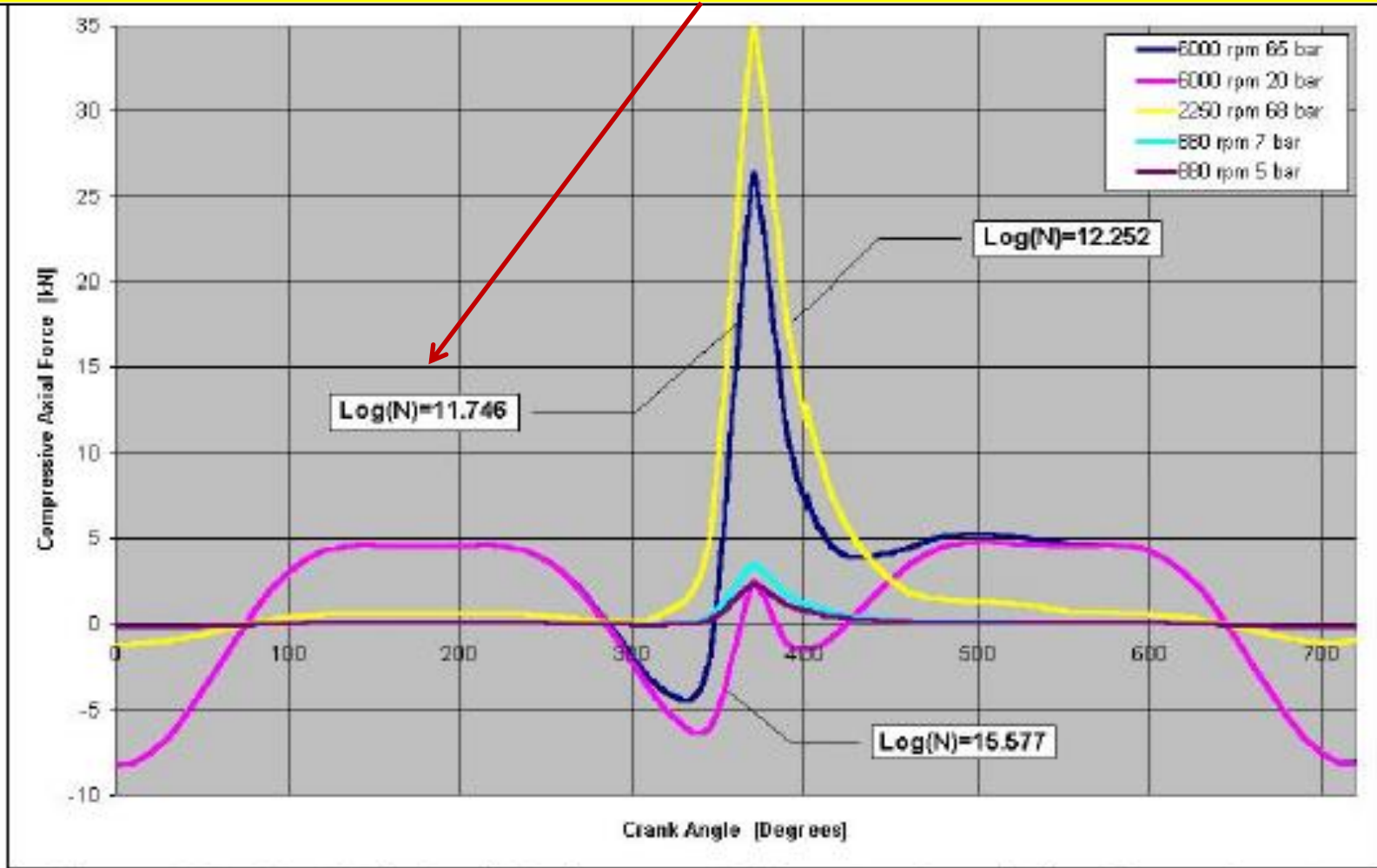
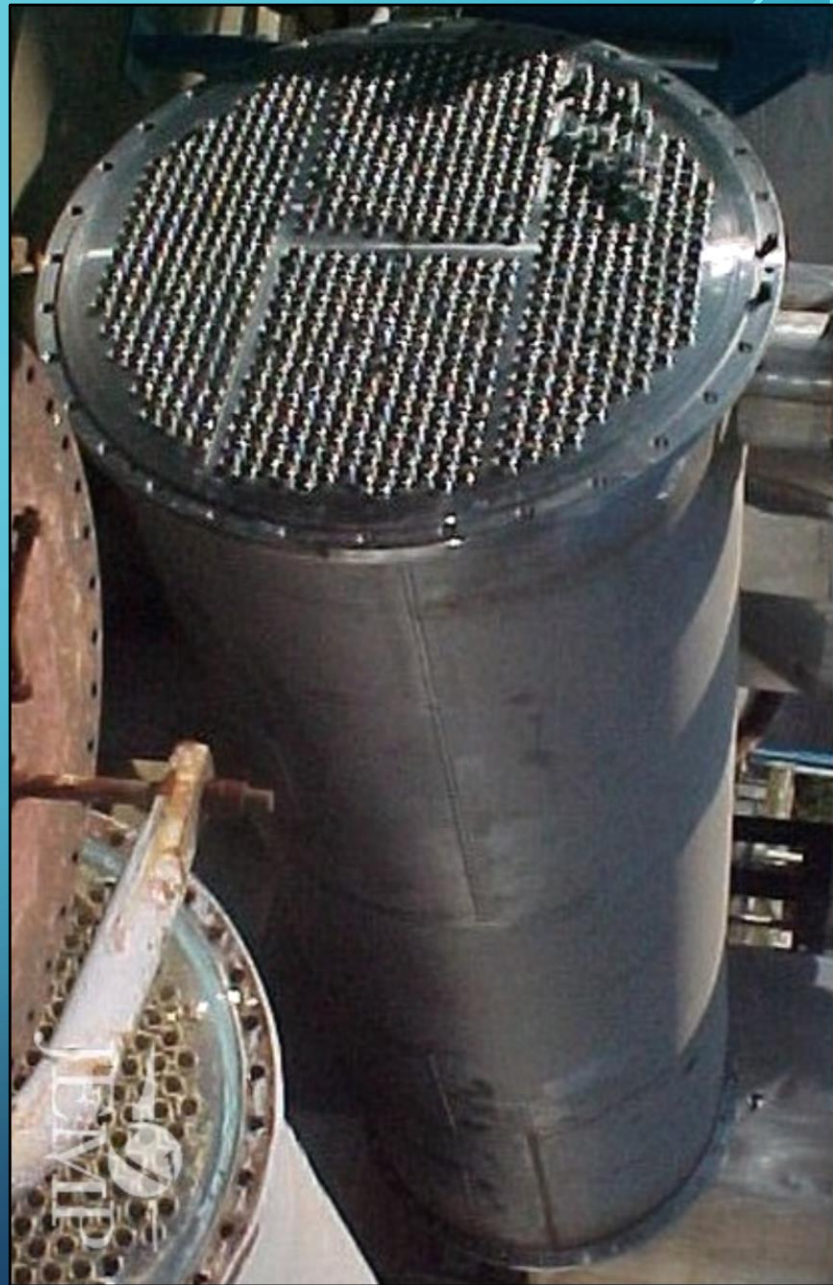


Figura 10 – Resistência à Fadiga para Diferentes Condições Operacionais

**DEPOIS DESTE DESENVOLVIMENTO, A
FORD PASSOU A ADOTAR A BIELA DO
MOTOR ZETEC-ROCAM FABRICADA COM O
AÇO MICROLIGADO.**

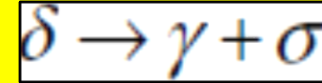
CASO DOS TAMPOS DE AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO

**TAMPOS DE AÇO INOXIDÁVEL
AUSTENÍTICO FORAM DEFORMADOS A
FRIO – GERA FASE MARTENSÍTICA
INDUZIDA POR DEFORMAÇÃO.**





Aços da série 300 dependendo de sua composição química, podem apresentar a transformação:



Martensita induzida por deformação α' -estrutura cristalina CCC.

Fase σ fragiliza o aço. A indústria petroquímica controla o teor de Ferrita δ por ensaio magnético por ferritoscópio.

Ferrita δ e Martensita α' tem estruturas similares-emitem campo magnético.



**Conhecimento de Estrutura Cristalina (ECM)-
metalografia 3D – foi evitada, a reprovação do
equipamento pronto.**

CM DENTRO DO CONTEXTO INDÚSTRIA 4.0

MANUFATURA ADITIVA-IMPRESSÃO 3D-METAIS



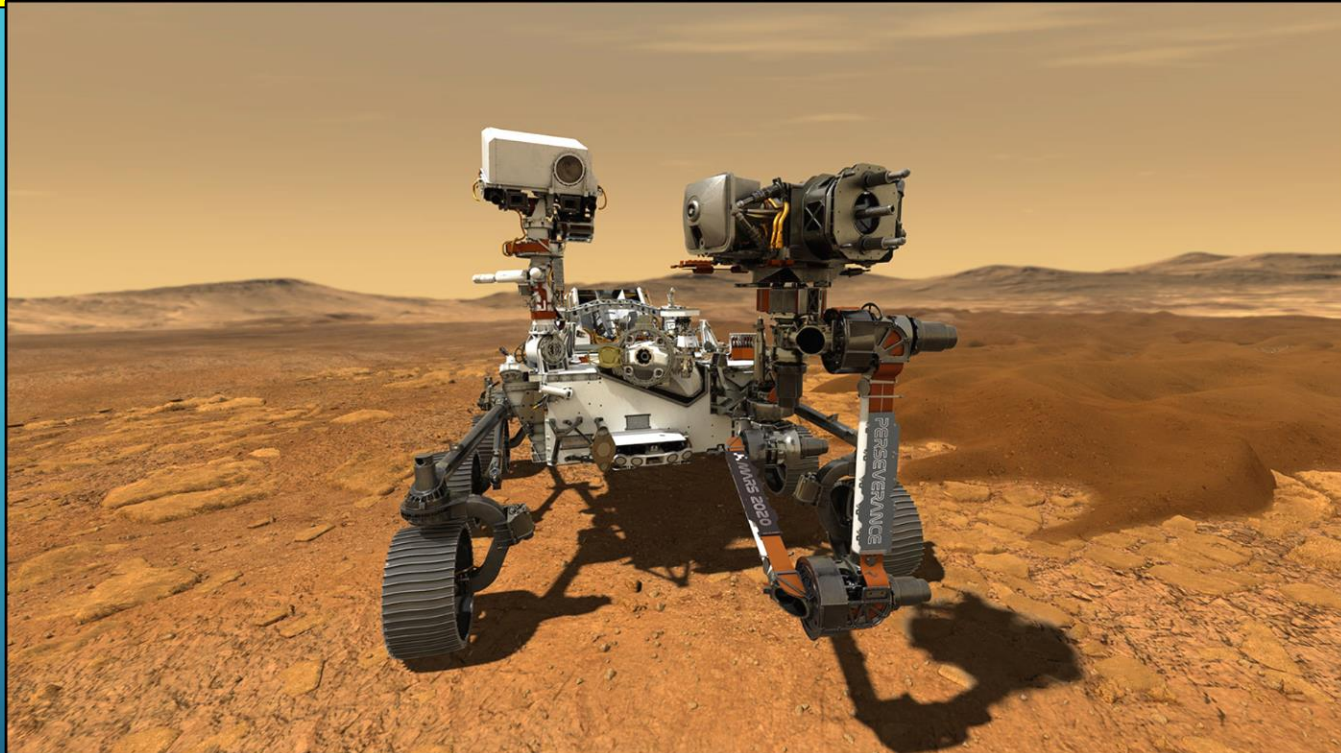
PROBLEMA

ESTRUTURA-PROPRIEDADES

**SOLUÇÃO VEM DA CIÊNCIA
DOS MATERIAIS**

MISSÃO MARTE (18/02/2021)

**PERSEVERANCE: 11 PEÇAS FORAM FEITAS POR
MANUFATURA ADITIVA (MA).**

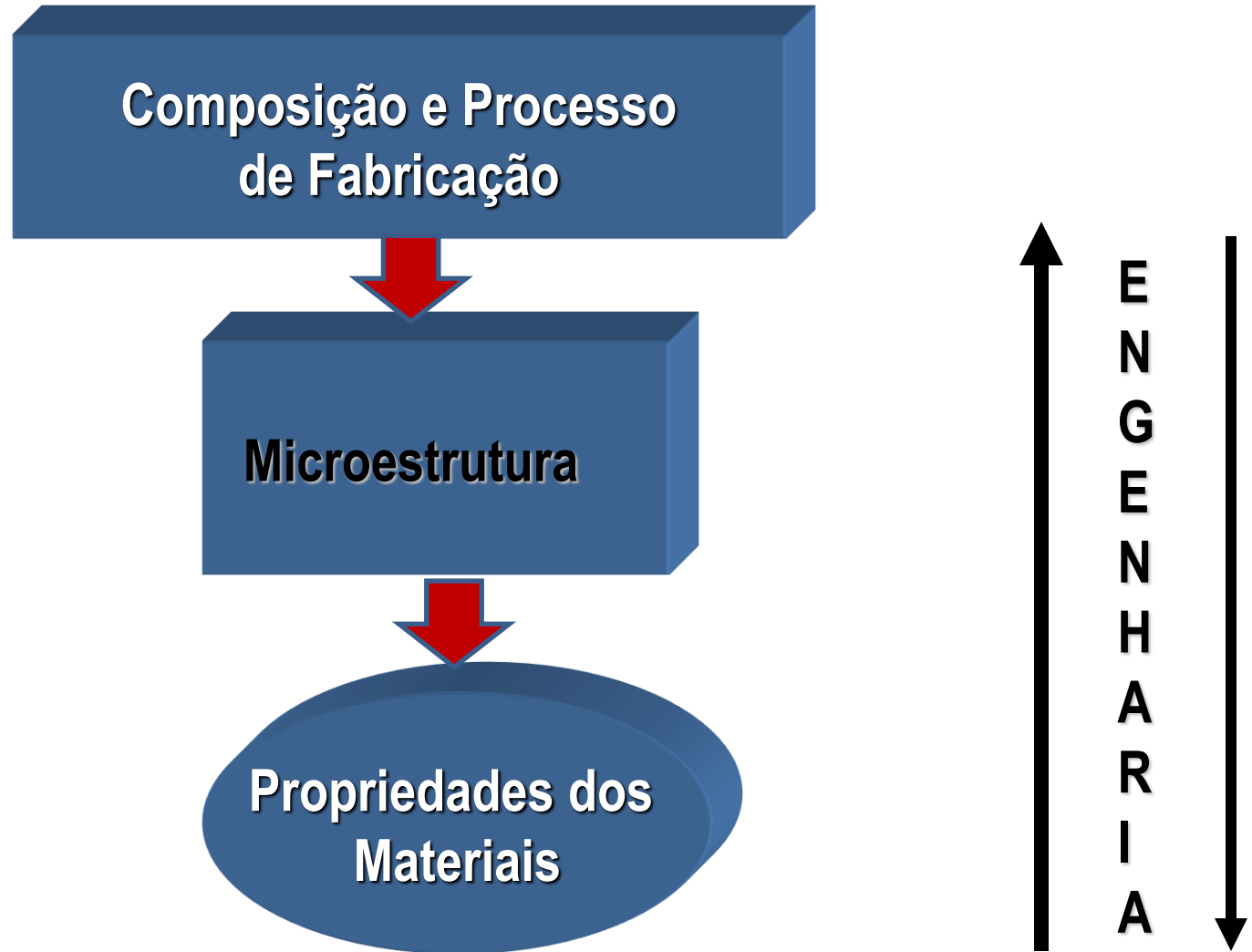


**Utilização de resíduo de óleo (nanofibras de carbono) em peças
aeroespaciais fabricadas com pó de alumínio por MA, aumenta
1,5 X a dureza e reduz porosidade..**

