Global Composites Consultoria Ltda.

# COMPOSITES: PANORAMA DO PRESENTE E DO FUTURO

Artsim Projetos Graficos Ltda. Brasil

Prof. Moreira MSc. Maio 2022

# Cadeia de Valor
# Bens Duráveis

CIÊNCIA DOS MATERIAIS

Conhecimento básico sobre materiais

ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS

Conhecimento resultante da estrutura, propriedades, processamento e desempenho de materiais para engenharia

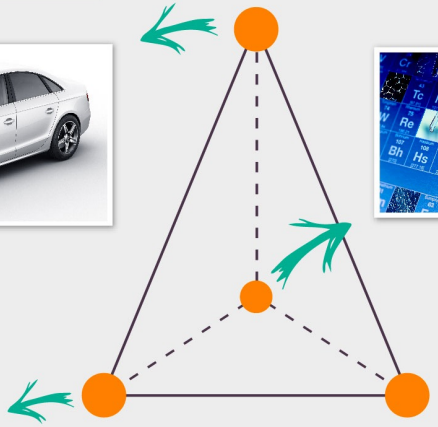
ENGENHARIA DOS MATERIAIS

Conhecimento aplicado sobre materiais

Propriedades Desempenho

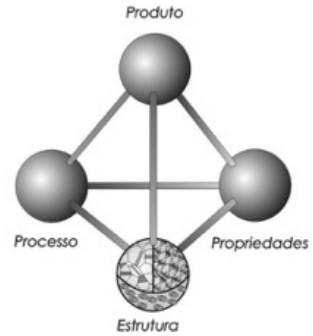
Custo

Composição



Estrutura
(nas diversas escalas)

Processamento



Não existe o melhor material.
Existe o **material mais adequado** a um projeto!

# Definições Importantes

## Compósitos

Materiais estruturais com duas ou mais fases macroscópicas ou microscópicas (nanocompósitos) e que têm propriedades mecânicas melhores que as de cada fase considerada isoladamente.

## Compósitos Poliméricos

material estrutural resultante da combinação de polímeros com fibras de reforço. As fibras mais usadas são as de vidro, aramida e carbono. Os polímeros podem ser termoplásticos, elastômeros ou termofixos.

## Definições Importantes

# Compósitos Poliméricos Avançados

material estrutural de engenharia avançada, resultante da combinação de polímeros de elevado *(tg)** e alta tenacidade com mutiplas fibras de reforço de elevado desempenho. As fibras mais usadas são as de vidro de alto módulo, aramidas, basalto, carbono etc. Os polímeros podem ser termoplásticos, elastômeros ou termofixos.

