

# LOM3013

## Ciência dos Materiais

### INTRODUÇÃO



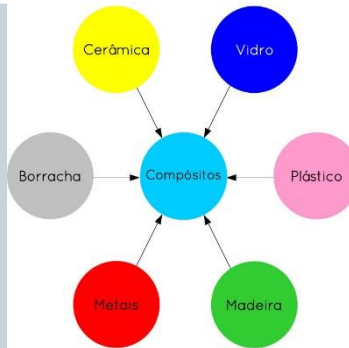
Profa. Maria Ismenia Sodero  
maria.ismenia@usp.br

Defeitos dos diamantes viram sensores para  
monitorar condições extremas

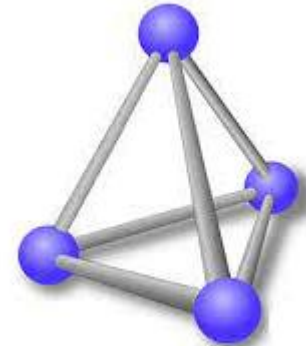
# Você já se perguntou?



Por que se deve estudar ciência dos materiais



Quais os tipos de materiais de engenharia disponíveis?



Qual a relação entre estrutura, propriedade e processamento

# Por que se deve estudar ciência dos materiais?

**Conhecer as propriedades dos materiais em diferentes condições de uso!**



Tragédia do Titanic: episódio é um dos mais famosos desastres marítimos da História

<https://aventurasnahistoria.uol.com.br/noticias/almanaque/dos-erros-do-capitao-aos-orfaos-do-naufragio-5-fatos-sobre-tragedia-do-titanic.phtml>

**Preocupar com a vida útil de um material e seus impactos ambientais**



[https://www.apolo11.com/noticias.php?t=Lixo\\_espacial\\_projeto\\_americo\\_ano\\_preve\\_reciclagem\\_de\\_satelites&id=20111026-095541](https://www.apolo11.com/noticias.php?t=Lixo_espacial_projeto_americo_ano_preve_reciclagem_de_satelites&id=20111026-095541)

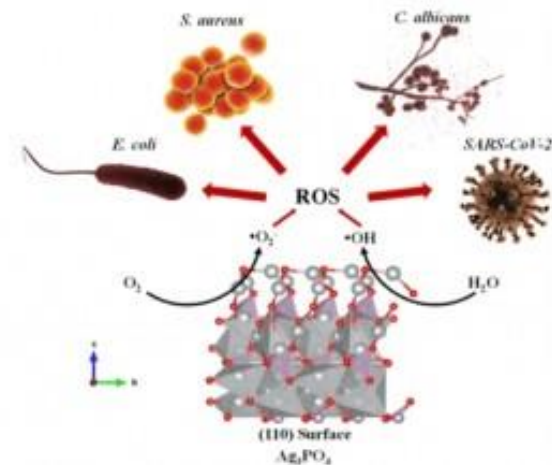


<https://oeco.org.br/reportagens/lixo-no-mar-e-problema-do-governo-e-da-populacao/>



# Por que se deve estudar ciência dos materiais?

## Desenvolvimento de novas tecnologias e Novos Materiais



Compósito com ação antimicrobiana é fruto de trabalho de doutorado conduzido no Centro de Desenvolvimento de Materiais Funcionais da UFSCar (*imagem: CDMF/divulgação*)

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jpcc.1c05225>

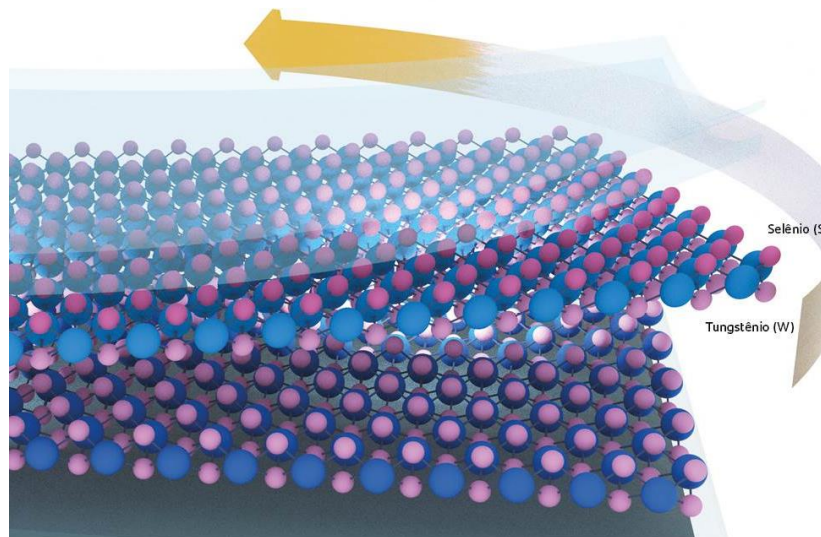


Ilustração mostra o desalinhamento de uma folha de disseleneto de tungstênio em um sistema composto por duas camadas desse material bidimensional

<https://revistapesquisa.fapesp.br/de-metal-a-isolante/>

Eduardo Geraque

Edição 310  
dez. 2021

Física  
Nanotecnologia

Ao desalinhar levemente duas nanofolhas sobrepostas de disseleneto de tungstênio ( $WSe_2$ ), um material de estrutura hexagonal similar ao grafeno, e controlar a quantidade de elétrons nessas lâminas, um grupo de físicos da Universidade Columbia, em Nova York, observou uma manifestação distinta de um fenômeno quântico esperado. Conforme essas variáveis eram manipuladas, o sistema deixava, de forma progressiva e suave, sem mudanças repentinas, a condição de metal, em que era capaz de transmitir corrente elétrica, para a de isolante. Não é surpresa o disseleneto de tungstênio apresentar essa transição de fase, de metal para isolante, visto que se trata sabidamente de um material semiconductor, como o silício empregado nos chips de computadores. Essa propriedade quântica é justamente a que caracteriza um semiconductor. A surpresa deriva da maneira gradativa e lenta em que se deu a mudança de estado.

"Essa transição de fase geralmente ocorre de forma abrupta", explica o físico brasileiro Augusto Ghiotto, primeiro autor de um artigo publicado em 15 de setembro na revista científica *Nature* em que relata experimento com as folhas giradas de disseleneto de tungstênio, conduzido a temperaturas extremamente baixas, da ordem de  $-260$  graus Celsius ( $^{\circ}C$ ). "Os nossos resultados indicam que o  $WSe_2$  torcido pode funcionar como uma nova plataforma para estudos da transição de fases quânticas." Natural de Bauru, no interior paulista, Ghiotto está há nove anos nos Estados Unidos. Graduiu-se em Columbia, onde hoje faz doutorado em física da matéria condensada e integra o grupo de pesquisa do físico Abhay Narayan Pasupathy.

O disseleneto de tungstênio é mais um dos chamados materiais cristalinos bidimensionais, um tipo de sólido composto por apenas uma camada de átomos ordenados de acordo com um certo padrão. Essa geometria particular seria a chave para explicar o surgimento, em certas condições, de propriedades especiais em materiais com duas dimensões, como a supercondutividade. Depois da descoberta em 2004 das folhas de grafeno, considerado o primeiro material conhecido em 2D, o interesse por esse campo de estudos é crescente. Mais recentemente, uma série de experimentos passou a indicar que sobrepor duas ou mais lâminas de materiais bidimensionais e desordenar levemente uma dessas folhas pode produzir efeitos especiais. Esse desalinhamento de uma das camadas levou ao surgimento de um subárea da ciência de materiais denominada twistrônica (em inglês, *twist* significa girar).



**Sensores eletroquímicos** aplicados sobre a pele para monitorar as condições de saúde ou o desempenho físico podem ser produzidos com **nanocelulose microbiana, um polímero natural** usado em curativos, em substituição aos impressos em plásticos, comuns no mercado (Talanta, 19 de maio). A possibilidade foi demonstrada em um projeto realizado por pesquisadores da Universidade de São Paulo (USP) em São Carlos em parceria com equipes de outras instituições. Segundo Osvaldo Novais de Oliveira, da USP, coordenador do projeto, os sensores de nanocelulose têm vantagens em relação aos de plástico: não são tóxicos nem irritam a pele. Também são semipermeáveis, o que permite detectar substâncias no suor. “Já demonstramos que podem detectar metais pesados, hormônios e ácido úrico. Modificados, conseguem identificar glicose”, afirma.

<https://revistapesquisa.fapesp.br/sensores-de-nanocelulose/>

# Ciência dos Materiais

O objetivo de toda ciência dos materiais é permitir que os cientistas e engenheiros façam **escolhas embasadas em relação ao projeto, seleção e uso de materiais para aplicações específicas.**

Quatro doutrinas guiam o estudo da ciência dos materiais:

1. Os princípios que governam o comportamento dos materiais são baseados na ciência e são compreensíveis;
2. As propriedades de um dado material são determinadas por sua estrutura. O processamento pode modificar a estrutura de maneira específica e previsíveis;
3. As propriedades de todos os materiais variam ao longo do tempo devido ao uso e à exposição às condições ambientais;
4. As se selecionar um material para uma aplicação específica devem ser realizados testes apropriados e em número suficiente, para garantir que o material permanecerá apto à aplicação desejada por toda a vida esperada do produto.

Fundamentos da Ciência e  
Engenharia dos Materiais  
William F. Smith/Javad Hashemi





[imagem: Columbia sts-101 pgthunt(180px)]

Entender as propriedades associadas com várias classes de materiais



Conhecer por que essas propriedades existem e como elas podem ser alteradas para tornar um material mais apropriado para uma determinada aplicação;



Avaliar as considerações econômicas que, em última análise, governam a maioria das questões relacionadas aos materiais



Considerar os efeitos de longa duração sobre o meio ambiente ao usar um material



Ser capaz de medir propriedades importantes dos materiais e avaliar como essas propriedades irão afetar o desempenho



# Quais os critérios que um engenheiro deve adotar para selecionar um material entre tantos outros?

O engenheiro deve caracterizar quais as **condições de operação** que será submetido o referido material e levantar as **propriedades** requeridas para tal aplicação, saber como esses valores foram determinados e quais as limitações e restrições quanto ao uso dos mesmos;

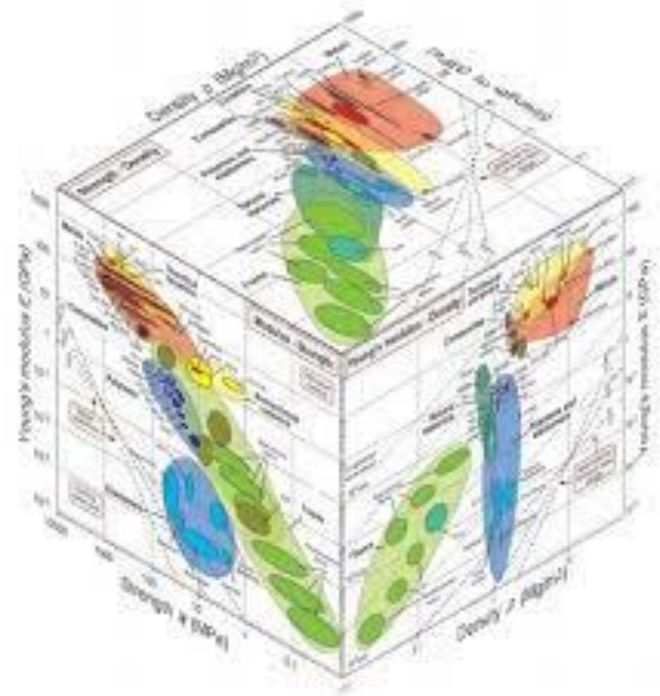
A segunda consideração na escolha do material refere-se ao levantamento sobre o tipo de **degradação** que o material sofrerá em serviço;

Finalmente, a consideração talvez mais convincente é provavelmente a **econômica**.