Diferentes materiais-diferentes propriedades

Empilhadora/recuperadora de minérios- Stacker/Reclaimer

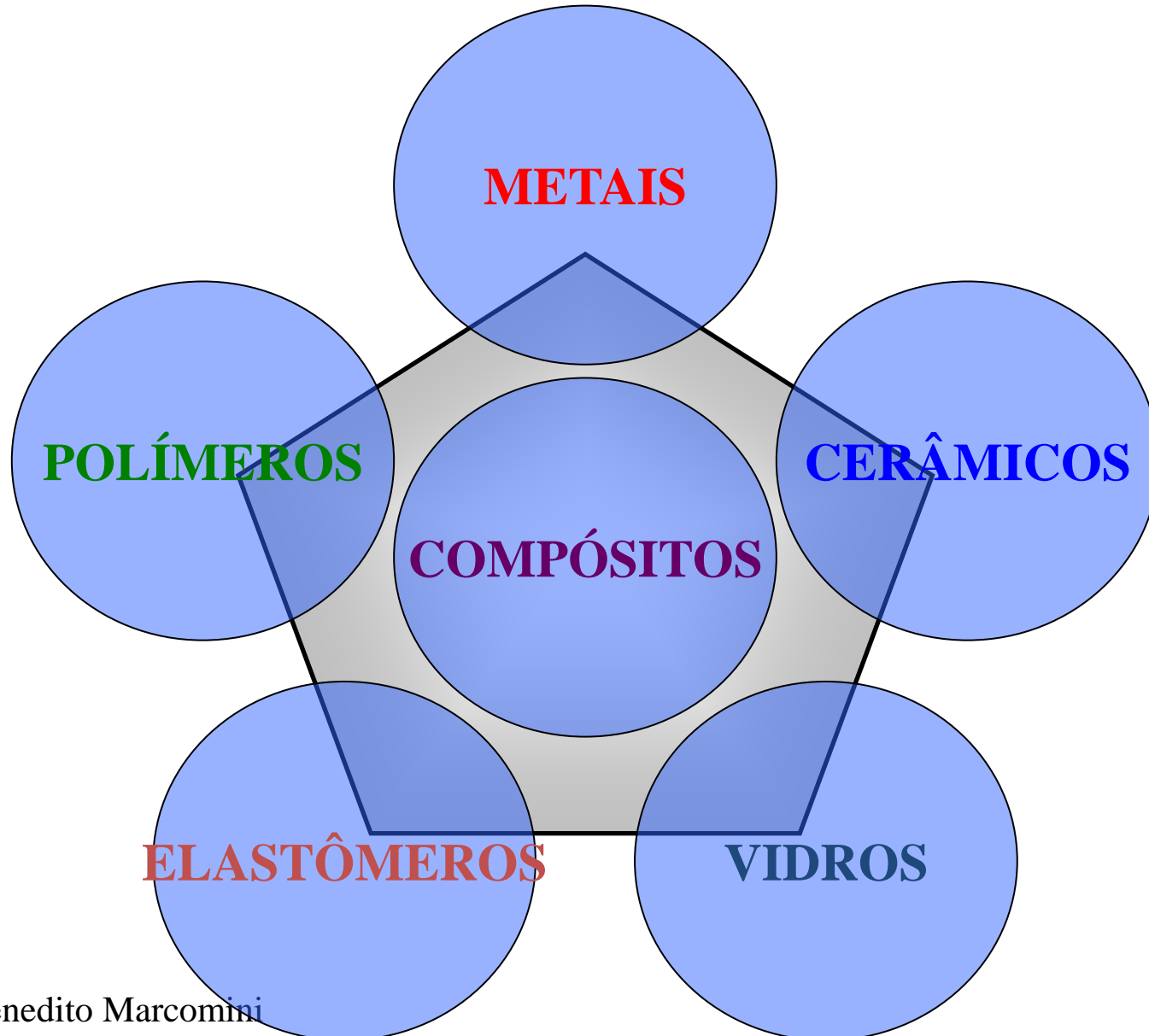






EESC • USP

FAMÍLIAS DE MATERIAIS DE ENGENHARIA



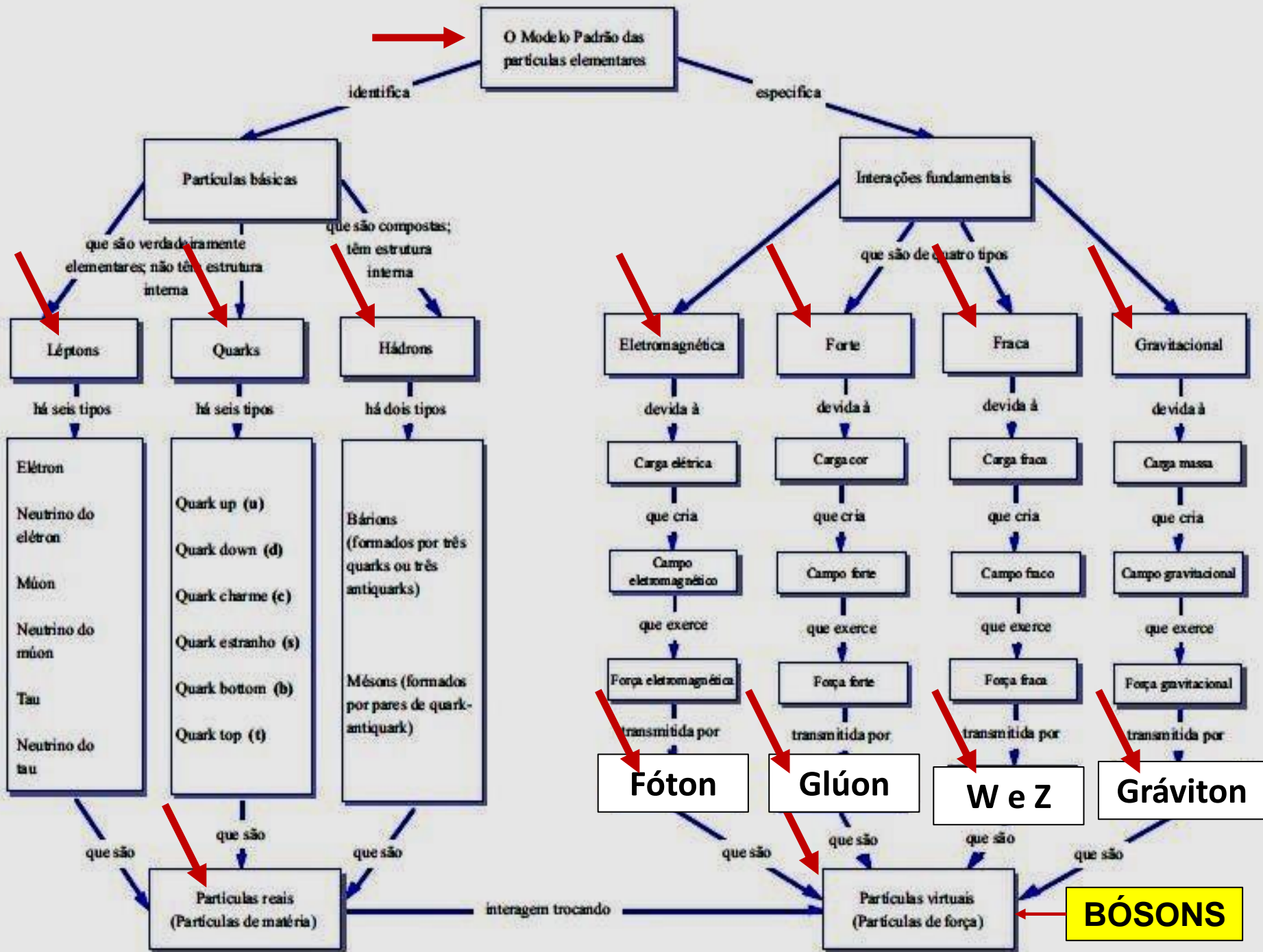


CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS E PROPRIEDADES MECÂNICAS

- A primeira classificação dos materiais é baseada no tipo de ligação química, que nasce do modelo de átomo;**
- As propriedades começam a ser definidas pelo tipo de ligação química;**
- Os átomos se organizam em estruturas, que contribuem para as propriedades macroscópicas.**



QUAL A CONSTITUIÇÃO DA MATÉRIA?



FÍSICA DE PARTÍCULAS

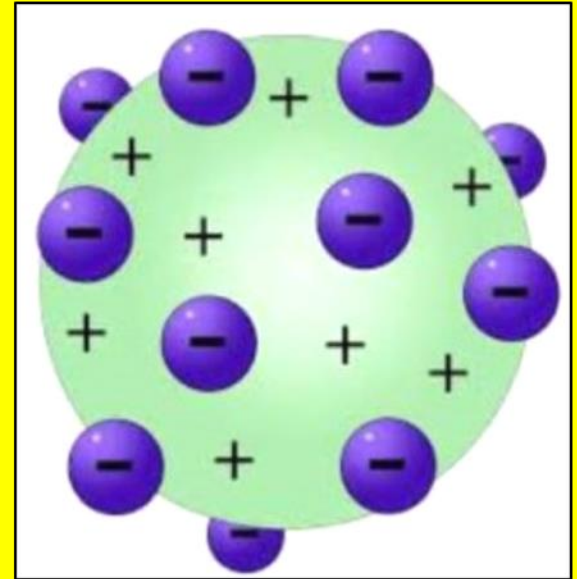
- **Definição:** ramo da física que estuda os **constituintes fundamentais da matéria e as interações entre eles.** (Feynman, R. P. (1964). Lectures on Physics);
- **Partículas fundamentais:** quarks, léptons (elétrons, neutrinos), bósons mediadores (carregam energia ou massa: fóton, glúon)-**Modelo Padrão da Mecânica Quântica (MPMQ);**
- **Hadrons:** mésons e bárions (Protons e nêutrons);
- **Próton:** dois quarks up (u) e um quark down (d);
- **Forças fundamentais:** a interação nuclear **forte**, a interação nuclear **fraca**, o **eletromagnetismo** (fazem parte do MPMQ) e a **gravidade** (Relatividade Geral);
- **Experimentos:** aceleradores de partículas, como o Grande Colisor de Hádrons (*Large Hadron Collider-LHC*).

- **Partículas elementares (fundamentais): não possuem uma estrutura interna (elétrons);**
- **Próton (2 quarks up (u) + 1 quark down (d)): Glúon (g) mantém os quarks unidos interação forte fundamental;**
- **Méson Pi (π) (1 quark + 1 antiquark): mediador da interação forte residual, mantém os prótons e nêutrons unidos no núcleo;**
- **Glúon (g): é uma partícula mediadora da força forte fundamental (Mantém os Quarks unidos);**
- **A unidade de energia utilizada na física nuclear e de partículas é o MeV(megaeletronvolt): 1 milhão de elétron-volts (eV): energia cinética adquirida por um elétron ($-1,602176 \cdot 10^{-19}C$) ao ser acelerado por uma diferença de potencial de 1 volt no vácuo;**
- **1eV : $1,602 \times 10^{-19}$ joules. Portanto, 1 MeV $\approx 1,602 \times 10^{-13}$ joules.**

ÁTOMO

- **Demócrito de Abdera (360-460 AC):** partícula indivisível;
- **John Dalton (1766-1844):** indivisível, esfera maciça -utilizada em ciência dos materiais (modelo de esferas rígidas) para descrever as redes cristalinas;
- **Michael Faraday (1791-1867) - 1833** relatou a existência de partículas negativas da matéria em seus estudos de eletrólise;
- **George Johnstone Stoney (1833-1911) – O primeiro a reconhecer o trabalho de Faraday e cunhar o nome “elétron”;**
- **Joseph John Thomson (1856-1940):** modelo de átomo com os elétrons incrustados em uma esfera de cargas positivas, com raio aproximado de 10^{-8} cm (Nobel em 1906).

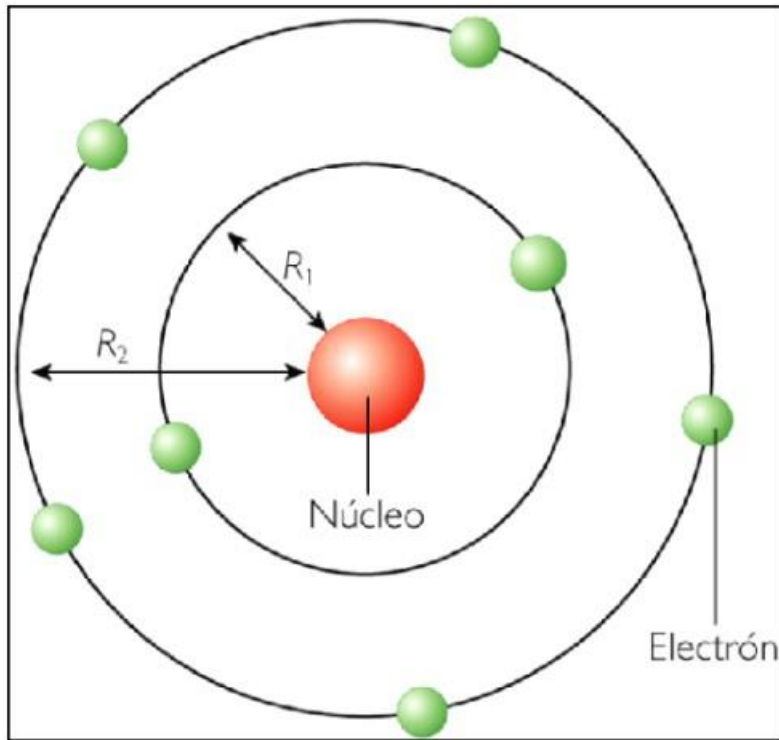
1897 – Joseph John Thomson (PNF-1906) constatou que os raios catódicos eram constituídos de partículas carregadas eletricamente. Identificou o **elétron**: 1ª partícula elementar a ser descoberta. Modelo atômico do “**pudim de ameixa**”.