*(tg)* Transient glass – transição vítrea*

# Materiais Compósitos

**Matriz**
-Metálicas
-Cerâmicas
-Poliméricas

**Funções:**
-Forma Física
-Proteção do Reforço
-Distribuição de Cargas entre reforços
-Rigidez Dielétrica

**Reforço**
-Particulado
-Fibroso
-Contínuo (linear ou tecidos)

**Funções:**
-Resistência Mecânica
-Estabilidade Dimensional

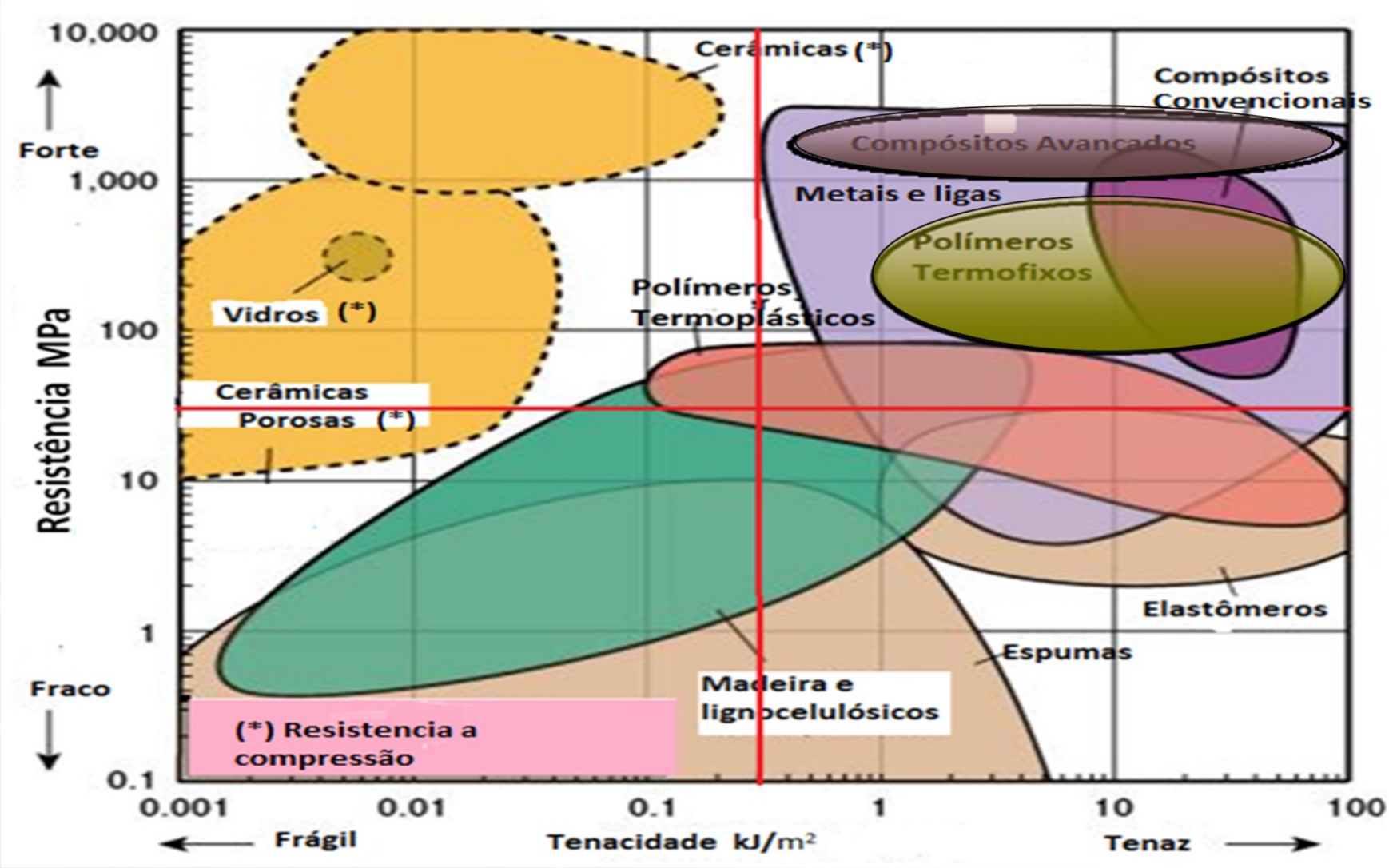
**Núcleo**
-Naturais
-Sintéticos

**Funções:**
-Rigidez
-Redução peso
-Distribuição de Cargas
-Isolante termo-acústico etc.

**Outros**
-Adesivos Estruturais
-Aditivos de Desempenho
-Acabamento Superficial
-Nanomateriais

**Funções:**
-Melhoria de Propriedades Funcionais/Vida Útil

# Porque Compósitos?

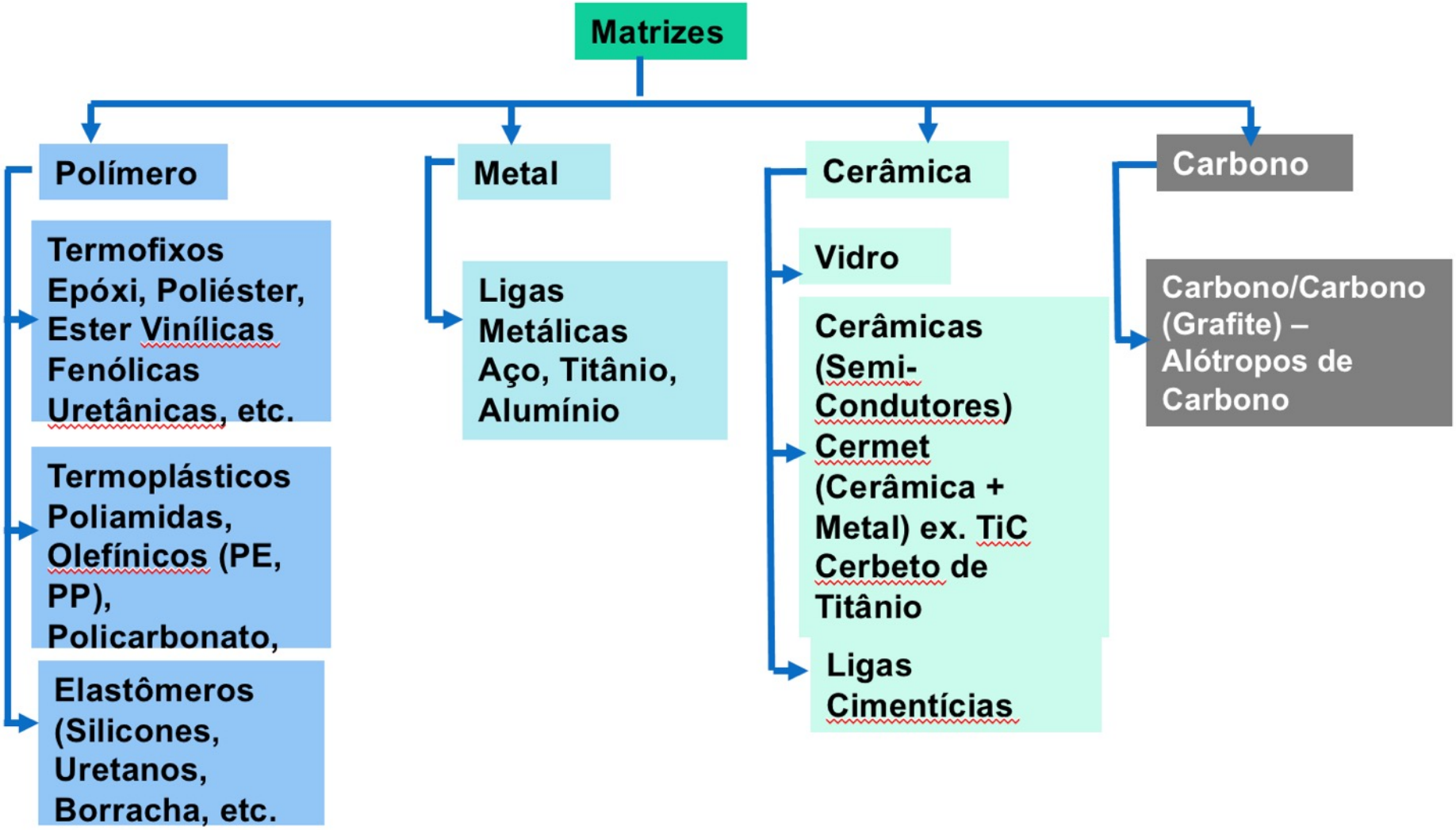


# Porque Compósitos?

- Permitem obter distintos aspectos em requerimentos de projeto sob demandas específicas e formas
- Permitem soluções de engenharia em redução de peso e inigualável relação peso/resistência