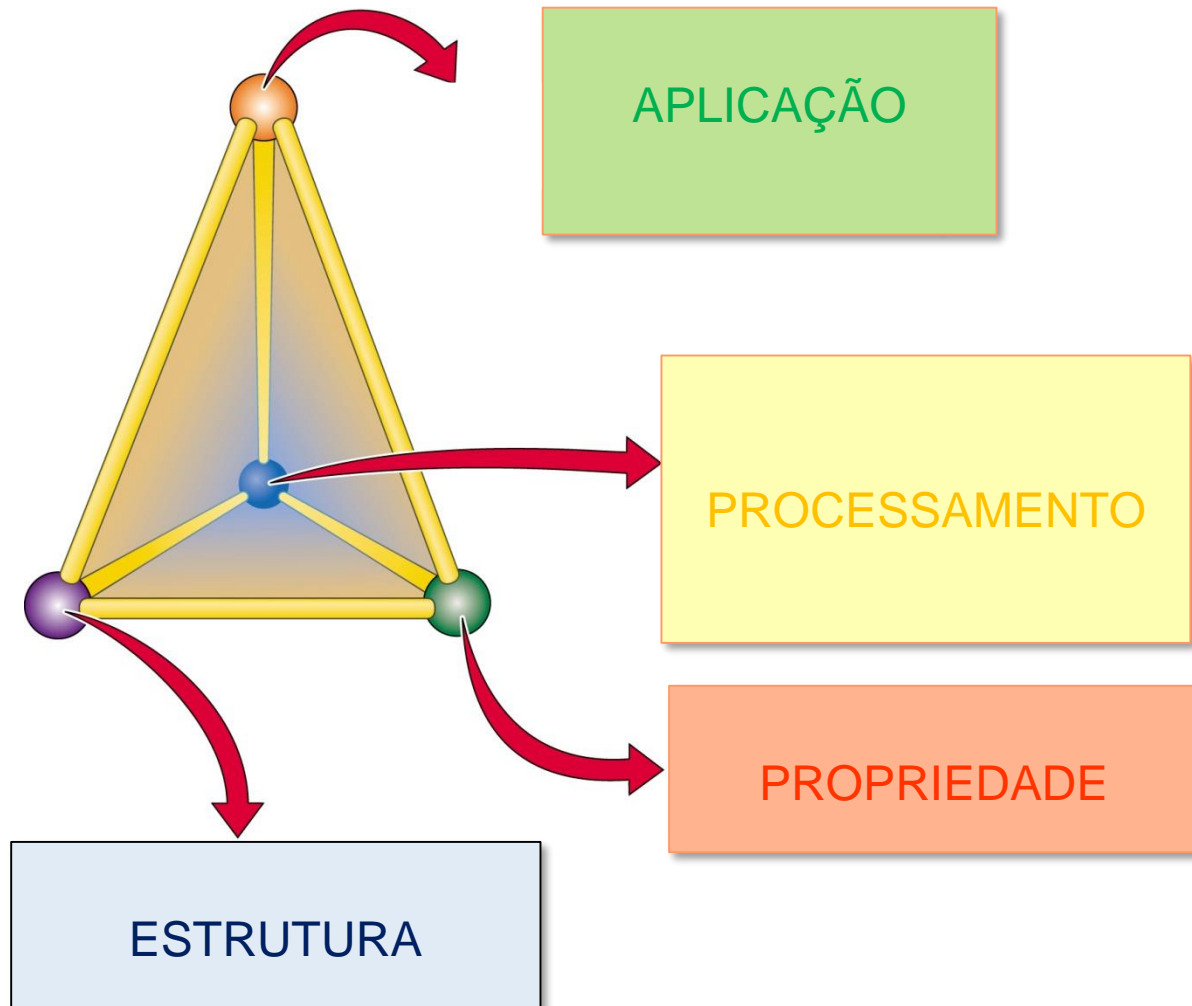
## **ATENÇÃO:**

**Em raras ocasiões um material reúne uma combinação ideal de propriedades**, ou seja, muitas vezes é necessário reduzir uma em benefício da outra.

**MELHOR SOLUÇÃO TÉCNICA – MENOR CUSTO!**



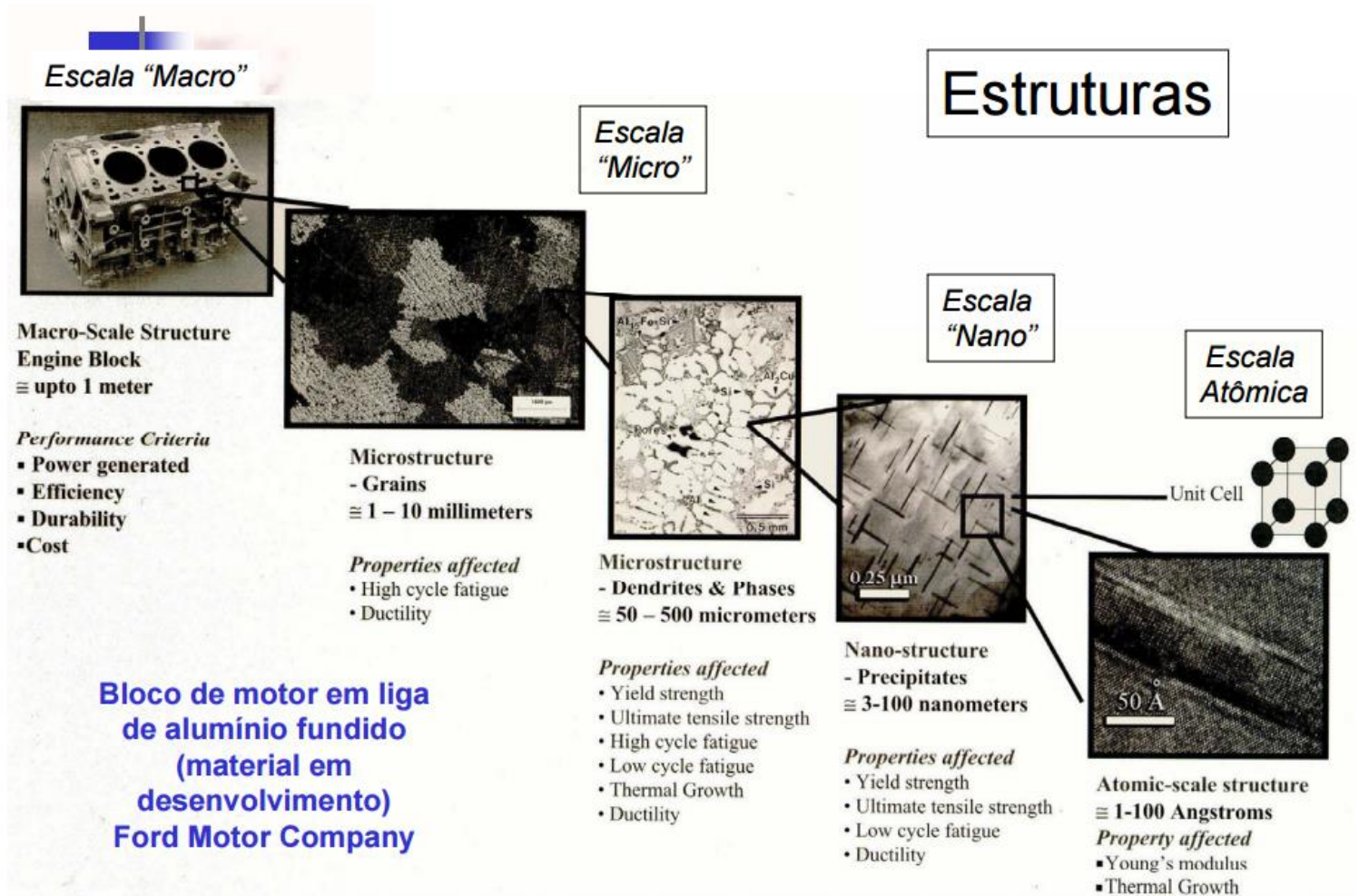
# Tetraedro da Ciência e Engenharia dos Materiais