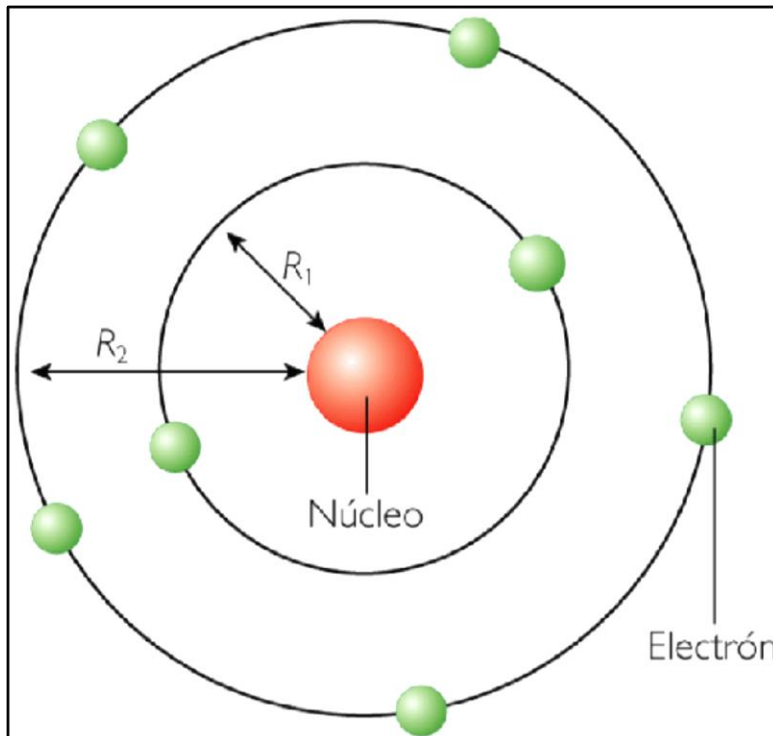
OBS:

Os estudos de **Michael Faraday** sobre **eletrólise**, em **1833**, foram os primeiros a relatar a **existência de “partículas negativas”**. O **primeiro a reconhecer** os resultados de Faraday e **sugerir o nome “elétron”** foi **George Johnstone Stoney (1826-1911)**, em **1874**.

1911 – Rutherford (PNQ-1908): descoberta do **núcleo atômico** e **modelo planetário** (em 1901, Jean Batiste Perrin já havia proposto um modelo planetário).



**Rutherford- 1911:Órbitas –
falhavam já para o átomo de
Hidrogênio – desde Maxwell (1831-
1879) sabia-se – partícula acelerada
emite radiação e perde energia:
elétron se fundiria com o núcleo**



Átomo de Bohr (1913)

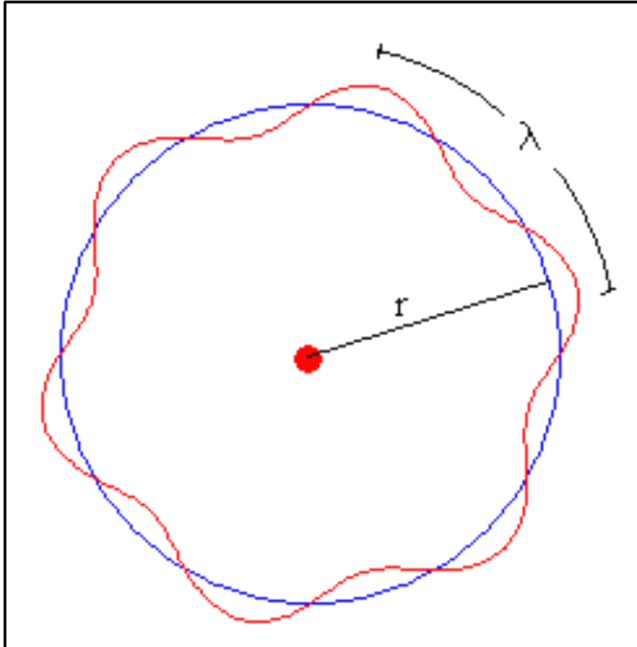
Bohr quantizou os níveis energéticos (corrigindo Rutherford-órbitas): só funcionava para o hidrogênio.

$$L = n \cdot \hbar = n \cdot \frac{h}{2\pi}$$



Átomo de Bohr (1913) – apenas um número quântico

Louis De Broglie(1923): aplicou a teoria onda-partícula na quantização de Bohr: o elétron orbitando o núcleo em raios discretos leva ao conceito de onda de matéria estacionária



$$\lambda = \frac{h}{m_e v}$$

George Paget Thomson
Recebeu em **1937** o Nobel de Física, pela verificação experimental **da difração do elétron por cristais.**

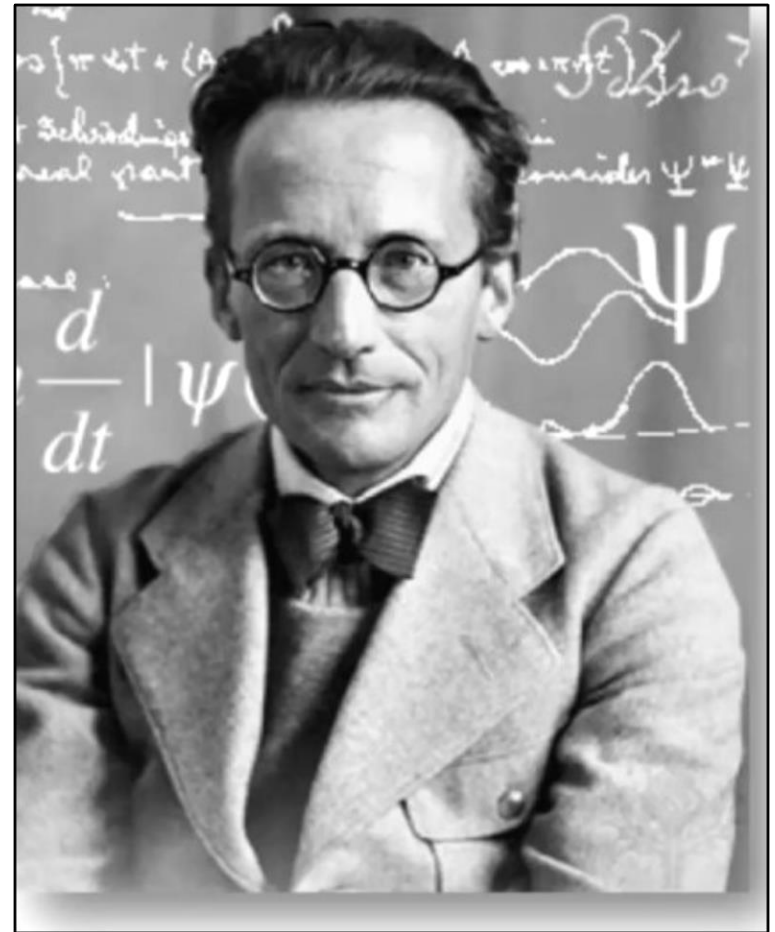
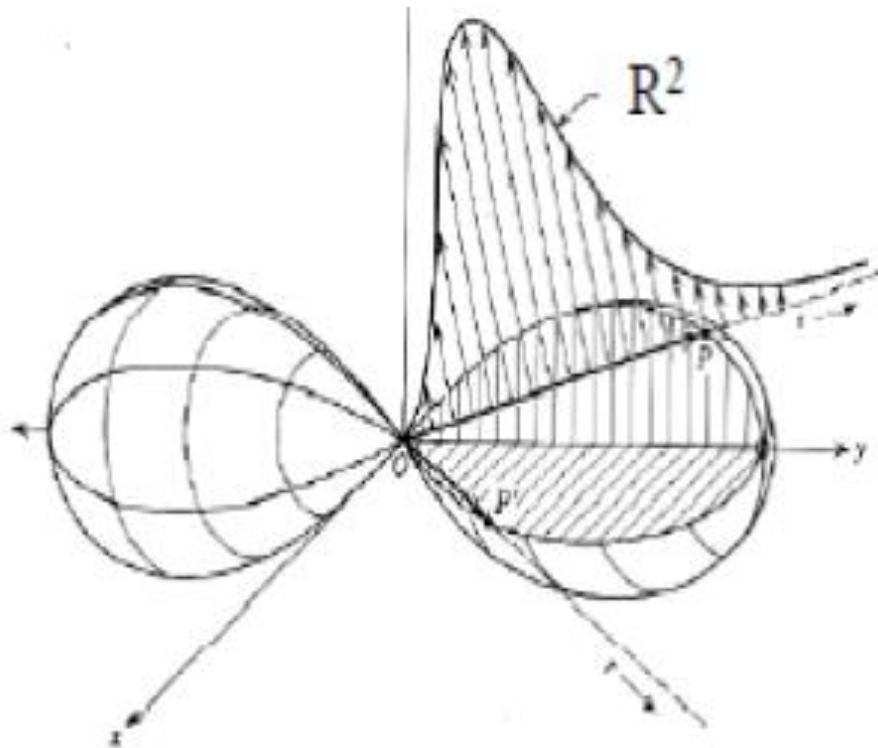
Erwin Schrödinger (1926): Função de onda

Prof

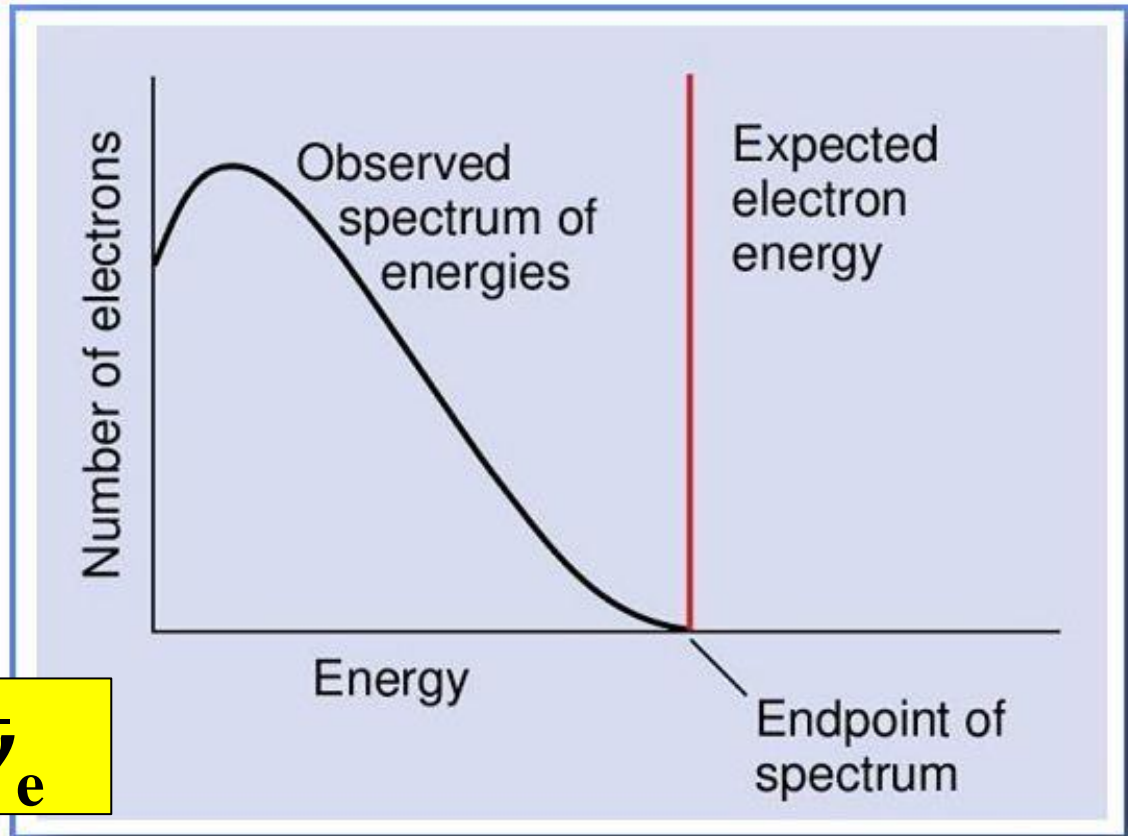
$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2} (E_T - E_P) \Psi = 0$$

Erwin Schrödinger (1926): Função de onda = orbital

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + U\psi = E\psi$$



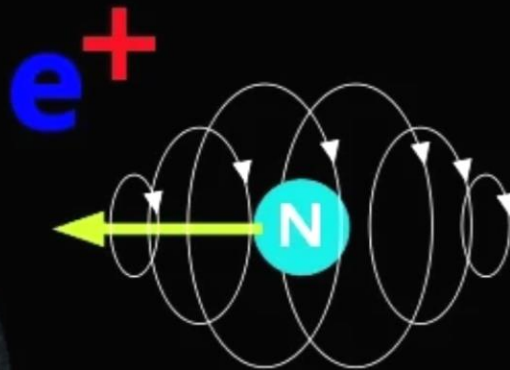
1930 - Wolfgang Pauli propôs a existência do **neutrino** para explicar o espectro contínuo de energia do **decaimento β** , embora não tenha dado o nome à partícula.