- Vantagens:

- Resistência a tração de 4 a 6 vezes superior ao aço e aluminio estruturais;
- Resistência e fadiga e ao impacto
- Elevada resistência química e a combustão
- 100% Reaproveitáveis

# Ciência dos Materiais Compósitos - Matrizes



# Matrizes Poliméricas

| Termofixos | Termoplásticos |
|---|---|
| Poliéster Insaturado (UPR)<br>Ester Vinílicas (VER)<br>Fenólicas Modificadas (PF)<br>Epóxi (EP) Base Bisfenol A e "F" | Poliamidas (PA)<br>Acrílicas & Blendas com PU<br>Policarbonato (PC)<br>Poliacetal (POM) |
| Ester Cianato (CN) | Poli-Eter Eter Cetona (PEEK) |
| Benzoxazina (BX) | Poli-imidas (TPI) |
| Ureia-Formaldeido (UF) | Óxido de Polifenileno (PPO) |
| Melamina (ME) | Sulfeto de Polifenileno (PPS) |
| Bismaleimida (BI) | **Elastômeros** |
| Benzoxazina (BX)<br>Poli-Imidas (TPI)<br>Ftalonitrila (FN) tg ~ 538$^0$C | Borracha Sintética/Natural (SR)<br>Silicones Bi-Componentes(SI)<br>Uretanos (PUR) |