Adaptado: Ciência e Engenharia dos Materiais – Askeland e Phulé

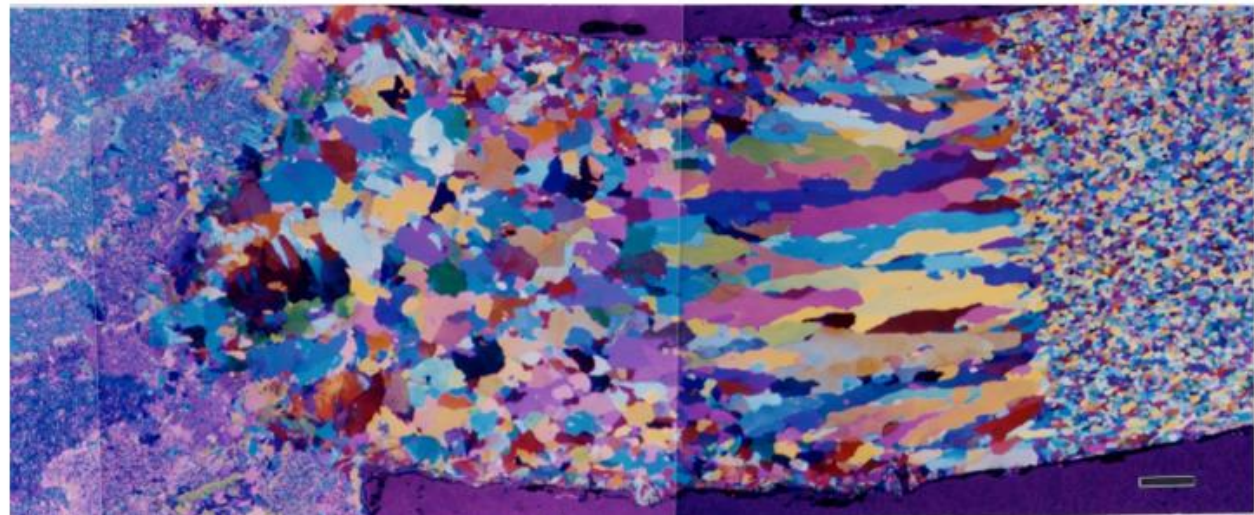
# ESTRUTURAS

## Estrutura





# Microestrutura de um material soldado



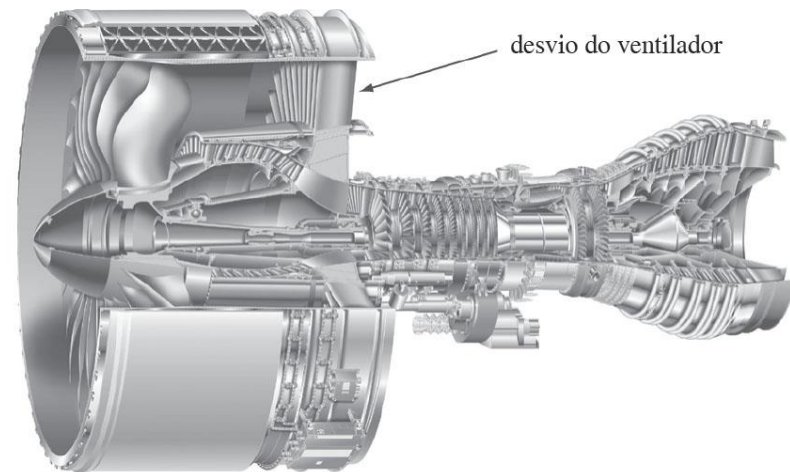


# Propriedade Mecânica

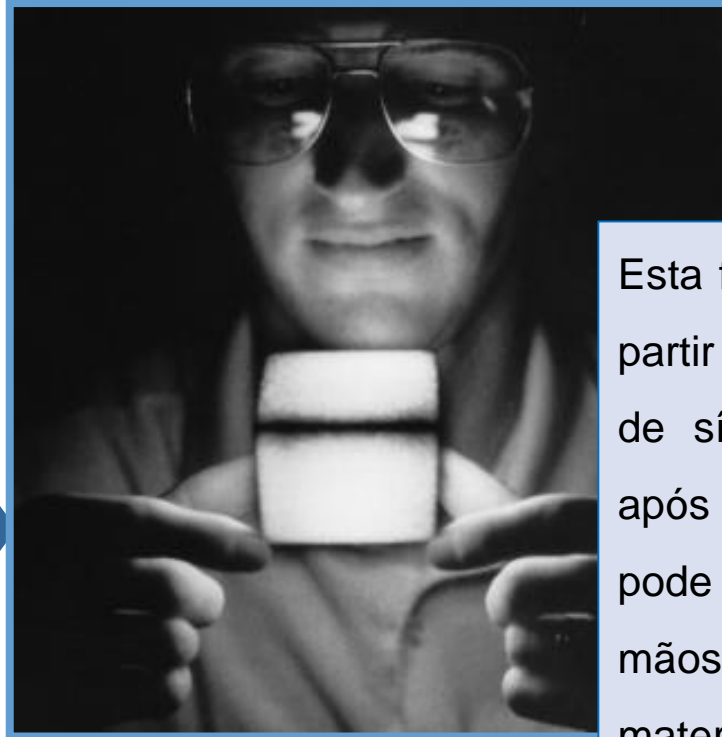
RELACIONAM A DEFORMAÇÃO À APLICAÇÃO DE UMA CARGA.

Exemplos: Módulo de elasticidade, Resistência mecânica.

Vista em corte de uma turbina de avião. A seção de compressão dianteira, que opera a baixas e médias temperaturas, utiliza geralmente componentes de titânio. A seção de combustão traseira, porém, opera com altas temperaturas, requer o uso de superligas de níquel. A capsula externa está exposta a baixas temperaturas, sendo satisfatório o emprego de alumínio e compósitos.



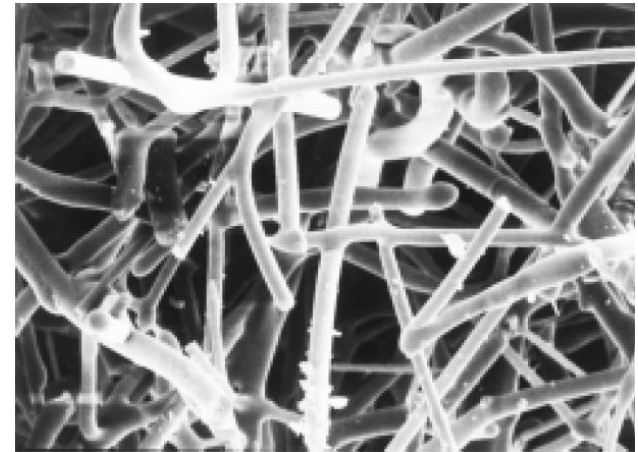
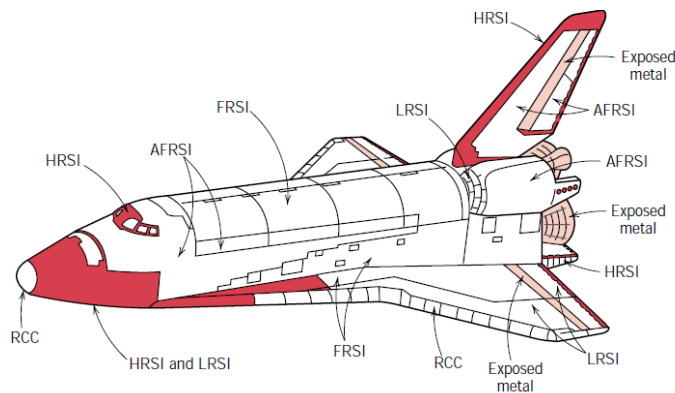
## Propriedade Térmica



Esta fotografia mostra um cubo quente feito a partir de um material isolante à base de fibra de sílica, o qual, apenas alguns segundos após ter sido retirado de um forno quente, pode ser segurado pelas suas arestas com as mãos nuas. A condutividade térmica deste material é tão pequena que a condução do calor do seu interior ( $T \sim 1250^{\circ} \text{C}$ ) para a superfície do material é muito pequena

# Propriedade Térmica

As restrições impostas aos materiais localizados nas regiões do ônibus espacial que são expostas a temperaturas na faixa de 400 a 1260<sup>o</sup> C são muito rígidas. Nestas regiões são utilizadas placas cerâmicas.

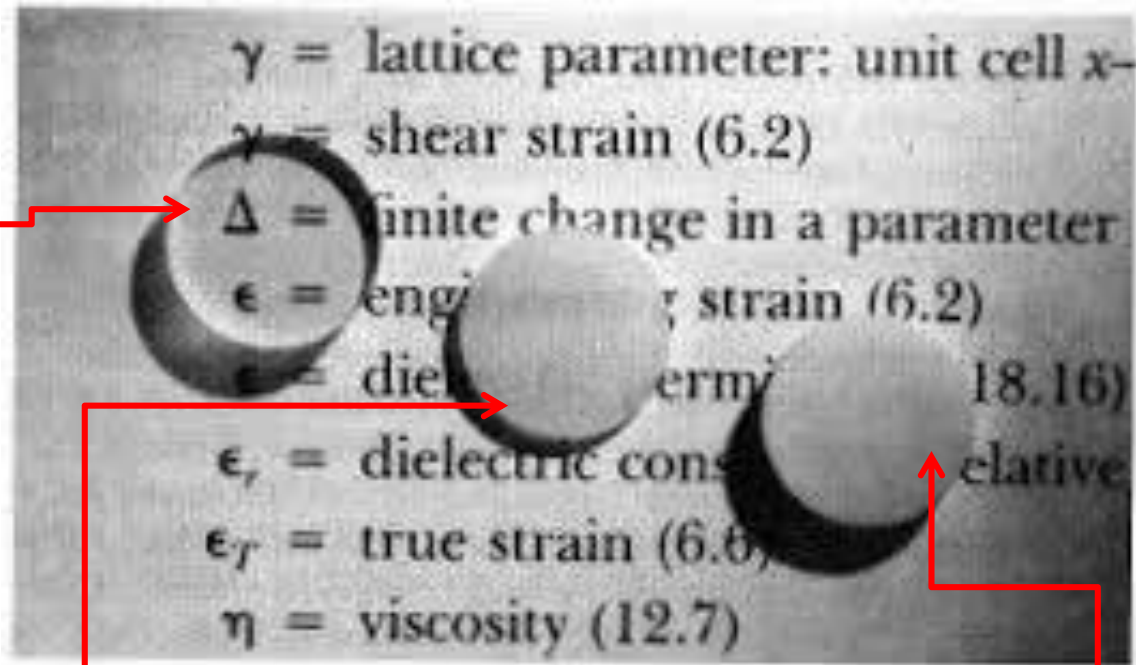


Localização dos vários componentes do sistema de proteção no ônibus espacial.

Micrografia eletrônica de varredura de uma placa cerâmica de um ônibus espacial, onde são mostradas as fibras de sílica que foram colocadas umas às outras durante um procedimento de tratamento térmico de sinterização. Material muito poroso e de baixo peso.