Single beta decay energy spectrum. The observed spectrum is continuous and not at a constant energy as was initially expected. [D. Stewart]

- **1930 – Paul Dirac (PNF-1933)** propõe a existência do **pósitron**, a antipartícula do elétron (β^+ , e^+);
- **1932 – James Chadwick (PNF-1935)** descobre o **nêutron**, completando o entendimento dos componentes do núcleo atômico;
- O nome "**neutrino**" foi cunhado pelo físico italiano **Enrico Fermi (PNF-1938)**, em 1933.

$$(i \gamma^\mu \partial_\mu - m)\psi = 0$$



- **1935 – Hideki Yukawa (PNF-1949)** propõe a existência de uma nova partícula, o **méson pi (píon)**, para explicar a **interação forte que mantém o núcleo coeso**. Essa teoria abriu caminho para o estudo **das forças nucleares** e foi confirmada posteriormente;
- **1947 – César Lattes**, junto com **Cecil Powell (PNF-1950)** e **Giuseppe Occhialini**, detecta o **méson pi nos raios cósmicos**, validando a teoria de **Yukawa**. Lattes foi pioneiro no uso de emulsões nucleares para a descoberta;

Documentário: Cientistas Brasileiros: Cesar Lattes e Jose Leite Lopes: <https://www.youtube.com/watch?v=DB3PzzIrRTc>

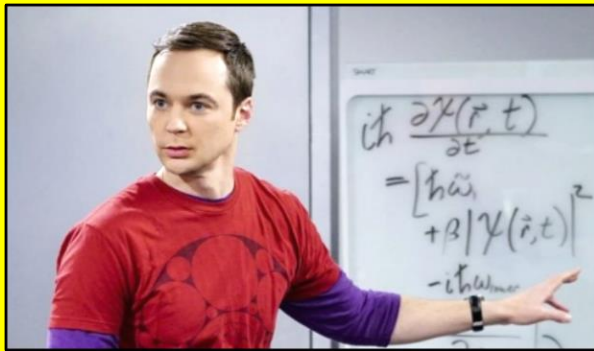
- **Anos 1950 – Robert Hofstadter (PNF-1961)** (*Leonard-Big Bang Theory*), por meio de experimentos de espalhamento de elétrons confirma que prótons e nêutrons não eram "pontuais", mas possuíam uma estrutura interna complexa;
- **1956 – Frederick Reines (PNF-1995)** e **Clyde Cowan** confirmam experimentalmente a existência do **neutrino**.

- **1964 – Murray Gell-Mann (PNF-1969) e George Zweig : Teoria dos Quarks**, sugerindo que prótons e nêutrons são compostos de partículas menores chamadas quarks;
- **1968 - Gabriele Veneziano** propõe uma equação para descrever a força forte (interações entre partículas subatômicas) que mais tarde seria reconhecida como a origem da **Teoria das Cordas (Amplitude Veneziano)**-**Sheldon Cooper (The Big Bang Theory)**;
- **1970s – Desenvolvimento do Modelo Padrão**, unificando as **forças eletromagnética, fraca e forte** e descrevendo as interações entre as **partículas fundamentais (quarks, léptons e bósons mediadores)**;
- **1970: Teoria das Cordas** prevê a existência de uma partícula com **spin 2: o gráviton** (sugere que a teoria leva à gravidade quântica);

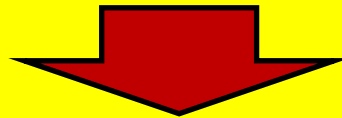
- **1970-** Leonard Susskind, Yōichirō Nambu (PNF-2008) e Holger Bech Nielsen: **Partícula=cordas unidimensionais vibrantes;**
- **1984:** John Schwarz e Michael Green: **Supercordas;**
- **1990-1994:** Rovelli e Smolin, junto com outros físicos como Jorge Pullin e Abhay Ashtekar, desenvolvem uma formulação rigorosa da **Mecânica Quântica em Loop** (Leslie Winkle- **The Big Bang Theory**);
- **2012-** **Detecção do Bóson de Higgs no LHC** (CERN-Genebra-Suíça). A teoria do bóson de Higgs foi proposta em **1964** pelo físico britânico **Peter Higgs** e pelo físico belga **François Englert** (PNF- 2013-ambos);

OBSERVAÇÕES

- **Teoria das cordas:** propõe que **uma partícula** é na verdade o **estado vibracional de uma corda** extremamente pequena (da ordem da escala de Planck, 10^{-35} metros). **Diferentes frequências e padrões de vibração: diferentes partículas** com massas, cargas e spins distintos. Exemplo: Uma **corda** vibrando de uma forma **específica** pode se manifestar como um **fóton**;

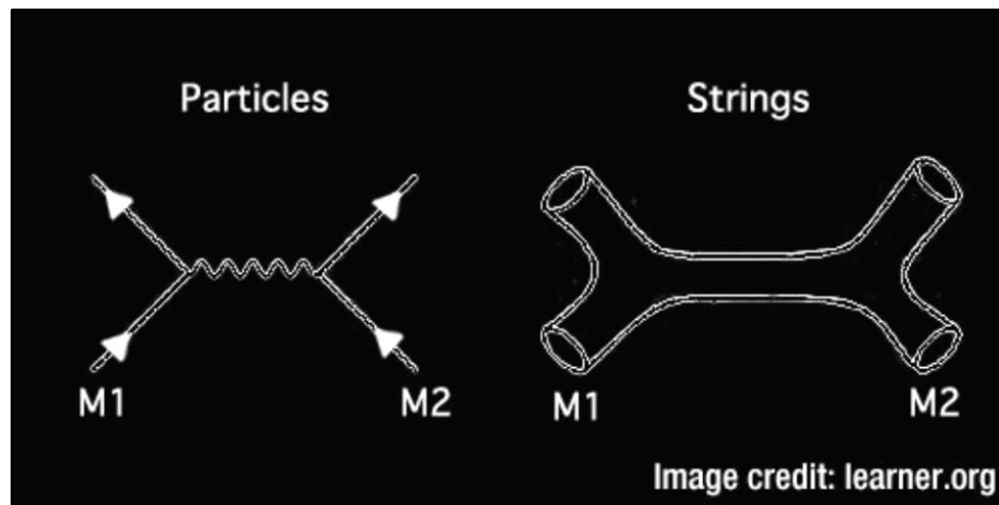
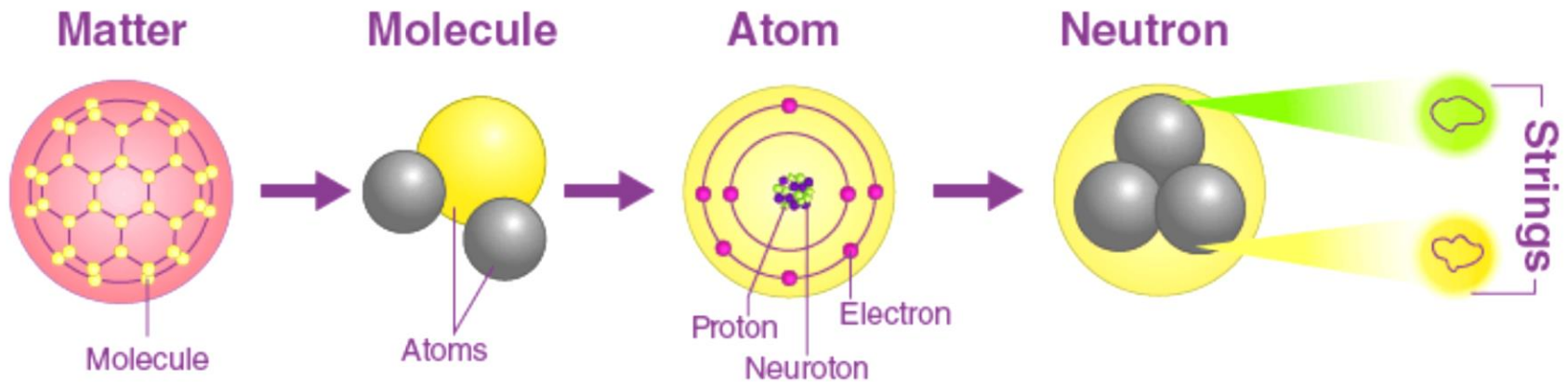


Teoria das cordas (gráviton) X Mecânica quântica em loop



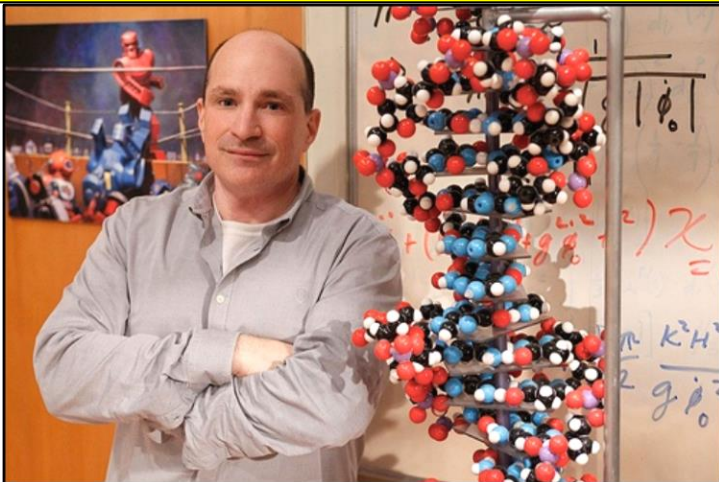
Teoria quântica da gravidade

TEORIA DAS CORDAS



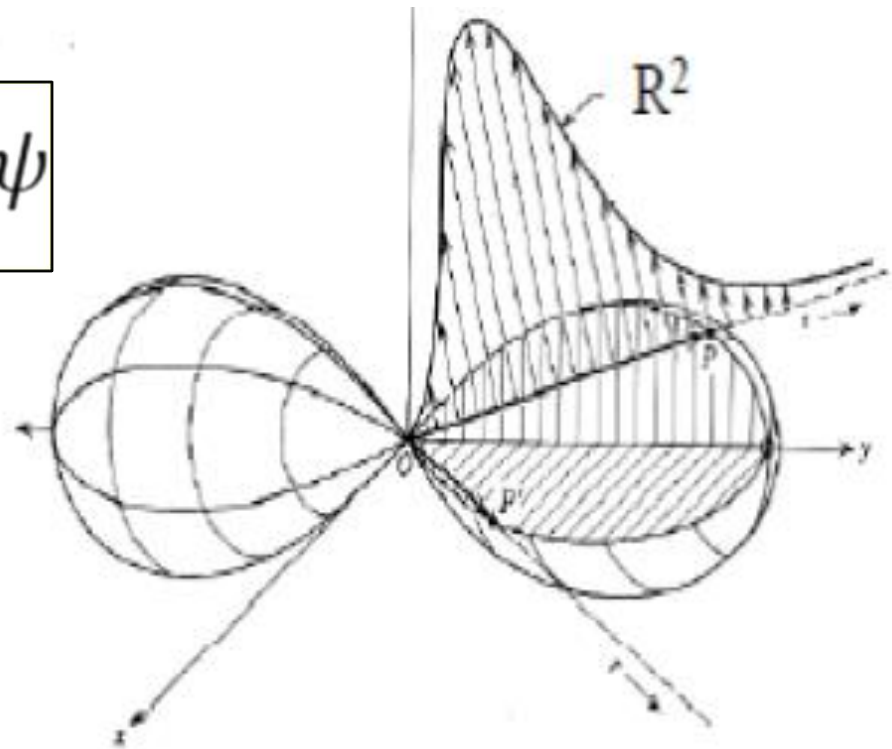
THE BIG BANG THEORY

- Foi baseada na vida dos criadores e teve influência de um livro de Richard Feynman. **Bill Prady** havia trabalhado como programador e contou a **Chuck Lorry** sobre um colega que era uma “calculadora humana”. O nome de Sheldon e Leonard foi uma homenagem, dos criadores, ao ator e produtor **Sheldon Leonard**, porém, os sobrenomes são de cientistas famosos: Leon **Cooper**, 94 anos (**PNF-1972-Teoria BCS**) e Robert **Hofstadter** (**PNF-1961**).
- **Consultor científico (TBBT e YS): David Saltzberg- professor de Física e Astronomia** na Universidade da Califórnia, Los Angeles (**UCLA**). Áreas de pesquisa: **física de partículas, física de astropartículas e radioastronomia.**



PRIMEIRA CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS TÊM SUA ORIGEM NA LIGAÇÃO ENTRE OS ÁTOMOS: IDEIA DE ORBITAL (NÍVEL ENERGÉTICO)

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + U\psi = E\psi$$





PRIMEIRA CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS TÊM SUA ORIGEM NA LIGAÇÃO ENTRE OS ÁTOMOS

Quanto à energia envolvida na ligação elas podem ser divididas em:

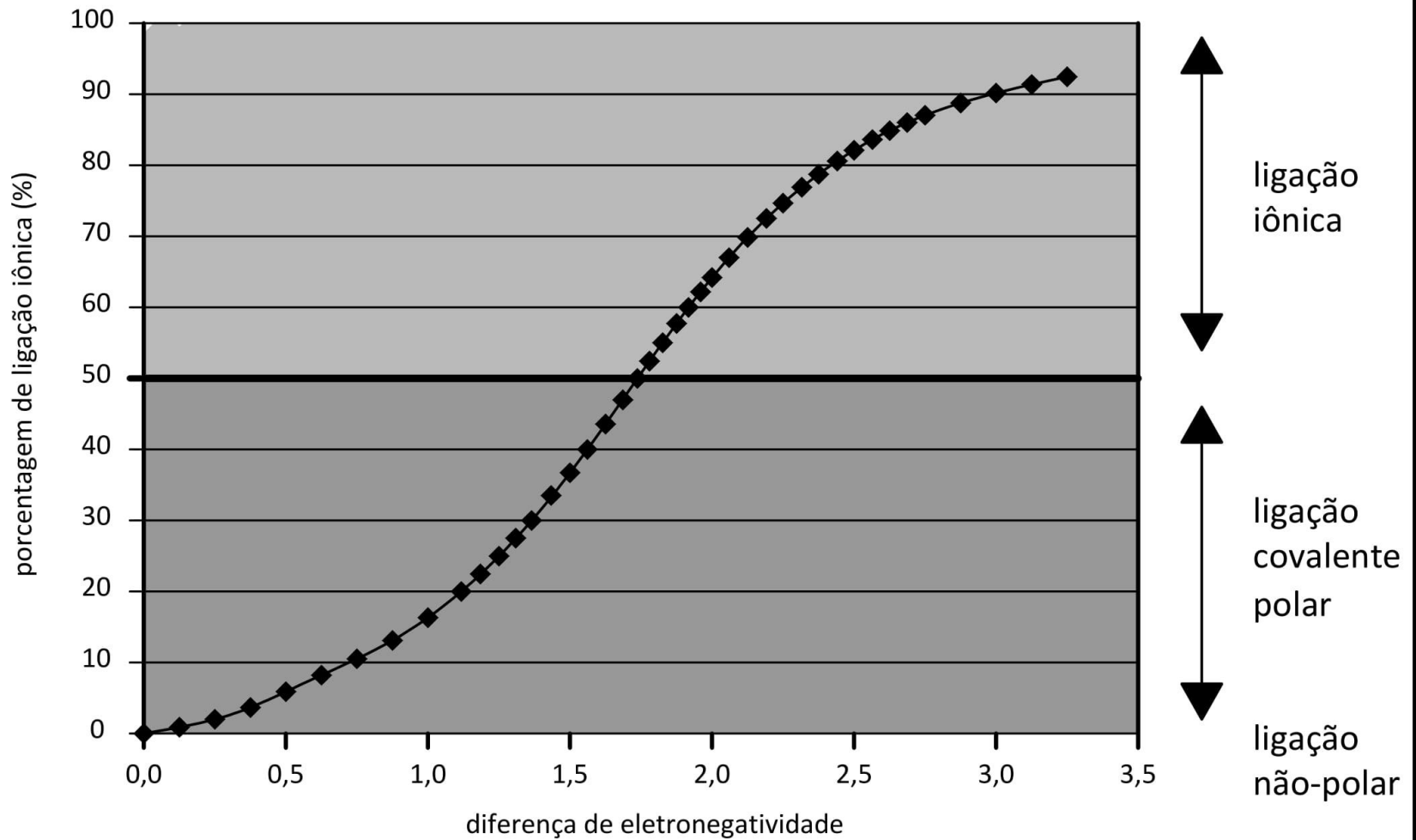
- **Fortes : covalente, iônica e metálica;**
- **Fracas: Van der Waals e pontes de hidrogênio.**



- Elementos eletronegativos: facilidade em receber elétrons;
- Elementos eletropositivos: facilidade em doar elétrons.