# Resina Poliéster

ALMACO
ASSOCIAÇÃO LATINO-AMERICANA DE MATERIAIS COMPÓSITOS

# Gel Coat – Tinta base Resinas – Finalidade Acabamento/Protecão do Laminado

Aplicação – 4 demãos cruzadas 0,2mm cada total 0,8 mm umido

Aspecto após 24 horas antes do inicio da Infusão

# Ciência dos Materiais Compósitos - Reforços

**Reforços**

- **Fibras**
  - Orgânicas/Inorgânicas
  - Curtas (Roving Picado)
  - Longas Picadas (Mantas)
  - Longas Contínuas: Roving Contínuo, (Mantas Unifilo), Véu de Superfície (Vidro / TNT
  - Longas Picadas Pré Impregnadas (Pre-Pregs)
  - Tecidos / Tecidos Combinados com Mantas
  - Longas Contínuas Pré-Impregnadas (Impressão 3D)
- **Whisker**
  Metalicos,
  Cristais,
  Cerâmicos
  etc.
- **Particulados**
  Esféricos
  Escamas
  Cristais
  Rômbicos
- **Micro (Nano)**
  - Laminares
  - Filamentosos
  - Nanotubos
  - Nanoesféricos

## Aplicações de Compósitos

- Peças, componentes ou estruturas com exigência máxima de desempenho, relação resistência/peso e longevidade:
- Cargas estáticas e/ou dinâmicas elevadas em massa e frequencia (ciclo)
- Ambientes extremos de variação de temperatura, umidade ou produtos químicos agressivos
- Recuperação estrutural (patologias de concreto e aço)
- Prototipagem e pequenas séries
- Inovação em design em manufatura aditiva jamais obtidas em processos convencionais

## Vantagens dos Compósitos

- Imunes à corrosão de grande parte dos produtos químicos;
- Elevada resistência mecânica;
- Isolamento elétrico, térmico e acústico;
- Leveza: peso especifico de 1800 kg/m$^3$, contra 7900 kg/m$^3$ do aço ou 2800 kg/m$^3$ do alumínio;
- Baixa absorção de água;
- Tem baixíssima dilatação térmica;
- Quando especificado, possuem resistência a situações extremas contra o fogo por seleção das matrizes poliméricas e aditivos.

# Vantagens dos Compósitos

## Materiais Compósitos – Cadeia de Valor e Tecnologia

✓ **Pontos Fortes:**

- São materiais tecnologicamente estratégicos devido a características intrínsecas
- Possuem um amplo espectro de aplicações com mais de 70 mil casos registrados
- Envolvem interação multidisciplinar nos diferentes segmentos da Engenharia de Materiais (Mecânica, Química, Bio Medicina etc.)

✓ **Conjunção de Fatores Favoráveis:**

- Propriedades individuais de seus constituintes multifásicos
- Sua distribuição física ao longo do componente moldado
- Sua dispersão e do tipo de interação (impregnação / sinergismo)
- Sua forma e tamanho

✓ **Confiabilidade (Engenharia de Valor):**

- Do processo de fabricação adotado (pressões, taxas de aquecimento e resfriamento, grau de cura)
- Inércia Química (Isolantes elétricos não sofrem corrosão galvânica)
- Mecanismos de degradação são conhecidos e contornados via formulações dedicadas sob demanda.
- Transparente a ondas eletromagnéticas e rádio frequencia

# Vantagens dos Compósitos

## Materiais Compósitos - Cadeia de Valor e Tecnologia

- Heterogeneidade (multifásico / não uniformidade da estrutura físico/química

---

-Anisotropia (dependência direcional das propriedades físicas) Obs Compósitos possuem até 85% em massa de reforços podendo ser alinhados e serem considerados quasi-isotrópicos o que confere elevadas propriedades mecânicas (teoria das lâminas Tsai-Wu & Puck)