# Propriedade Óptica

Transmitância de luz de 3 amostras de óxido de alumínio



Monocristal

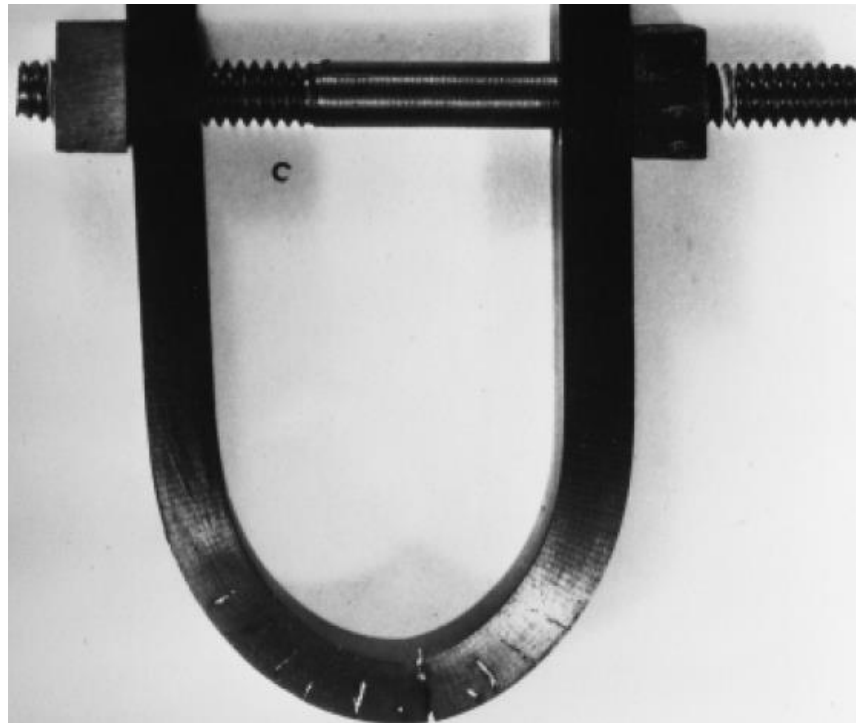
Vários Monocristais muito pequenos conectados entre si

Vários cristais muito pequenos e grande números de poros



# Propriedade Deteriorativa

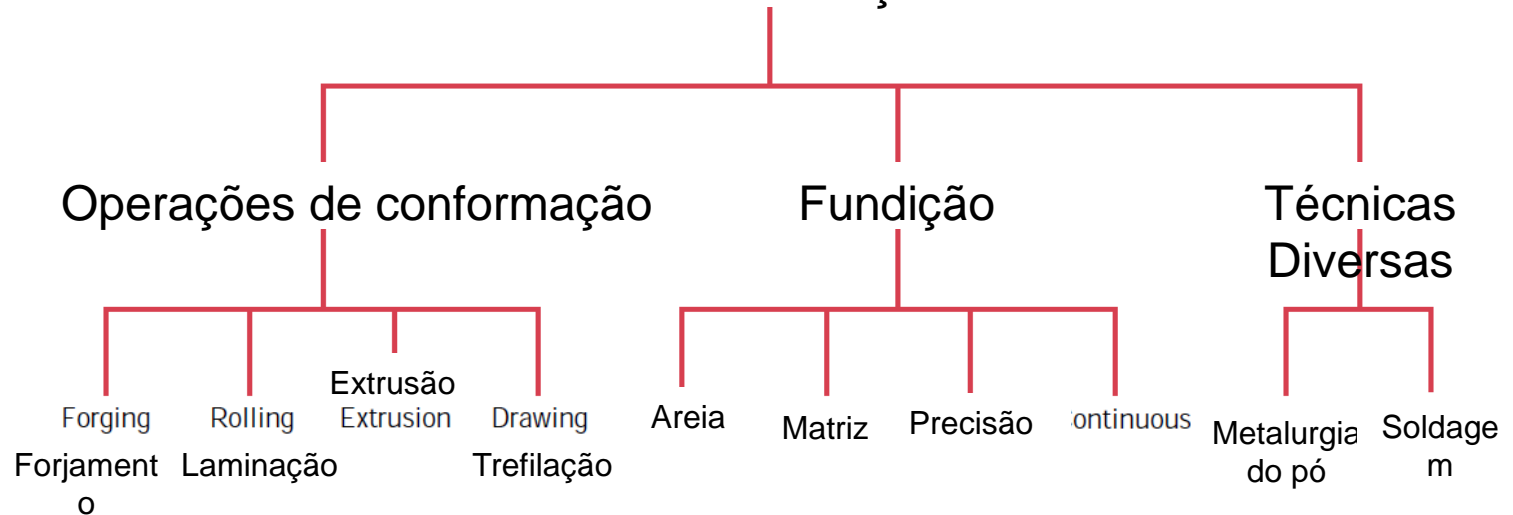
Imagem mostra uma barra de aço que foi dobrada até a forma de uma “ferradura” utilizando-se um conjunto de porca e parafuso. Enquanto a peça ficou imersa em água do mar, trincas de corrosão sob tensão se formaram ao longo da parte dobrada, naquelas regiões onde as forças de tração são maiores.



# Técnicas de Fabricação de metais



## Técnicas de fabricação de metais



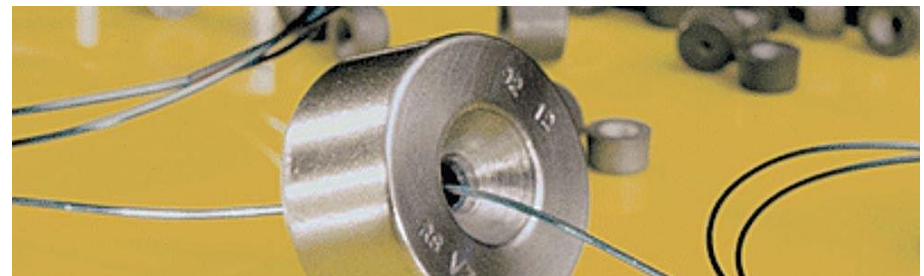
# Conformação Mecânica de Metais e Ligas



**Forjamento**

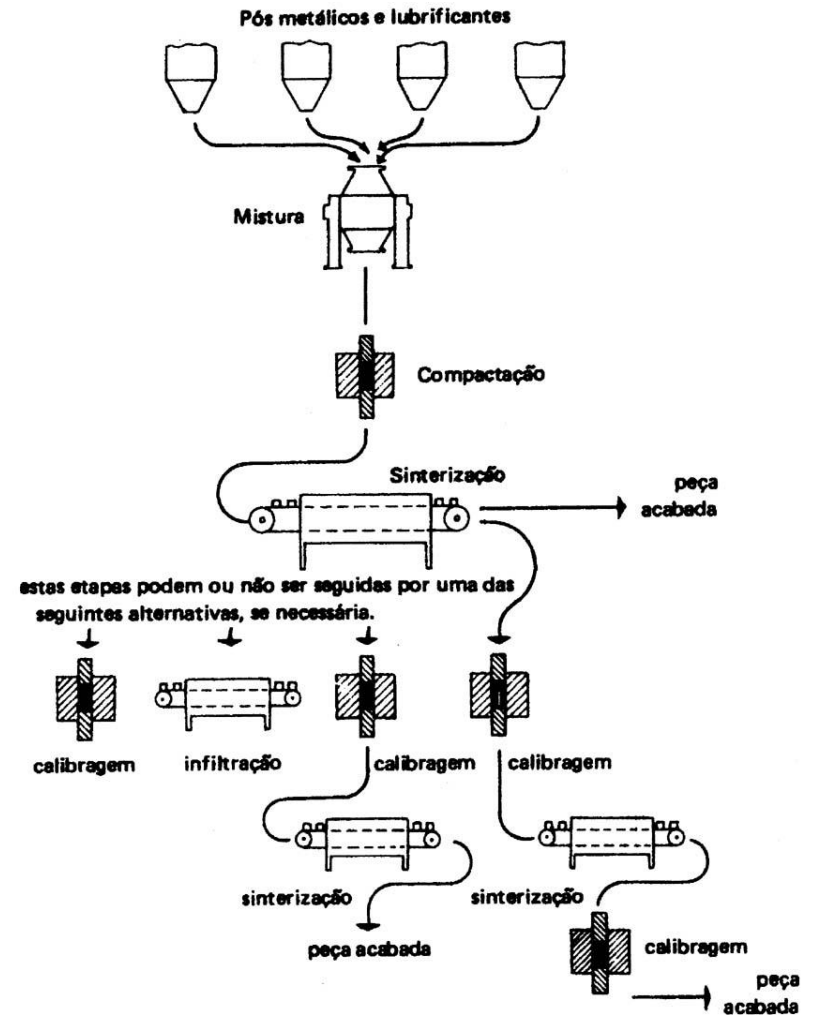
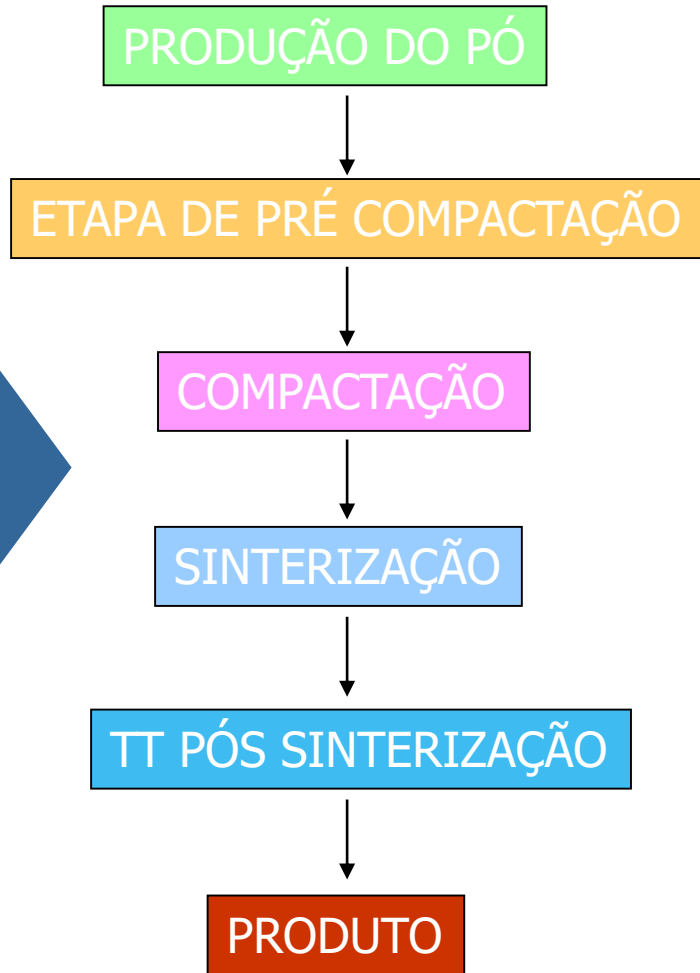


**Laminação**



**Trefilação**

# Etapas do processo de Metalurgia do Pó





# Processamento dos materiais

## Metalurgia do pó

Consolidação do pó



$T < T_f$  do material  
↑ P e calor

Vantagens

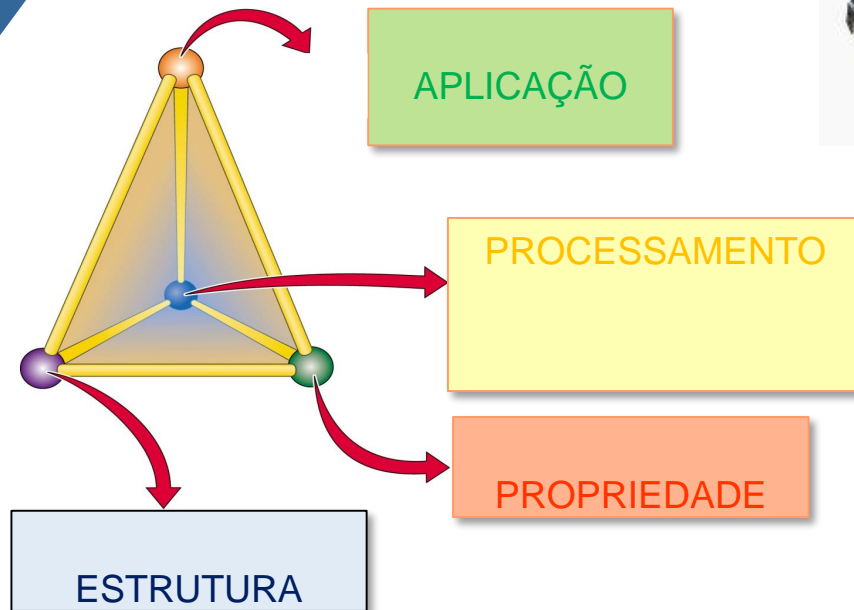
- Economia do ponto de vista energético
- Economia em torno de 10% em matéria-prima frente ao fundido;
- Eliminação ou redução de operações de usinagem;
- controle exato de composição química, principalmente se os componentes têm diferentes pontos de fusão e densidade
- Em termos de propriedade:
  - Porosidade e densidade controlada;
  - Distribuição de tamanho de grão controlada;