ELEMENTO	TIPO DE LIGAÇÃO
ELETROPOSITIVO COM ELETRONEGATIVO	IÔNICA
ELETROPOSITIVO COM ELETROPOSITIVO	METÁLICA
ELETRONEGATIVO COM ELETRONEGATIVO	COVALENTE

Maior dif.eletronegatividade-maior % lig.iônica



Ligação covalente: direcional

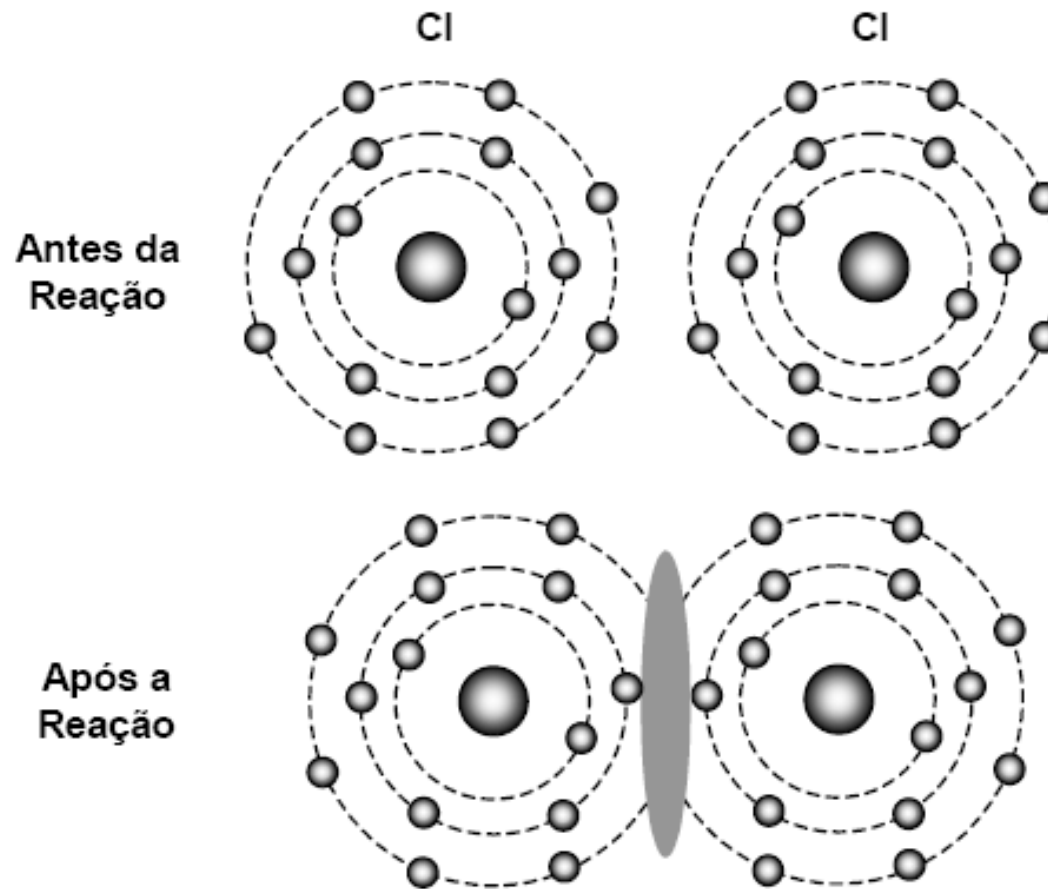
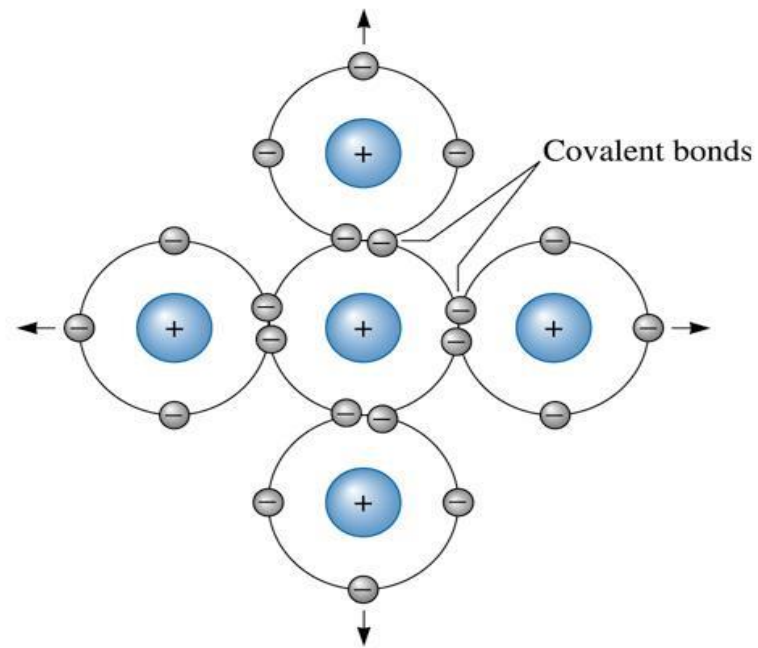
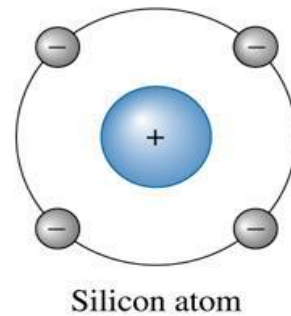


Diagrama esquemático da ligação covalente entre átomos de cloro.

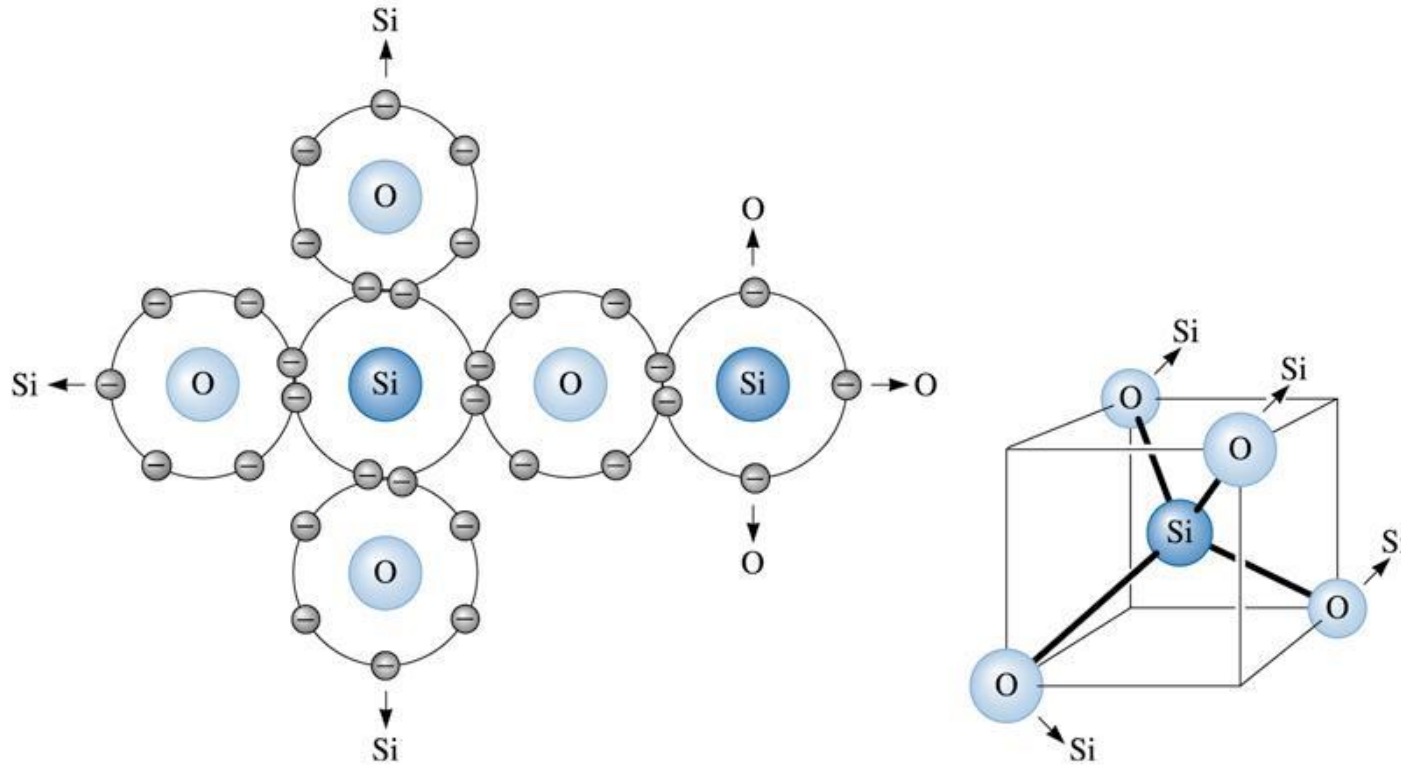
**O Si =
valência de
4, necessita
de 4
ligações
covalentes.**



© 2003 Brooks/Cole Publishing / Thomson Learning™

- **ESTABILIDADE: COMPARTILHAMENTO DE 8 ELETRONS DE VALENCIA;**
- **LIGAÇÃO ALTAMENTE DIRECIONAL E RÍGIDA ⇒ FRAGILIDADE DOS CERÂMICOS E POLÍMEROS TERMO-RÍGIDOS;**
- **CONDUTIVIDADES ELÉTRICA E TÉRMICA POBRES ⇒ QUEBRA DAS FORTES LIGAÇÕES PARA LIBERAÇÃO DE ELÉTRONS**
- **PODEM SER MUITO FORTES COMO O DIAMANTE (ALTO PONTO FUSÃO 3550°C, DURO).**

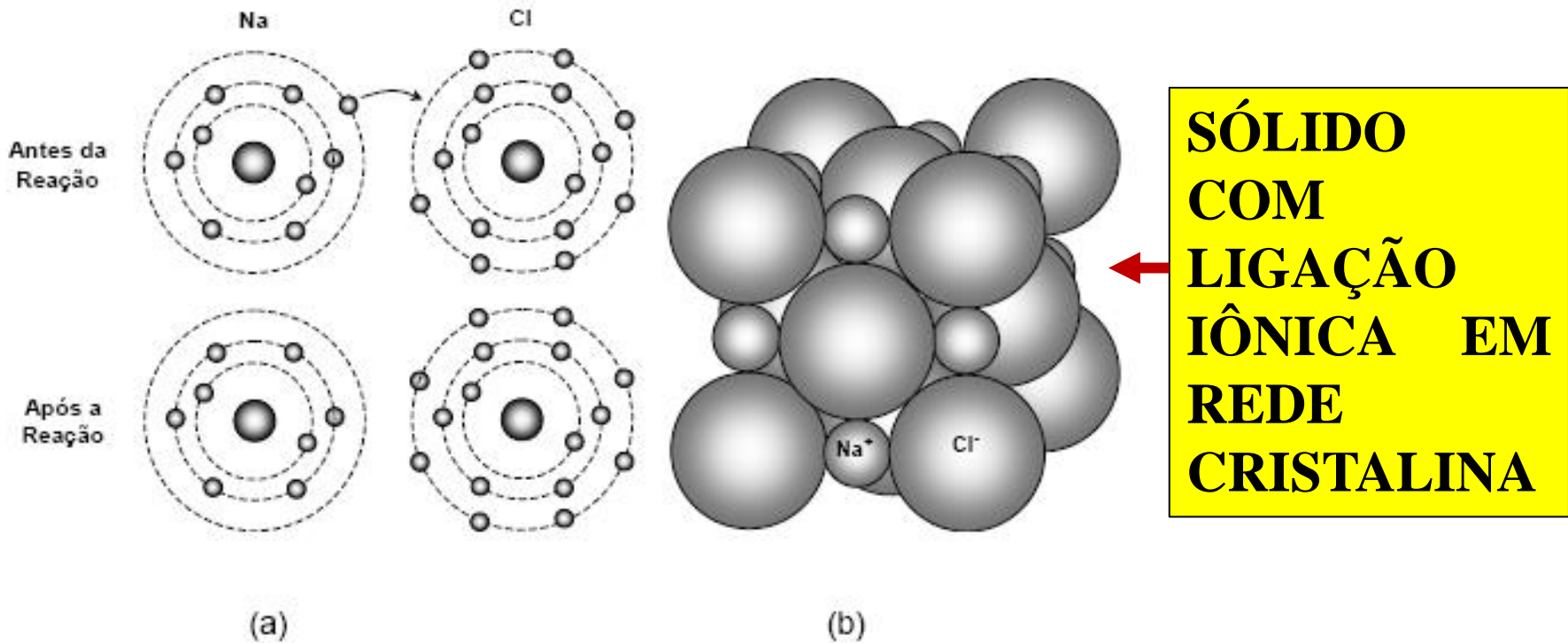
Ligação covalente: direcional



© 2003 Brooks/Cole Publishing / Thomson Learning™

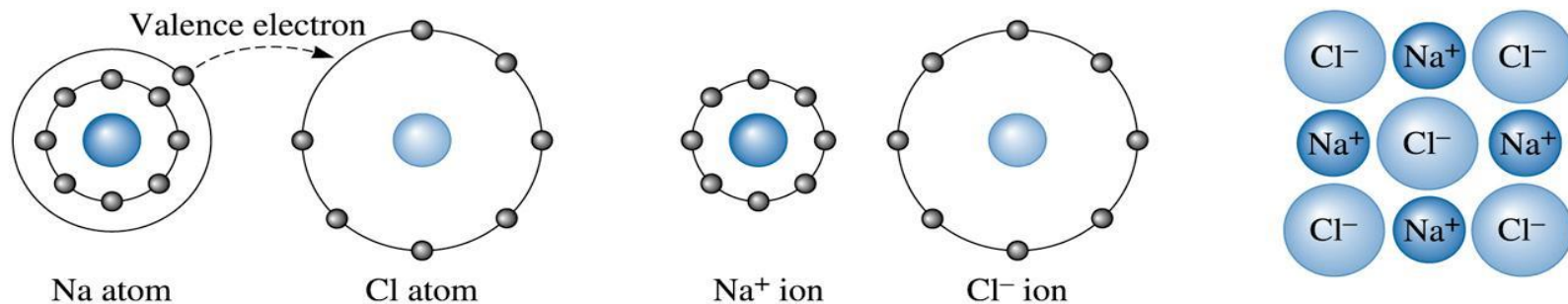
A estrutura tetraédrica da sílica (SiO_2), que contém ligações covalentes entre os átomos de Si e de O.