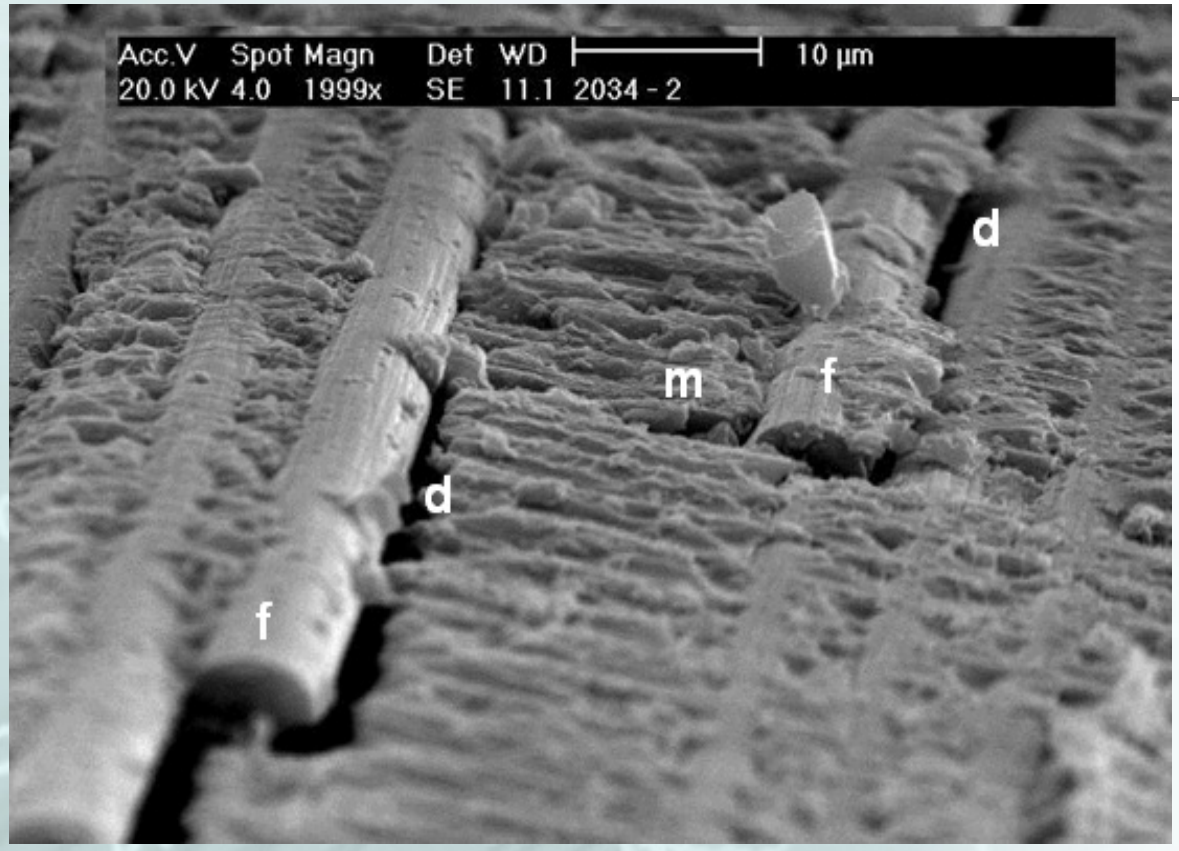
- Simetria/homogeneidade fase a fase ordenação de unidades estruturais individuais sob desenho (plano de laminação)

- Compromisso das multifaces natureza de propriedades de cada material
- fibras > matriz de rigidez, cargas mecânicas, estabilidade dimensional, ignífugas etc.
- matriz> distribuição de cargas mecânicas, forma geométrica, resistência química, pigmentação integrada etc)

-Propriedade interfacial e de interfase (região de formação de blendas poliméricas diferenciadas e únicas em função do tipo de sizing (ensimagem- tratamento superficial e da matriz polimérica selecionada)

Esta região é o ponto estratégico em maximização de propriedades!