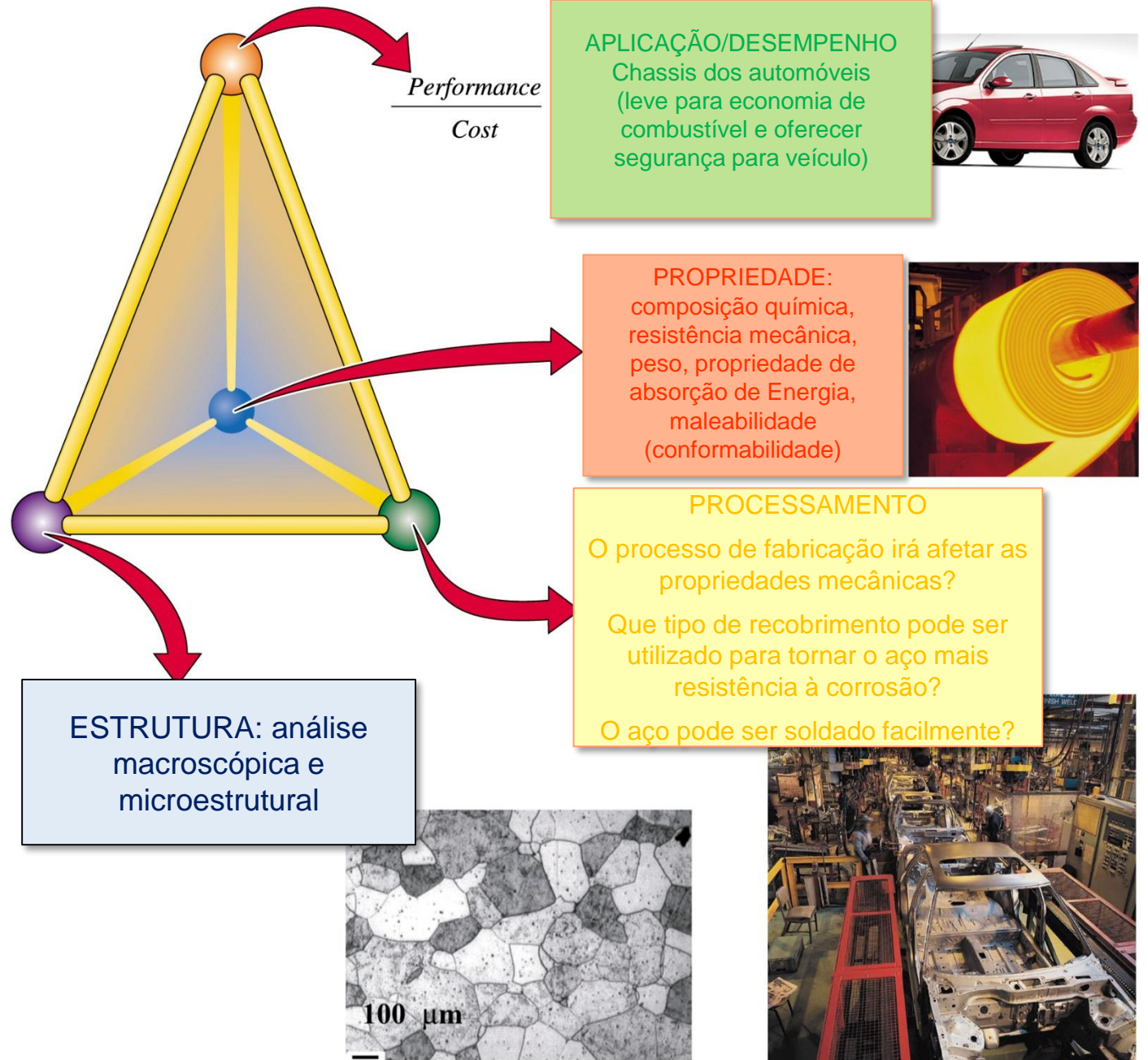
Desvantagens

- Limita a forma geométrica da peça à cavidade da matriz;
- ↑ quantidade de produto para compensar custos do equipamento de produção;
- Limita o tamanho em função das potências para a compactação.

# Vamos Praticar?

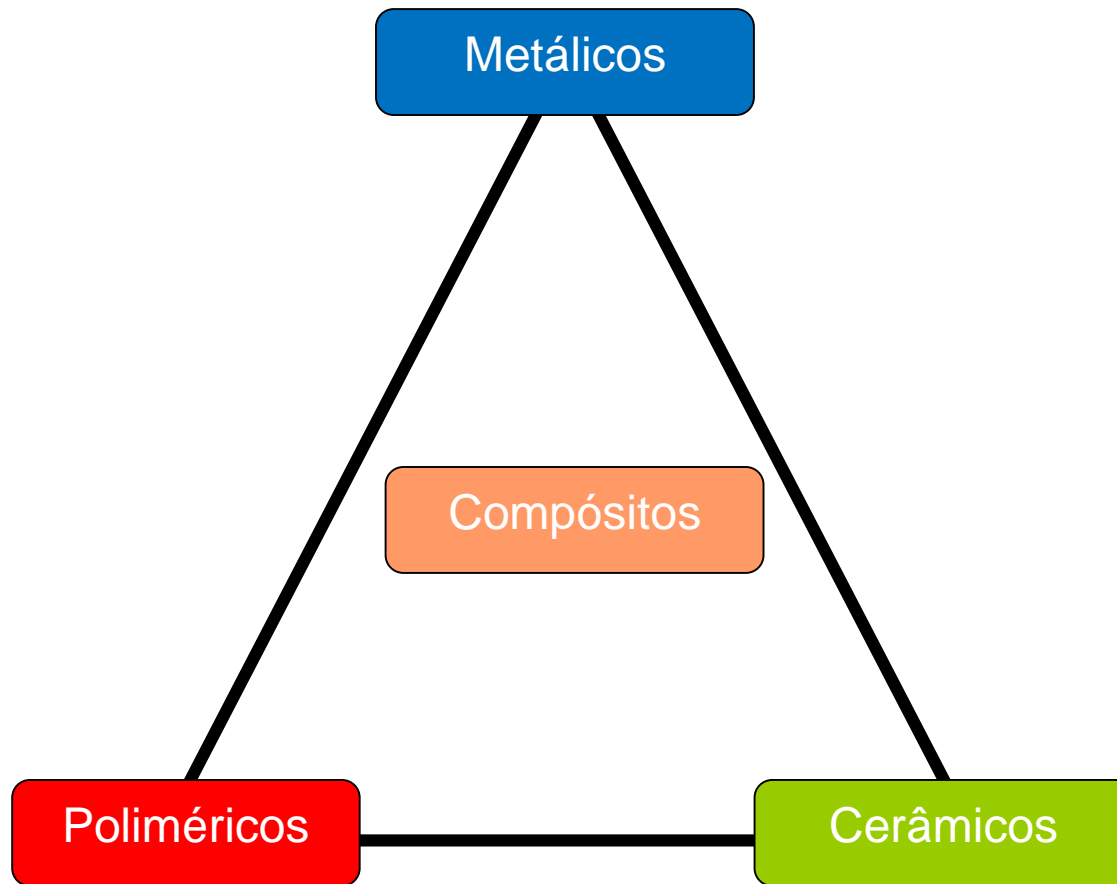
Considere o aço em chapas usado na fabricação de chassis de automóveis. Utilize o tetraedro da Ciência e Engenharia de Materiais para descrever a correlação entre microestrutura – processamento – propriedade e aplicação neste caso específico.





**Figure 1-1** Application of the tetrahedron of materials science and engineering to sheet steels for automotive chassis. Note that the microstructure-synthesis and processing-composition are all interconnected and affect the performance-to-cost ratio.

# Quais materiais estão disponíveis?







# Classes de Materiais

## Metálicos

Cobre  
Ferro fundido  
Ligas de aço



## Cerâmicos

Porcelana  
Vidros  
Tijolos  
Louças  
Refratários



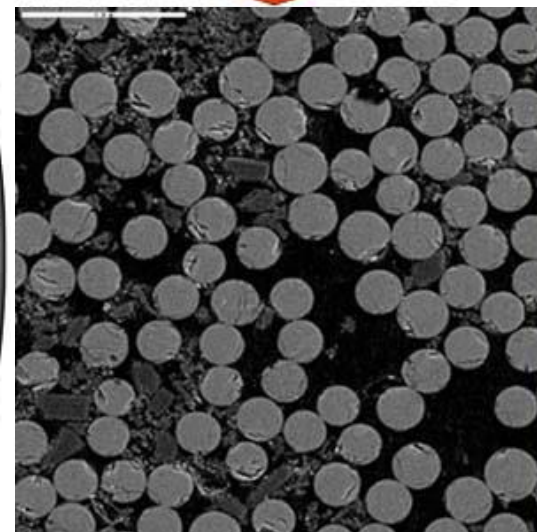
## Poliméricos

Polietileno  
Epóxi  
Fenólicos



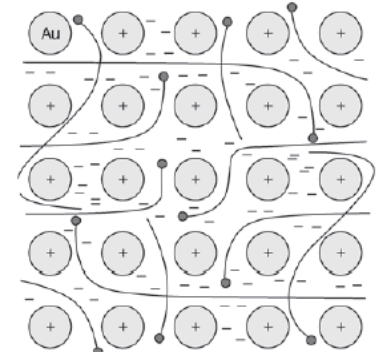
## Compósitos

Grafite-epóxi  
Carbeto de cobalto e Tungstênio



# Tipos de Materiais

## Metais



Peças metálicas comuns, incluindo várias molas e garras, são características de sua grande variedade de aplicações.