Ligação iônica: rígida-interação eletrostática-Lei de Coulomb



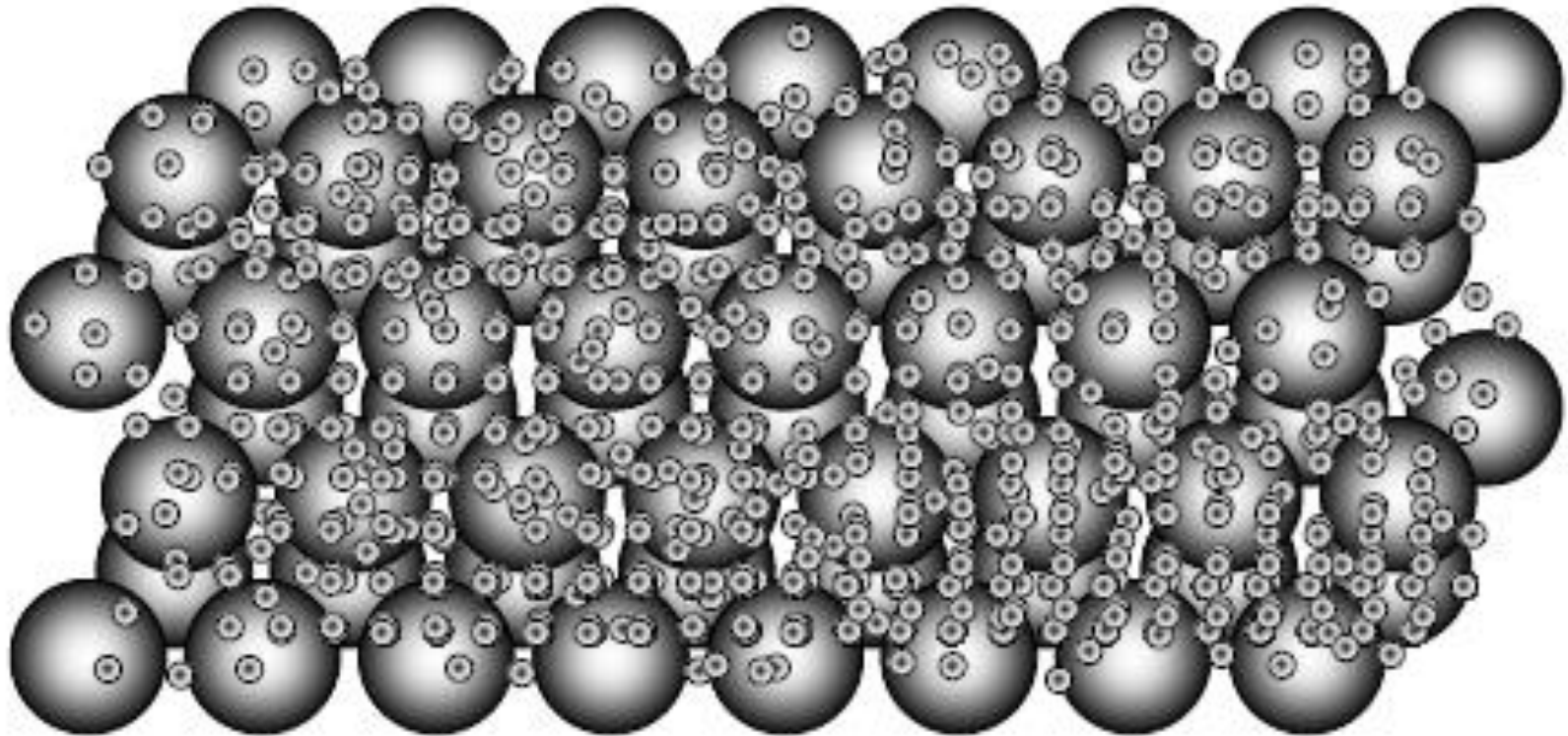


Ligação iônica: rígida-interação eletrostática-Lei de Coulomb



- **UMA LIGAÇÃO IÔNICA É CRIADA ENTRE DOIS ATOMOS COM DIFERENTES ELETRONEGATIVIDADES;**
- **QUANDO O Na DOA SEU ELETRON DE VALÊNCIA PARA O Cl, CADA ELEMENTO SE TORNA UM ÍON (CÁTION Na⁺ E ÂNION Cl⁻) E A ATRAÇÃO ATÔMICA É ESTABELECIDA;**
- **CONDUTIVIDADE ELÉTRICA POBRE ⇒ MOVIMENTO IÔNICO.**

Ligação metálica: não direcional

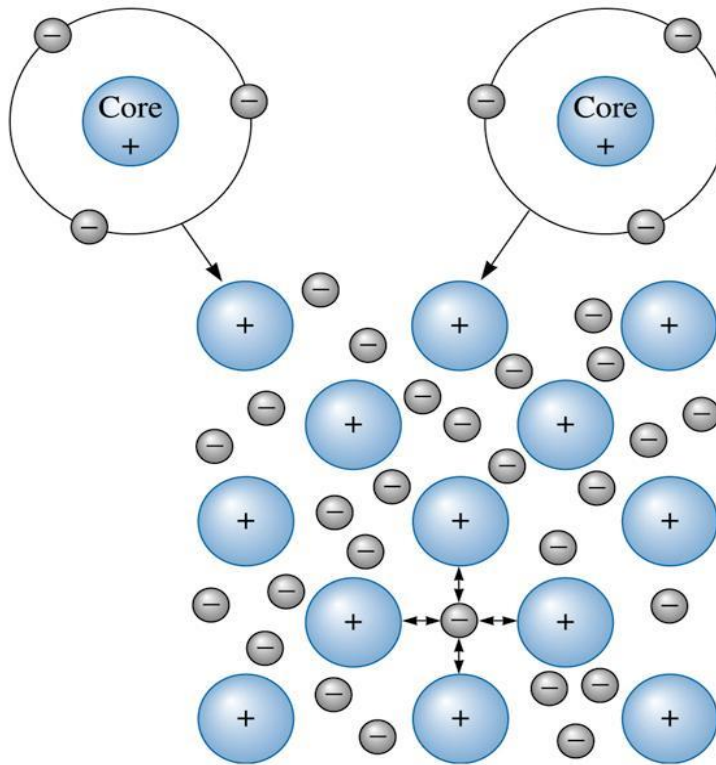


Ligações metálicas (nuvem de elétrons) encontradas nos metais.

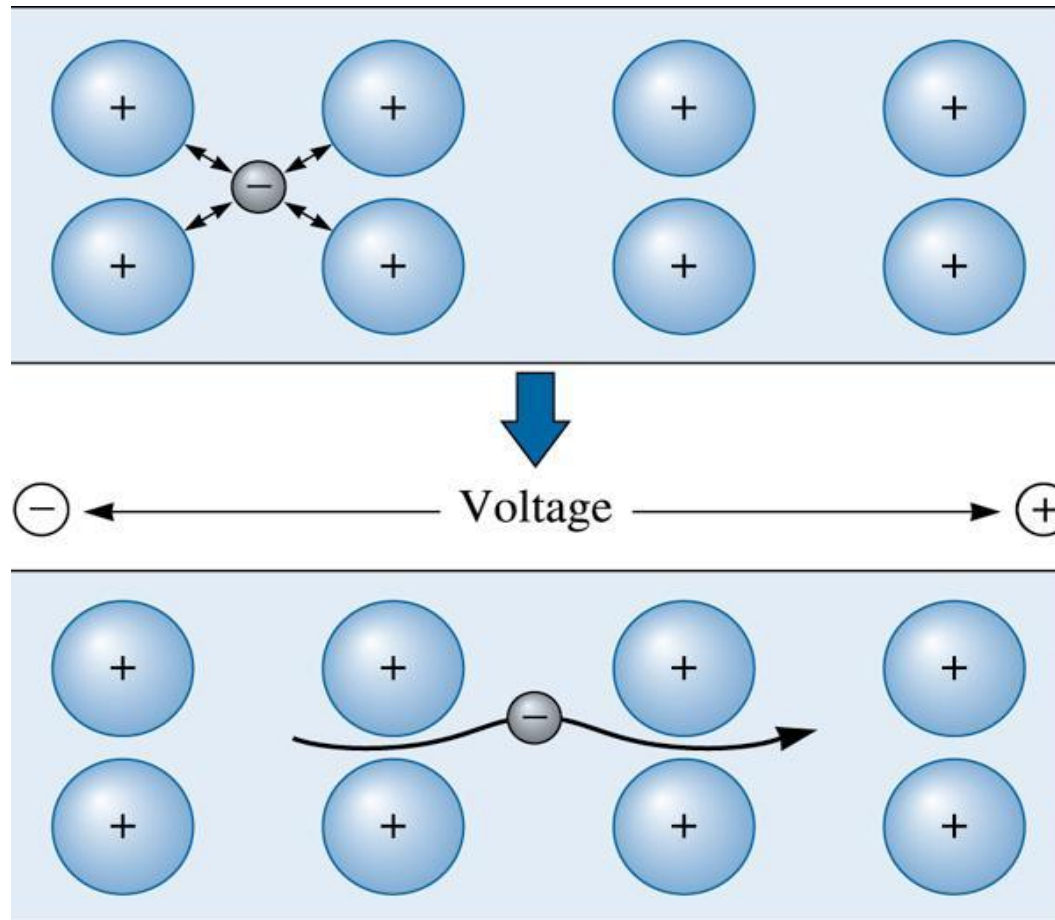
Ligação metálica: não direcional



© 2003 Brooks/Cole Publishing / Thomson Learning™

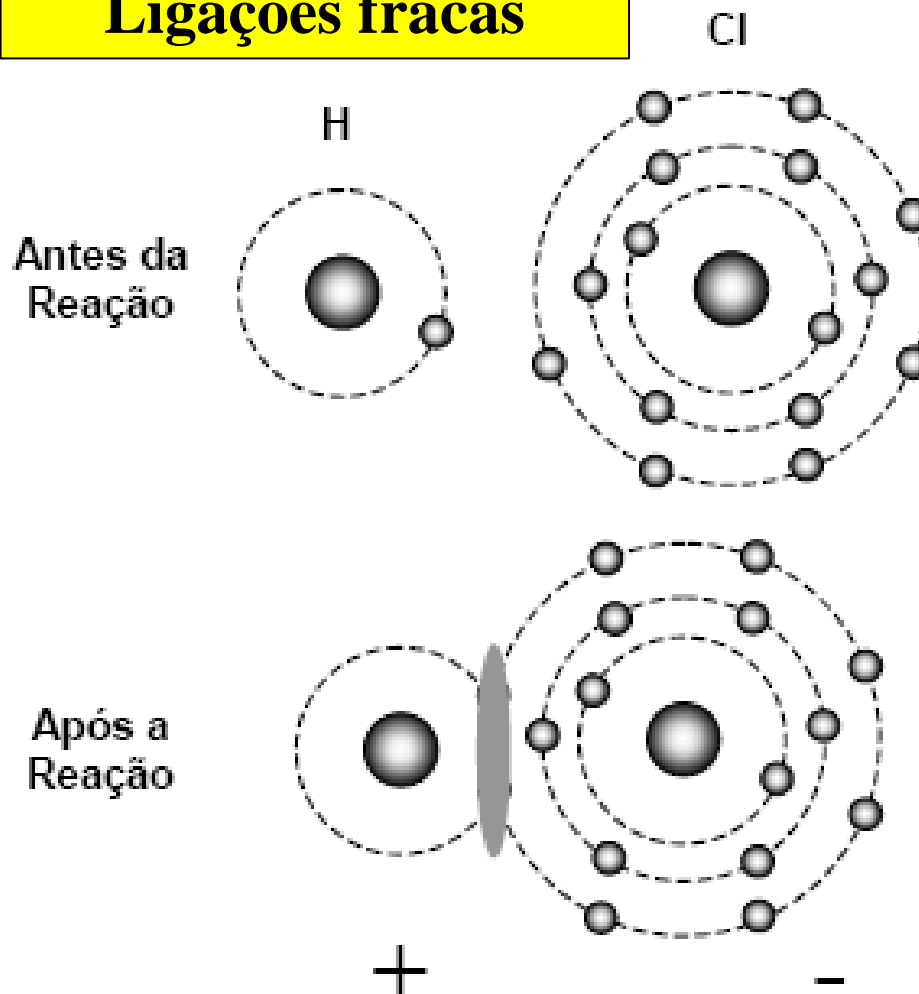


As ligações metálicas se formam quando os átomos cedem os seus elétrons de valência para estes formarem **uma nuvem de elétrons que é compartilhada por todos os átomos** da ligação. A carga positiva dos centros dos átomos ficam mutuamente atraídas a carga negativa (nuvem).



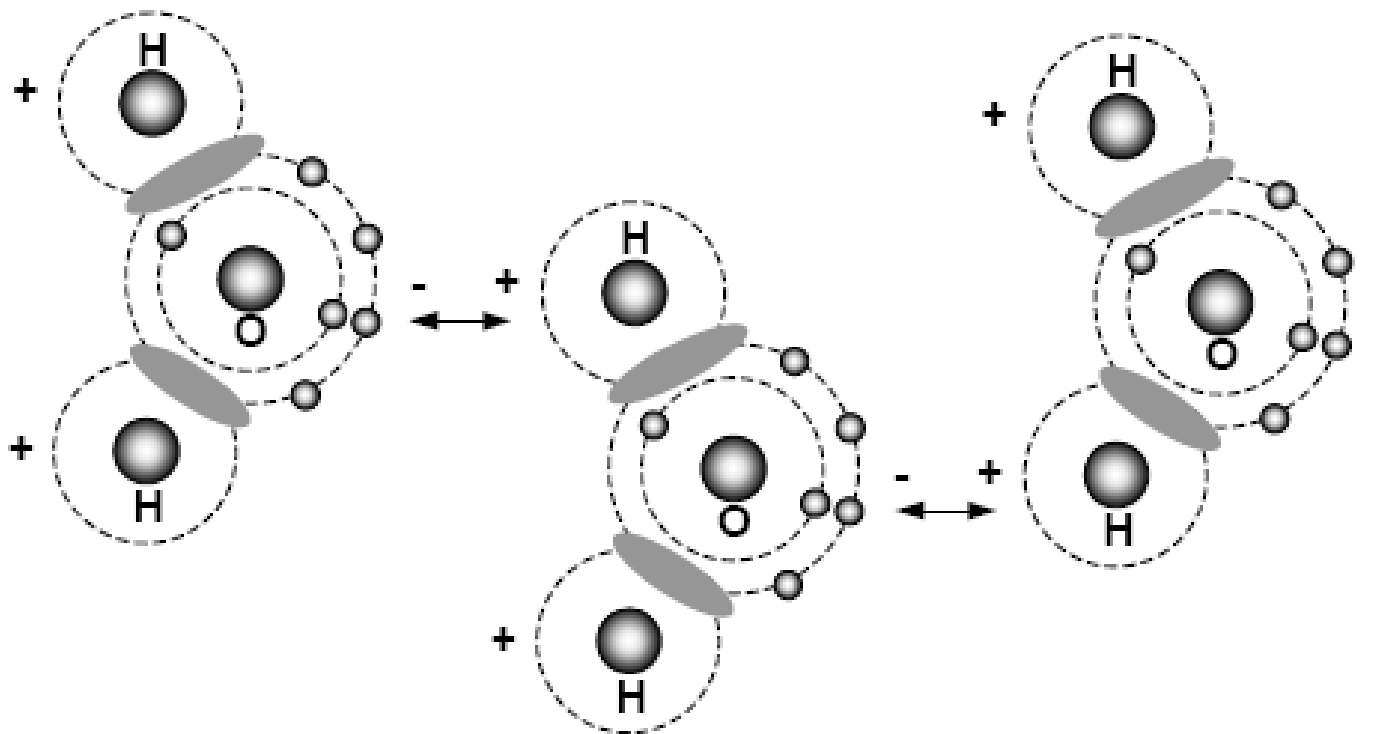
Quando uma **tensão** é aplicada ao metal, os elétrons da nuvem comum aos átomos **podem mover-se** facilmente e criar uma **corrente**.

Ligações fracas



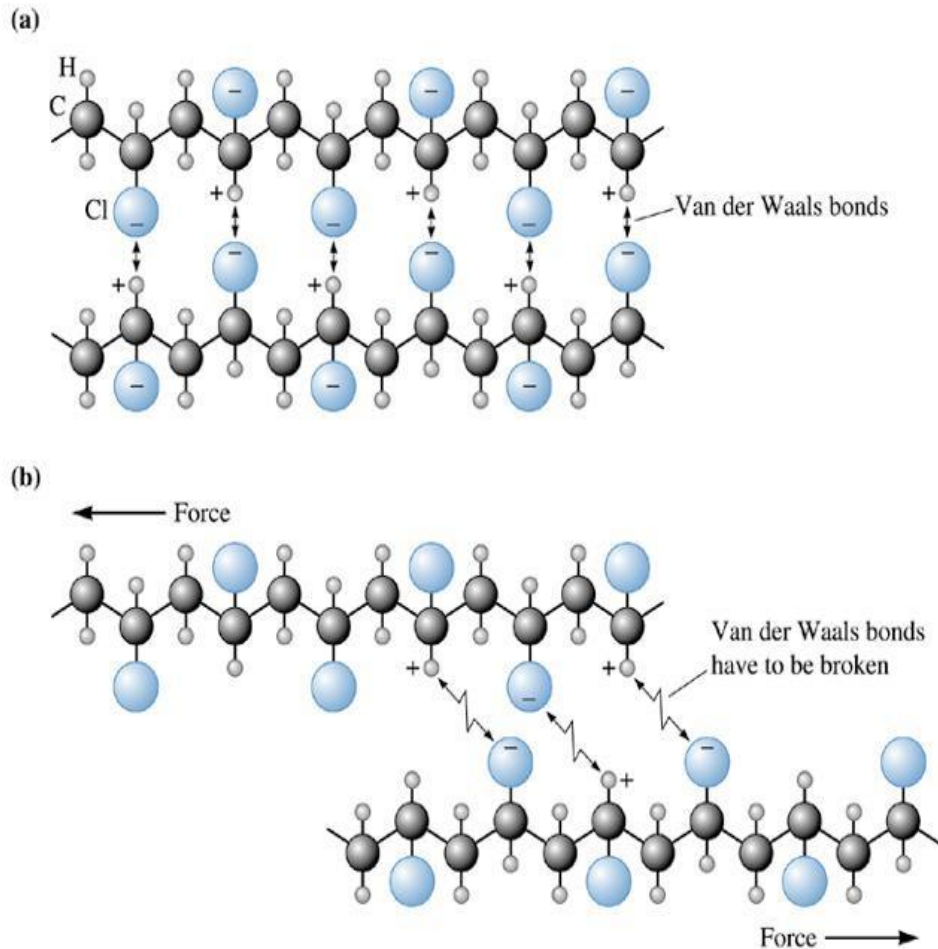
Ligações de Van der Waals – dipolos permanentes

Ligações fracas



Pontes de hidrogênio em moléculas de água

Ligação de Van Der Waals



(a) No cloreto de polivinila (**PVC**), os átomos de **Cl** unidos à cadeia do polímero tem uma carga **negativa** e os átomos de **H** são **positivamente** carregados. As ligações entre as cadeias: **Van der Walls**. Esta ligação extra faz o PVC mais rígido,

(b) Quando uma força é aplicada ao polímero, as ligações de van der Walls são quebradas e as cadeias escorregam umas sobre as outras.

**ENERGIA DAS LIGAÇÕES
PRIMÁRIAS E SECUNDÁRIAS**

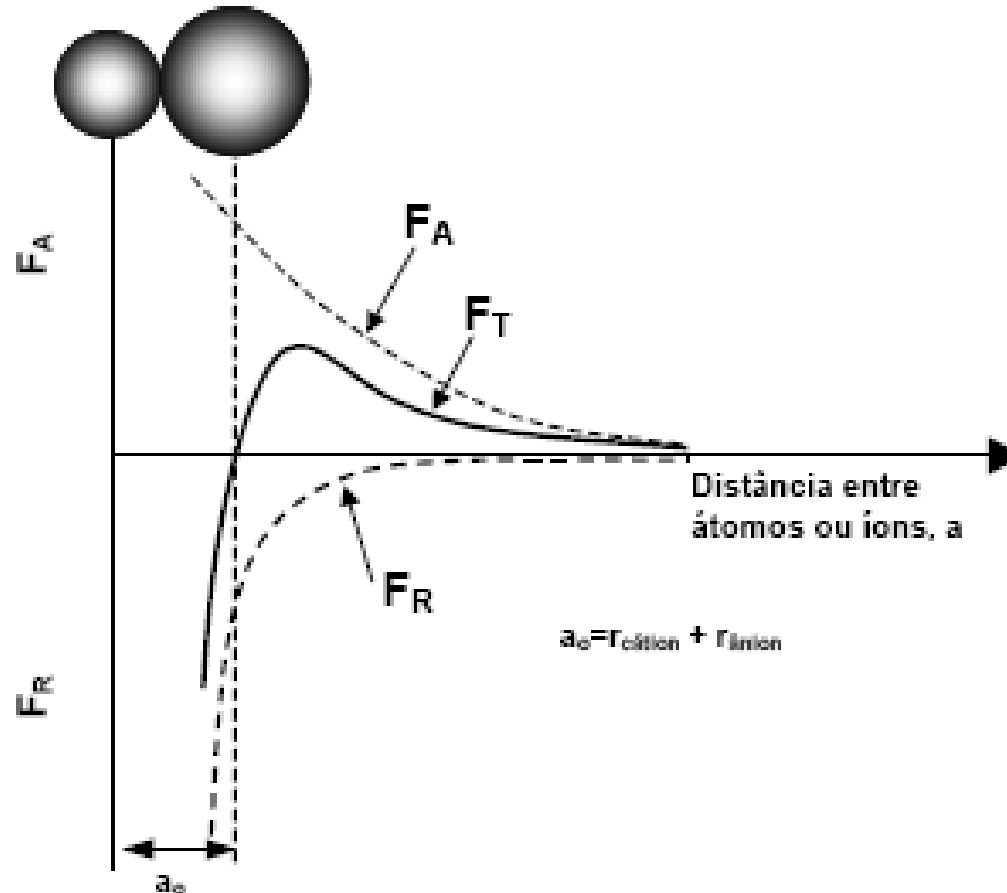
TIPO	ENERGIA DE LIGAÇÃO
	(kcal/mol)
Iônica	150-370
Covalente	125-300
Metálica	25-200
Van der Waals	<10

MATERIAL	LIGAÇÃO	PROPRIEDADES
Cerâmicos: óxidos, silicatos, nitretos	Iônica ou covalente	Alta resistência mecânica e dureza, frágil, isolante térmico e elétrico, alta temperatura de fusão.
Metálicos: metais puros, ligas ferrosas e não ferrosas.	Metálica	Média a alta resistência mecânica e dureza, boa ductilidade, condutor térmico e elétrico, ampla faixa de temperatura de fusão.
Polímeros: plásticos (termoplásticos e termorrígidos), elastômeros (borrachas)	Covalente e ligações secundárias (Van der Waals, pontes de hidrogênio, dipolos permanentes)	Baixa resistência mecânica e dureza, alta ductilidade, isolante térmico e elétrico, baixa estabilidade térmica
Compósitos: união de duas ou mais classes de materiais	complexa	Depende do tipo.



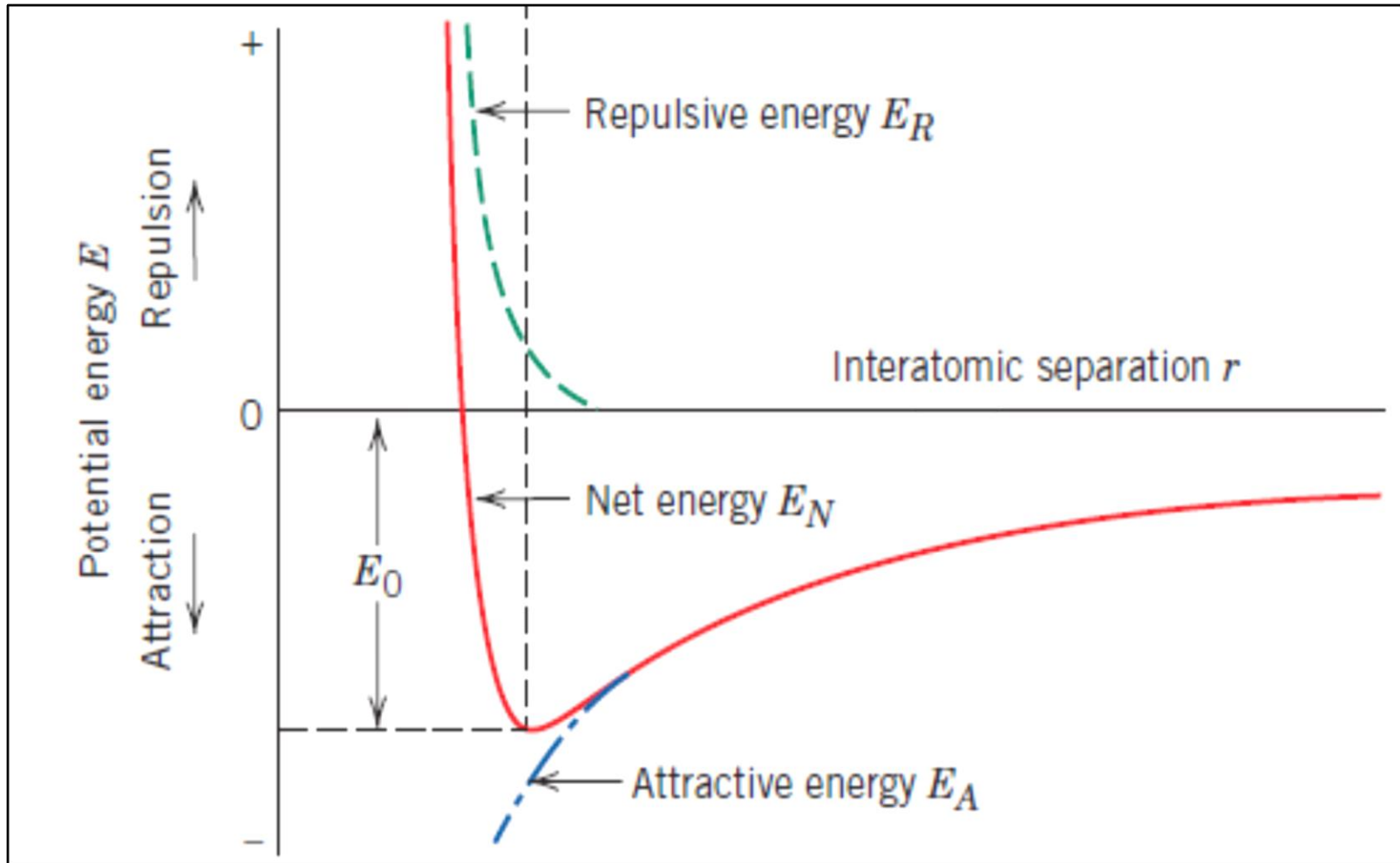
O QUE OCORRE QUANDO UM ÁTOMO/ÍON SE LIGA A OUTRO?