- ✓ Os elétrons não estão ligados a nenhum átomo em particular e por isso são bons condutores de calor e eletricidade;
- ✓ Opacos à luz visível;
- ✓ Têm aparência lustrosa quando polidos - brilho;
- ✓ Geralmente são resistentes (propriedade mecânica e deformáveis (alta plasticidade));
- ✓ São muito utilizados para aplicações estruturais – resistente a fratura: alta tenacidade
- ✓ Sensíveis à corrosão;

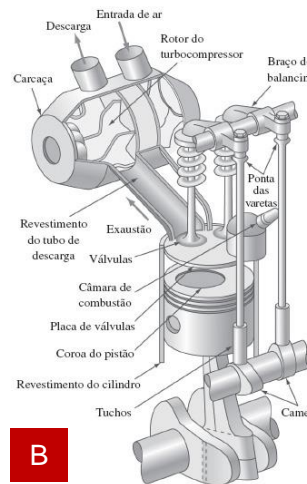
# Tipos de Materiais Cerâmicos

- ✓ óxidos, nitretos e carbetos;
- ✓ Leves e duráveis;
- ✓ Geralmente isolantes de calor e eletricidade;
- ✓ Mais resistentes a altas temperaturas e à ambientes severos que metais e polímeros;
- ✓ São materiais de alta dureza, porém frágeis.
- ✓ Resistentes à corrosão.



(a)

Corp.)



B

(Segundo *Metals and Materials* December, 1988.)



Material de cozinha fabricado de uma cerâmica vítrea, que oferece boas propriedades mecânicas e térmicas. O prato pode suportar um choque térmico, indo diretamente da chama do fogo para um bloco de gelo.

A) Exemplos de materiais desenvolvidos para aplicações avançadas em motores. Válvulas de motores, assentos de válvulas e pinos de pistão fabricados em nitreto de silício. B) Possíveis aplicações de componentes cerâmicos em um motor turbo-diesel.

Ciência dos Materiais  
James F. Shackelford  
Fundamentos da Ciência e Engenharia dos Materiais  
William F. Smith/Javad Hashemi

# Tipos de Materiais Polímeros



Painéis de automóveis



Roupas sintéticas



Tecnologia de pneus

- ✓ Compostos orgânicos baseados em carbono, hidrogênio e outros elementos não-metálicos;
- ✓ São constituídos de moléculas muito grandes (macromoléculas);
- ✓ Baixa resistência à deformação (podem ser extremamente flexíveis);
- ✓ Baixo ponto de fusão;
- ✓ Reatividade química mais alta;
- ✓ Baixa densidade, boa razão resistência/peso;
- ✓ Sensíveis a altas temperaturas;
- ✓ Em geral, maus condutores de eletricidade;
- ✓ Podem ser tóxicos quando queimados;
- ✓ Podem ser divididos em Termoplásticos e Termofixos;



# Polímeros



**Figura 1.13** O painel traseiro nesse carro esportivo foi uma aplicação pioneira de um polímero de engenharia em uma aplicação metálica estrutural tradicional. O polímero é um náilon moldado por injeção. (Cortesia da Du Pont Company, Engineering Polymers Division.)



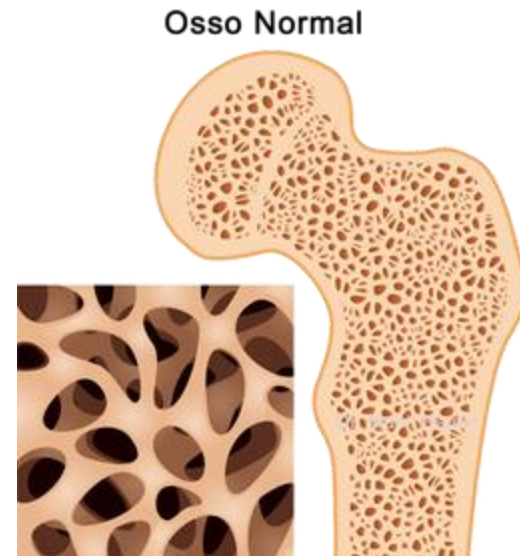
**Figura 1.11** As diversas peças internas de um medidor de tempo em estacionamento são feitas de um polímero de acetato. Os polímeros projetados normalmente são baratos e caracterizados por sua facilidade de moldagem e propriedades estruturais adequadas. (Cortesia da Du Pont Company, Engineering Polymers Division.)

# Tipos de Materiais Compósitos Naturais

**Madeira:** consiste de fibras de celulose resistentes e flexíveis, que são envolvidas e mantidas unidas por meio de um material chamado de lignina.



**Ossos:** os ossos são um compósito constituído pela proteína mole, conhecida por colágeno, juntamente com o duro e frágil mineral apatita.



# Tipos de Materiais Compósitos

Qualquer material multifásico que exibe uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que o constituem, de tal modo que é obtida uma melhor combinação de propriedades.

Exemplo: fibras de vidro incorporadas no interior de um material polimérico, a fibra de vidro adquire resistência do vidro e flexibilidade do polímero.

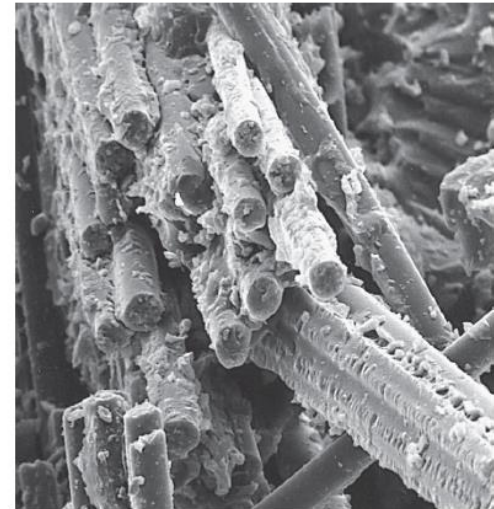


Figura 1.14 Exemplo de um compósito de fibra de vidro, composto de fibras de vidro reforçando, em escala microscópica, uma matriz de polímero. A tremenda profundidade de campo nessa imagem microscópica é característica do microscópio eletrônico de varredura (SEM) (Cortesia da Owens-Corning Fiberglas Corporation.)

# Classificação Funcional

Observe que metais, plásticos e cerâmicas aparecem em categorias diferentes.





# Biomateriais

Biomateriais são empregados em componentes para implantes de partes em seres humanos;

Esses materiais não devem produzir substâncias tóxicas e devem ser compatíveis com o tecido humano (isto é, não deve causar rejeição);

Metais, cerâmicos, compósitos e polímeros podem ser usados como biomateriais.



# SEMICONDUCTORES

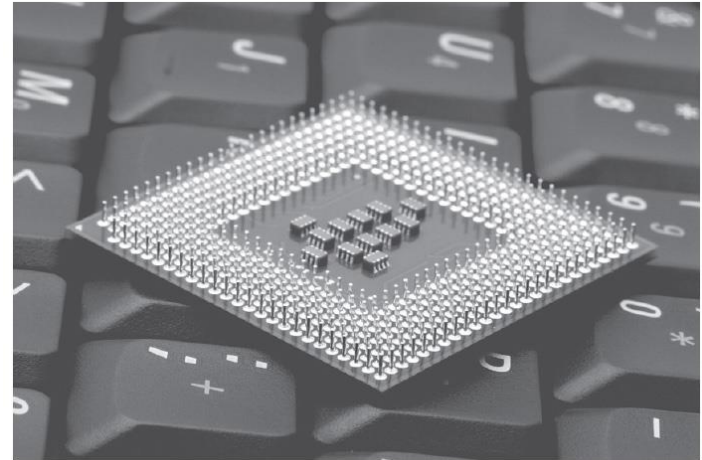
Materiais semicondutores apresentam propriedades elétricas que são intermediárias entre metais e isolantes;

As características elétricas são extremamente sensíveis à presença de pequenas quantidades de impurezas, cuja concentração pode ser controlada em pequenas regiões do material (para formar as junções p-n);

Os semicondutores tornaram possível o advento do circuito integrado que revolucionou as indústrias de eletrônica e computadores

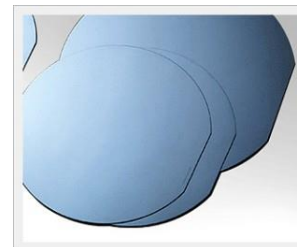
Ex: Si, Ge, GaAs, InSb, GaN, CdTe;

Exemplo aplicação: Silício monocristalino para indústria de semi-condutores



(© IMP/Alamy RF.)

Microprocessadores modernos possuem um número enorme de conexões conforme mostrado na imagem deste microprocessador Pentium II da Intel.



Wafer de silício

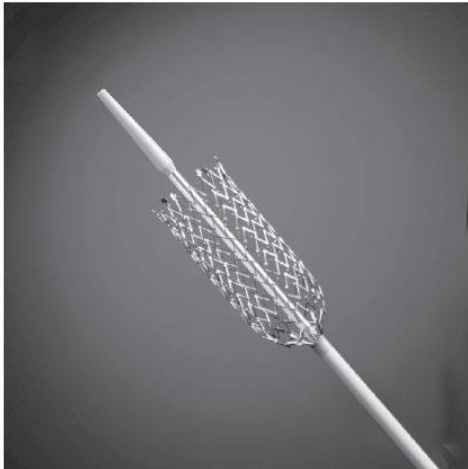
# Materiais Inteligentes

Materiais sensíveis a estímulos do ambiente externo (temperatura, tensão, luz, umidade e campos elétricos e magnéticos) e respondem a tais estímulos variando suas propriedades (mecânicas, elétricas ou de sua aparência), sua estrutura ou suas funções.

Ex: ligas de memória de forma e cerâmicas piezelétricas.

MEMs = sistemas microeletromecânicos = dispositivo miniaturizado.

Ex: airbags em automóveis, para detectar tanto a desaceleração, como o peso da pessoa sentada no carro, de modo a abrir o airbag na velocidade correta.



(a)



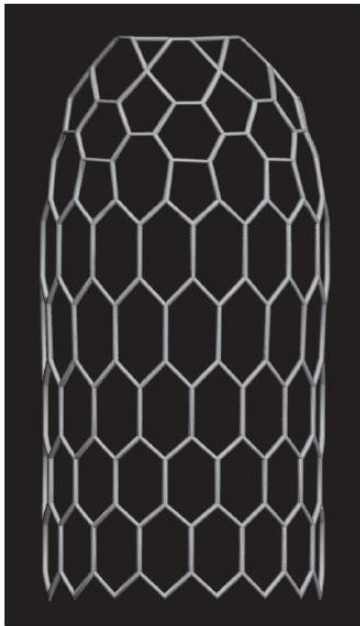
(b)

Reforço expansível (stent) de paredes arteriais enfraquecidas ou para expansão de artérias contraídas.

(Fonte: <http://www.designinsite.dk/htmsider/inspmat.htm>.)  
(Cortesia de Nitinol Devices & Components ©Sovereign/Phototake NYC.)

# Nanomateriais

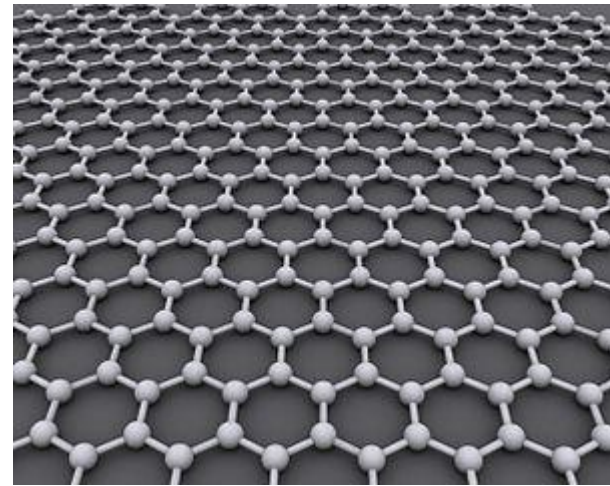
Materiais com escala de comprimento característica, ou seja, diâmetro da partícula, tamanho de grão, espessura da camada, menor do que 100 nm ( $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$ ).



Um esquema de um nanotubo, mostrando padrões hexagonais no tubo e padrões pentagonais nas extremidades. Utilizados como reforço para aumentar a resistência de polímeros e pontas de microscópio.

(Extraído de Eisenstadt, M., "Introduction to Mechanical Properties of Materials: An Ecological Approach", 1. ed., ©1971. Reimpresso com permissão de Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, NJ.)

**Grafeno** possui uma estrutura hexagonal cujos átomos individuais estão distribuídos, gerando uma fina camada de carbono. É o material mais forte (200 vezes mais resistente do que o aço), mais leve e mais fino (espessura de um átomo) que existe



Grafeno: <http://www.tecmundo.com.br/grafeno>



# Como definir qual o melhor material para um determinado fim?

## Que material utilizar???

### Propriedades requeridas para-brisas:

- 1- Deve ser transparente – permitir que se observe através dele;
- 2- Deve ser impermeável à água – para não ser atingido pela chuva;
- 3- Deve ser tenaz o suficiente para resistir à quebra devido a pequenos impactos;
- 4- Custo – não pode alterar de modo significativo o preço do carro;
- 5- Deve suportar várias temperaturas



Resposta: Vidro

Conhecer quais as propriedades são importantes para a aplicação específica, compreendendo que a lista das propriedades desejadas pode se tornar mais longa e mais complicada à medida que as necessidades dos produtos evoluem.



## BOM EXEMPLO É POUCO

Enquanto discutimos a adoção de aços especiais em alguns modelos, os europeus já extrapolaram. Nessa era em que o Euro NCAP fica cada vez mais exigente, a Volvo se tornou "neurótica" de vez com a segurança. E isso é bom, como bem prova o V40. Como lá fora a capotagem e batidas traseiras são testadas com violência, a marca sueca investe em uma gaiola (a chamada dog cage) feita em aço do tipo boró estampado a quente. Assim mesmo, zo-

nas que não têm espaço para dissipar tanta energia aturam danos inconcebíveis para um carro convencional. Capaz de ser moldado a quente (no mesmo forno) com espessuras diferentes ao longo da chapa inteira, esse material e soldas a laser incrementam a segurança que inclui airbags até

para os pedestres sob o capô (opcional no V40 vendido no Brasil). Todo cuidado é pouco para uma marca que deseja zerar o número de mortes em acidentes envolvendo seus modelos. É a chamada tolerância zero.

**AUTO**  
ESPORTE

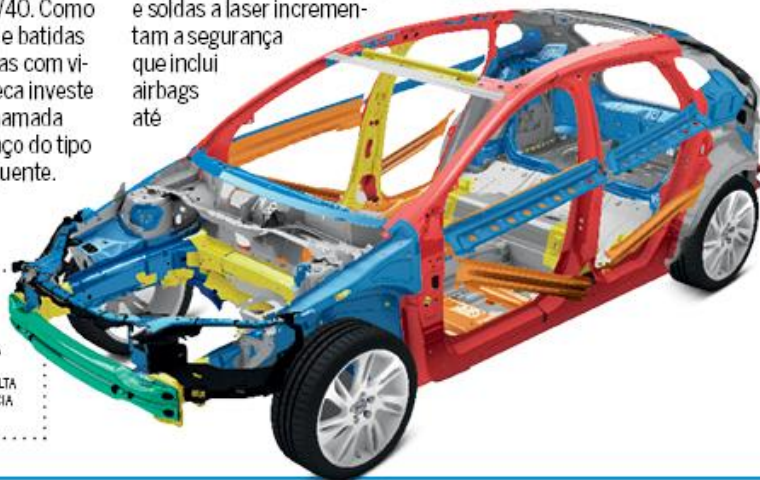


### LEGENDA

- ALTA RESISTÊNCIA 410 MPA
- ULTRA-ALTA RESISTÊNCIA 690 MPA
- MÉDIA RESISTÊNCIA 300 MPA
- ESTAMPAGEM PROFUNDA 260 MPA
- AÇO DO TIPO BORO 1.300 MPA

### LEGENDA

- ALUMÍNIO
- AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA
- AÇO DE EXTRA RESISTÊNCIA
- AÇO CONVENCIONAL
- AÇO DE RESISTÊNCIA BEM ALTA
- AÇO ULTRA-ALTA RESISTÊNCIA
- PLÁSTICO

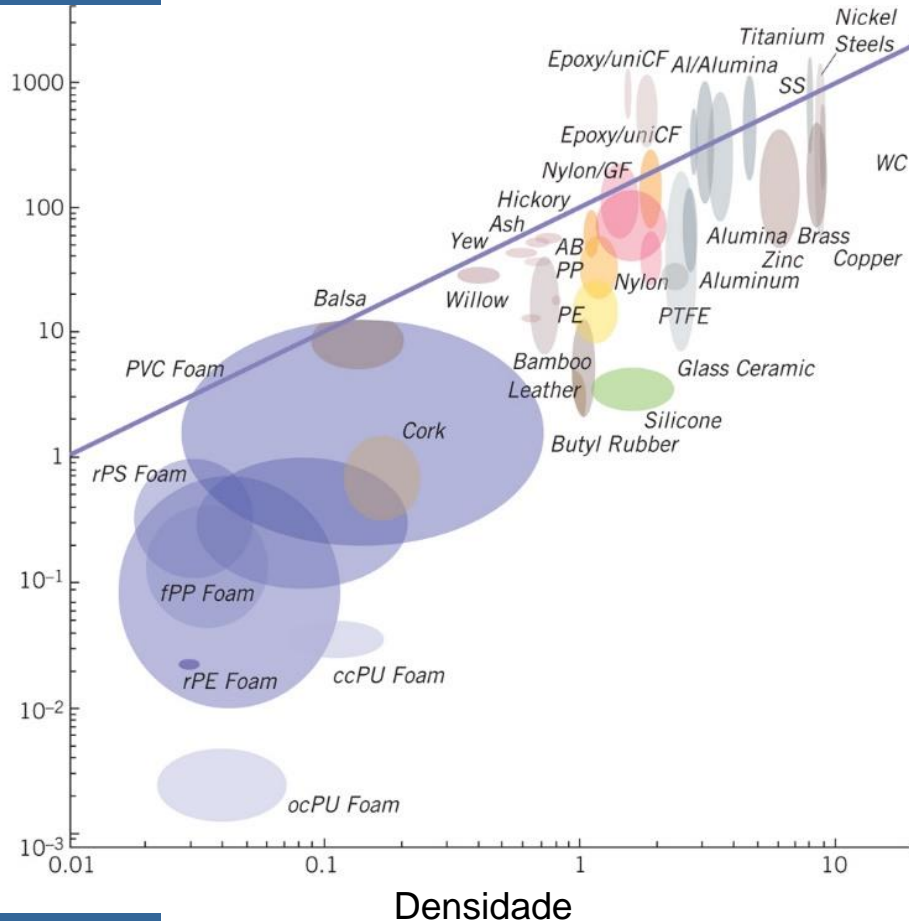




# Diagramas de Ashby

## Mapas de propriedades

Limite de escoamento



Os mapas de propriedades são mapas de seleção num espaço bidimensional que permite conhecer o comportamento das classes de materiais, com respeito a uma propriedade ou uma combinação de propriedades.

No entanto, não dão qualquer ideia do porquê uma classe específica de materiais suplanta outra em determinada área, nem fornecem qualquer indicação de como selecionar entre a larga faixa de materiais dentro de uma determinada categoria.

# Exemplo: Quadro de uma bicicleta

## Critério de resistência mecânica:

Seleção preliminar de uma material para o quadro de uma bicicleta, considerando um aço de alta resistência, uma liga de titânio, a liga de alumínio AA7074 e um polímero reforçado com fibra de carbono (PRFC)

Material	Aço- liga	Ti	Al	PRFC
Resistência mecânica (Mpa)	1000	800	500	700

Tabela 1 indica que aço seria o mais adequado,

Material	Aço- liga	Ti	Al	PRFC
IM (resistência/densidade)	133	170	185	390

Tabela 2: analisando o índice de mérito, o PRFC aparece como o mais adequado

Material	Aço- liga	Ti	Al	PRFC
US\$/Kg	0,75	15	3	20 (variável)

Tabela3: indica que o uso do PRFC só se justifica em bicicletas de altíssimo desempenho.