Força e energia interatômicas



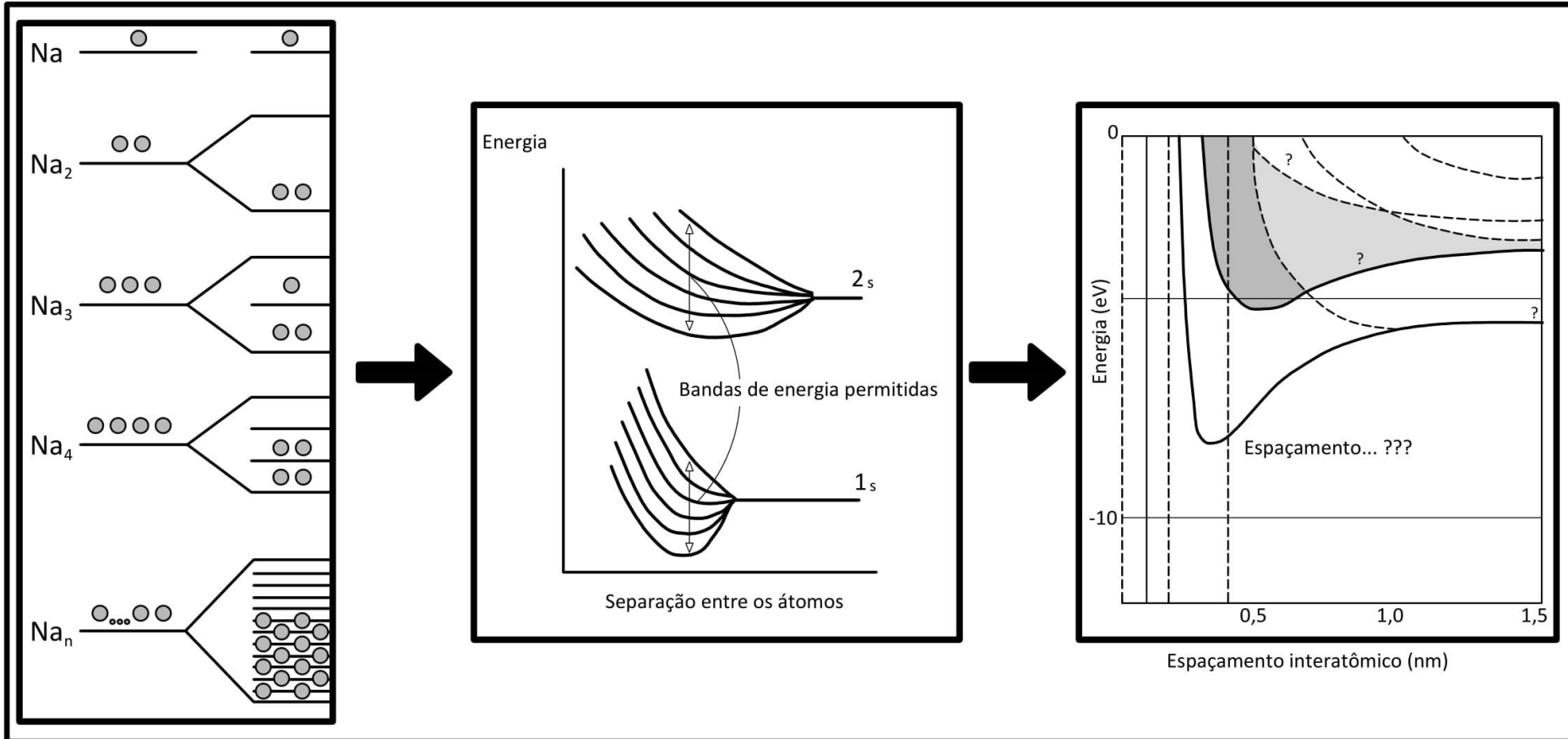
Força de interação entre dois átomos: curva é a soma das forças de atração e repulsão.

Energia interatômica: Variação da energia potencial resultante da interação entre átomos ou íons.

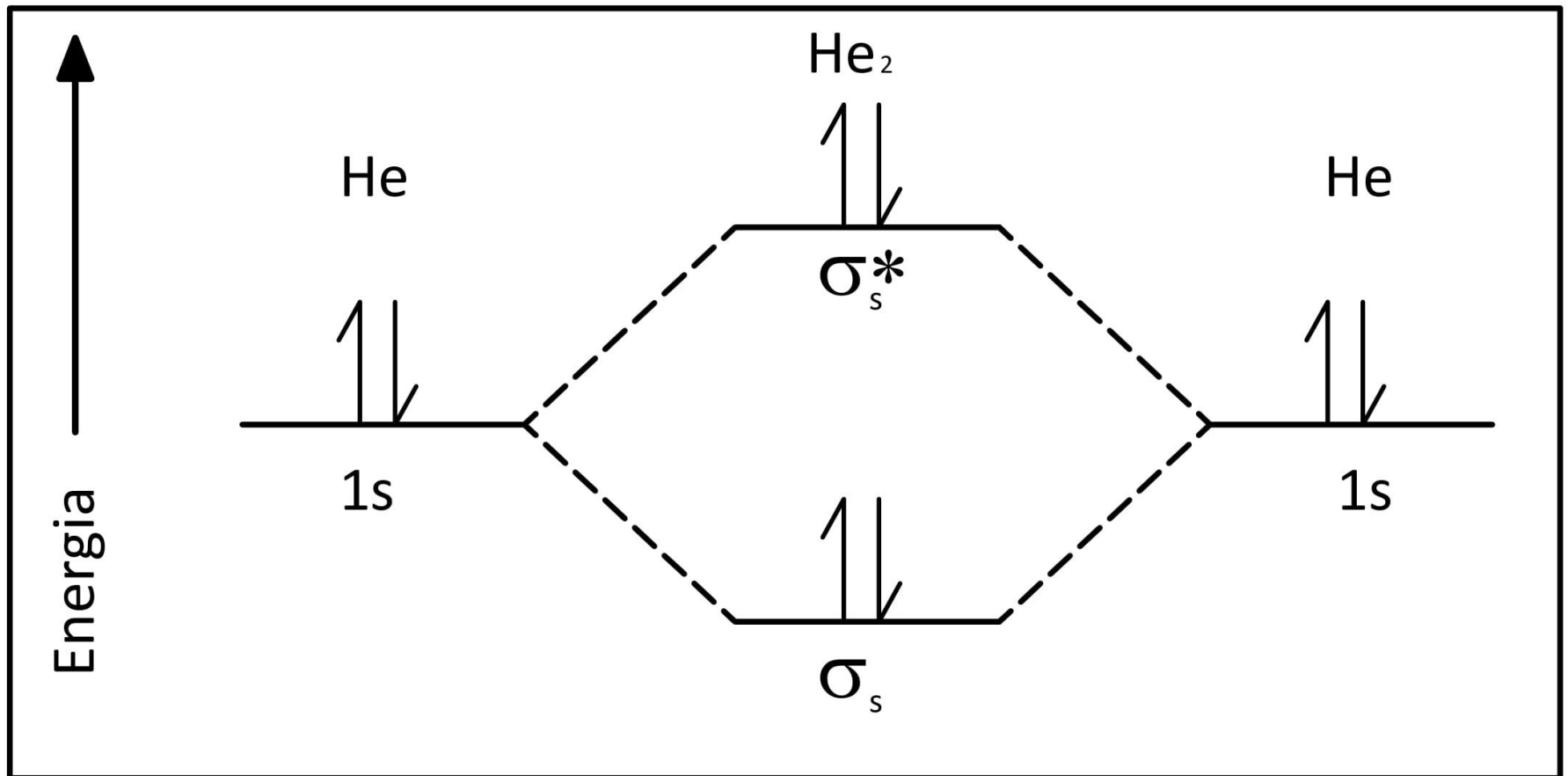


$$E_{OM} < E_{OA}$$

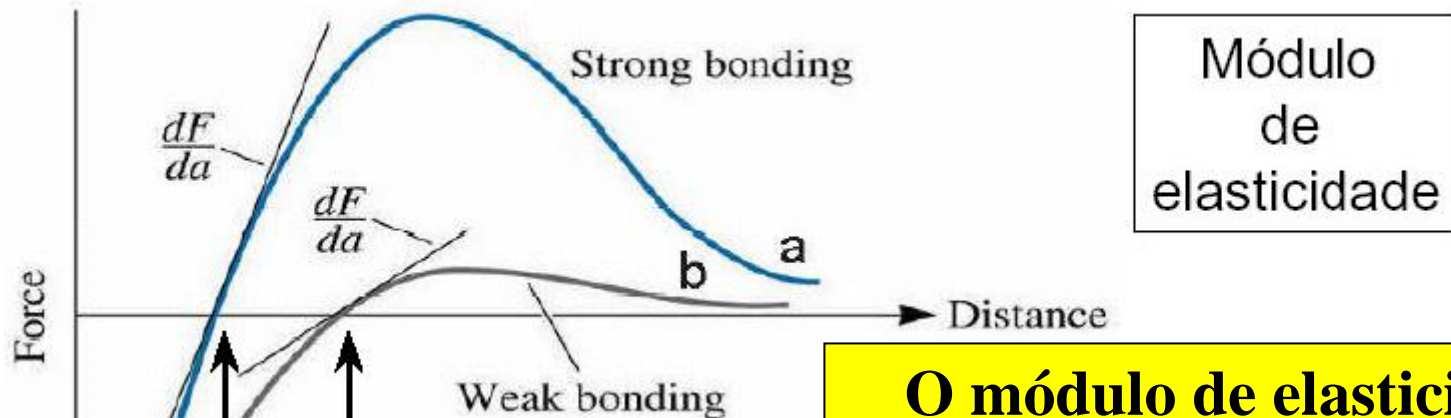
A **energia** total dos **elétrons** do **orbital molecular** tem que ser **menor** que a dos elétrons no **orbital atômico**



Por isso, não existe molécula de hélio (He_2)



Propriedades mecânicas: módulo de Elasticidade

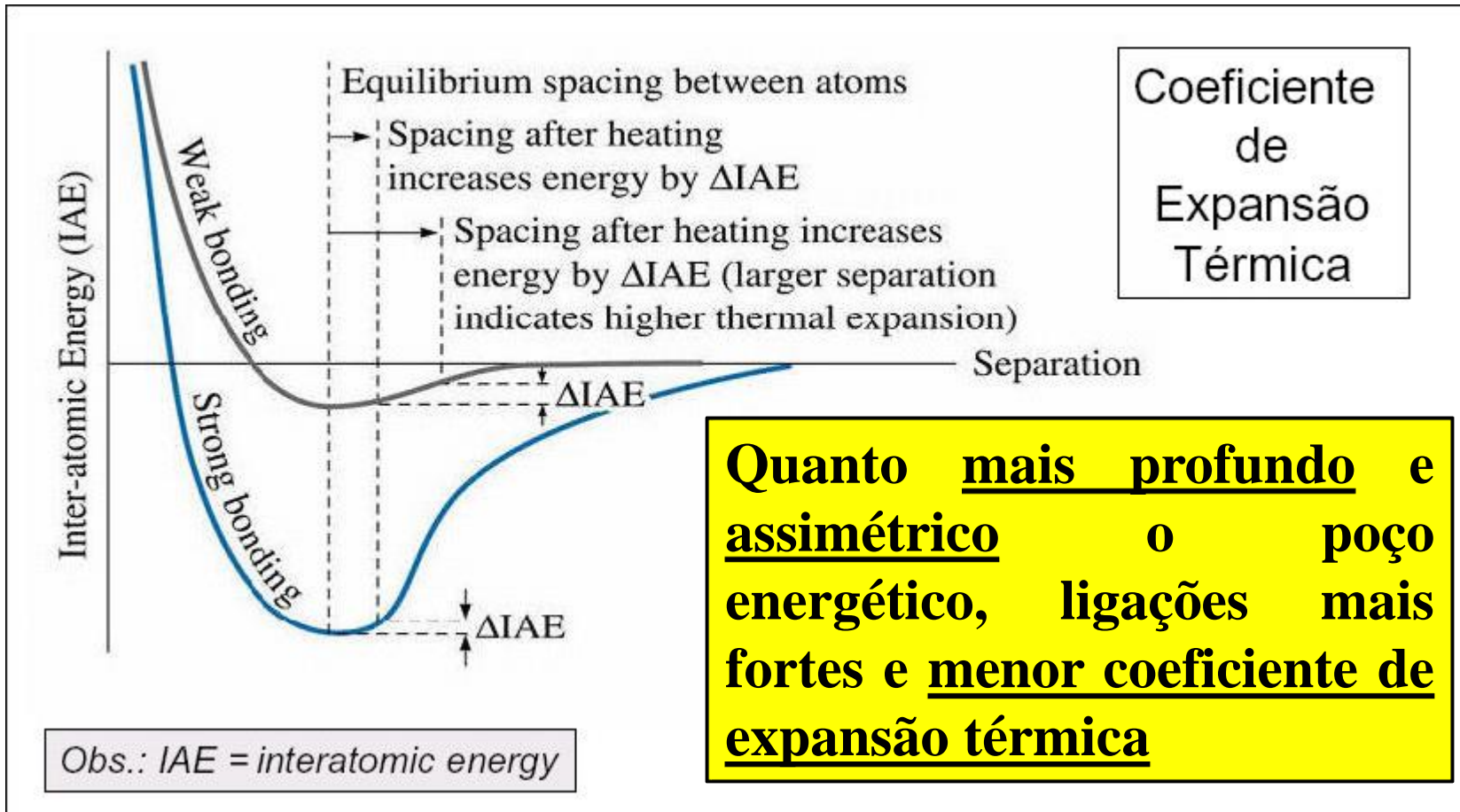


Módulo
de
elasticidade

O módulo de elasticidade é proporcional à derivada da curva em $r=r_0$: quanto maior a inclinação da curva, ligações mais fortes, maior módulo de elasticidade. Material a tem maior módulo que material b!

Obs.: o módulo de elasticidade é uma propriedade mecânica que será estudada em detalhe mais à frente no curso

r_0 = ponto onde forças de atração e repulsão são iguais



Ponto de fusão: Quanto mais profundo o poço, maiores as temperaturas de fusão, ebulição e sublimação.

O POÇO DE INTERAÇÃO DEPENDE DA DISTÂNCIA ENTRE OS ÁTOMOS OU ÍONS E DAS FORÇAS ENVOLVIDAS.

ASSIM, A ESTRUTURA (CRISTALINA OU AMORFA) CONTRIBUI PARA AS PROPRIEDADES DOS MATERIAIS.

CONCLUI-SE QUE AS PROPRIEDADES DOS MATERIAIS DEPENDEM DA LIGAÇÃO QUÍMICA COMBINADA À ESTRUTURA CRISTALINA.



**OS MATERIAIS PODEM APRESENTAR
ESTRUTURA CRISTALINA, SEMI-
CRISTALINA OU AMORFA.**

The background is a blue gradient with white circuit-like lines in the corners. A central yellow rectangle contains the text 'FIM'.

FIM