# Exemplo: Quadro de uma bicicleta

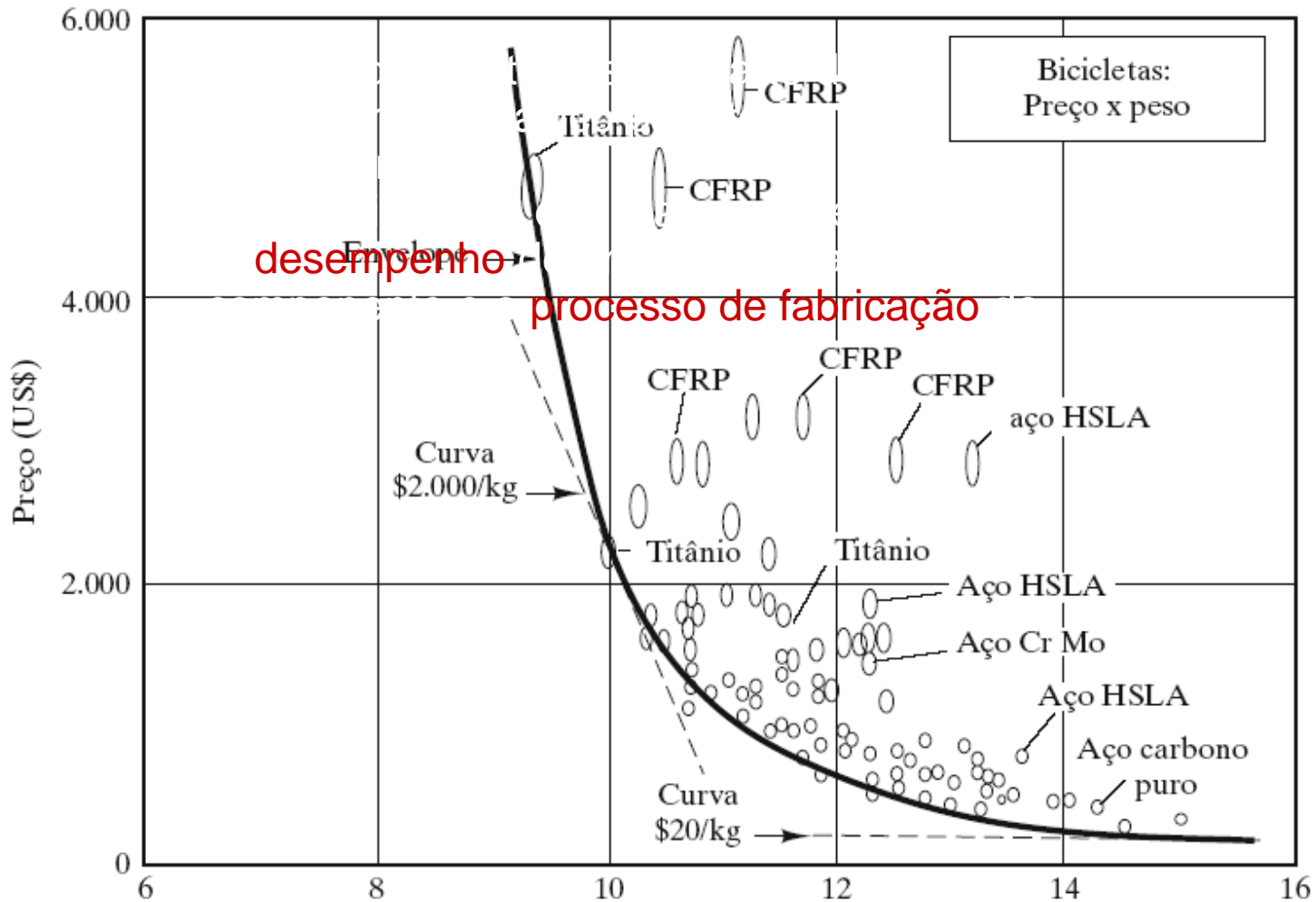
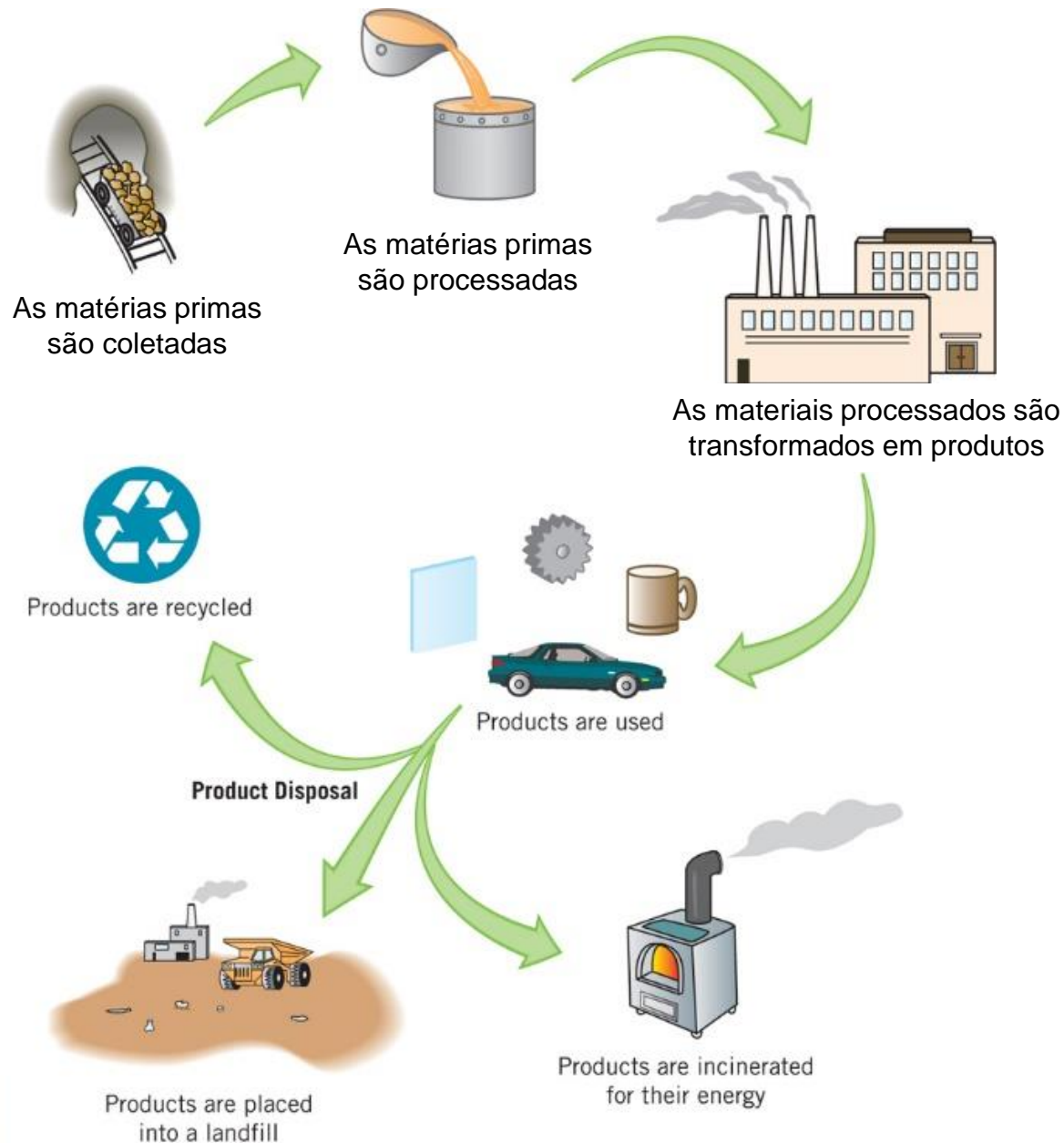
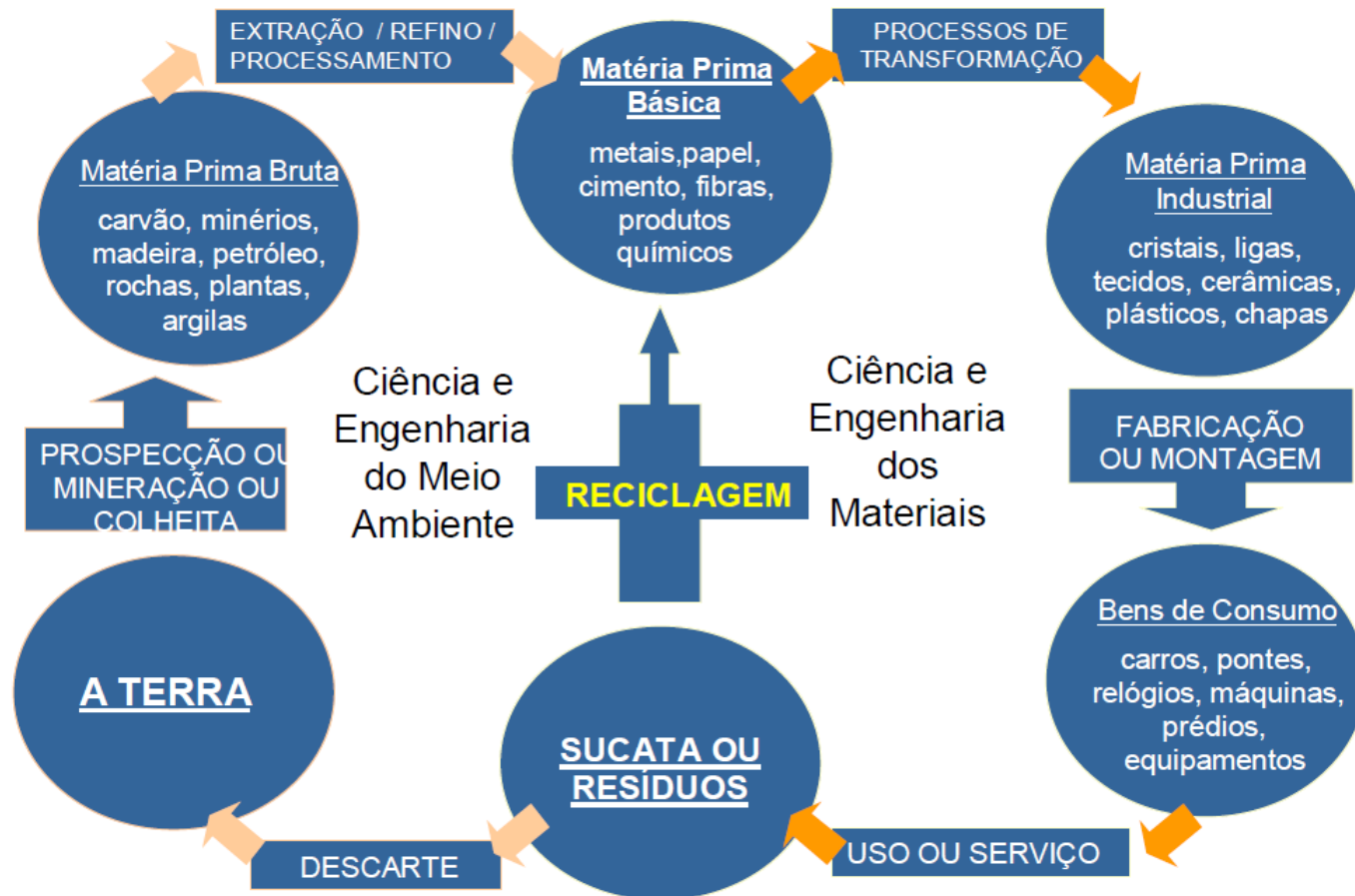


Gráfico de compromisso entre custo e peso de bicicletas

# Sustentabilidade e Engenharia Verde



# Ciclo Global dos Materiais



# Exercícios

1- Qual a importância do Estudo dos materiais?

2-Faça algumas considerações sobre as propriedades necessárias para os novos materiais.

3- Quais os tipos de materiais de engenharia disponíveis?

## **PESQUISA:**

5- Novas Tendências:

- qual o futuro para os materiais para aplicações na indústria automotiva?