# Comportamento à Ruptura

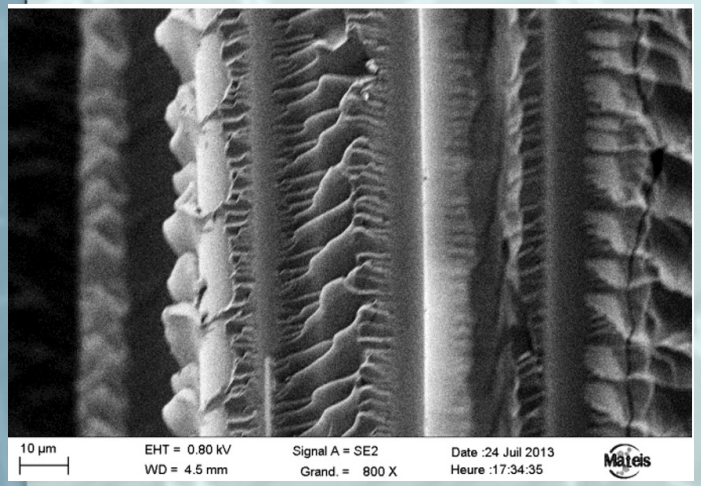


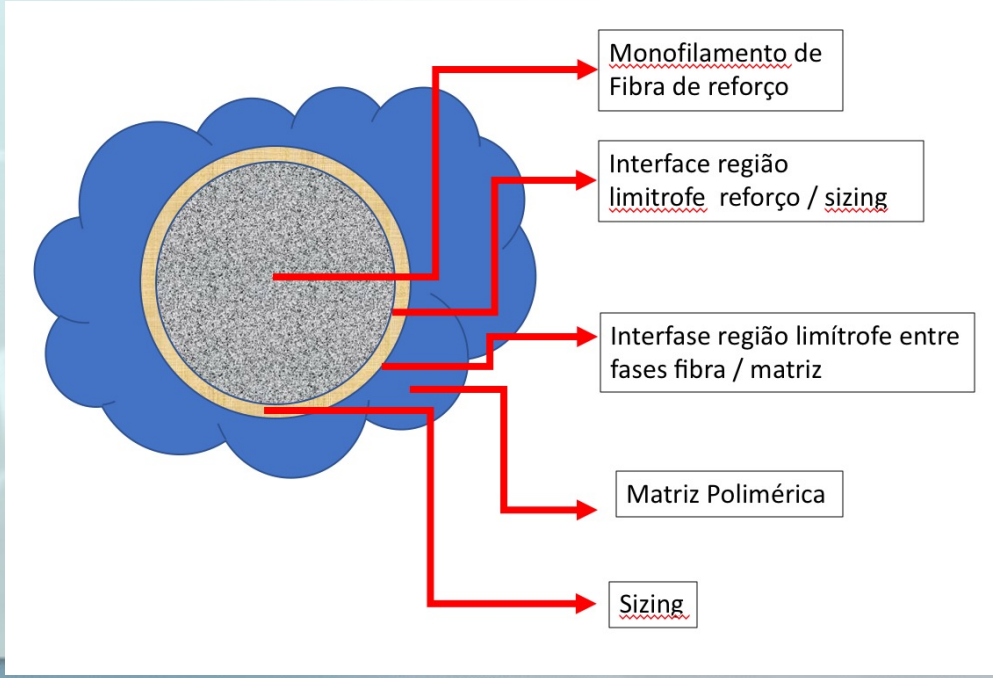

**f – Fibra**
**d – Delaminação**
**m - Matriz**

Microfotografia por MeV Fonte IPEN Prof. Dr. Gerson Marinucci 2012 Artigo apresentado na Alemanha pelo Autor Prof. Moreira Msc. Congresso Estruturas Leves para Trens

# Materiais Compósitos Interfase e Interface

**Fase:** Porção uniforme de matéria
**Face:** Região de contato entre materiais dissimilares
**Interface** é o limite bidimensional entre duas superfícies.
**Interfase** é a REGIÃO tridimensional entre duas fases. Os compósitos são 100% materiais polifásicos
**Adesão** entre o reforço e a matriz estão subordinados a cinco mecanismos que agem na interfase: adsorção, interdifusão, atração eletrostática, ligações químicas e adesão mecânica por intertravamentos microscópicos (energia de ativação superficial.
**Sizing (Ensimagem)**- Siloxanos (Silanos Multifuncionais + Polímeros de Adesão e Aditivos de Desempenho (Lubrificantes, Antiestáticos etc)

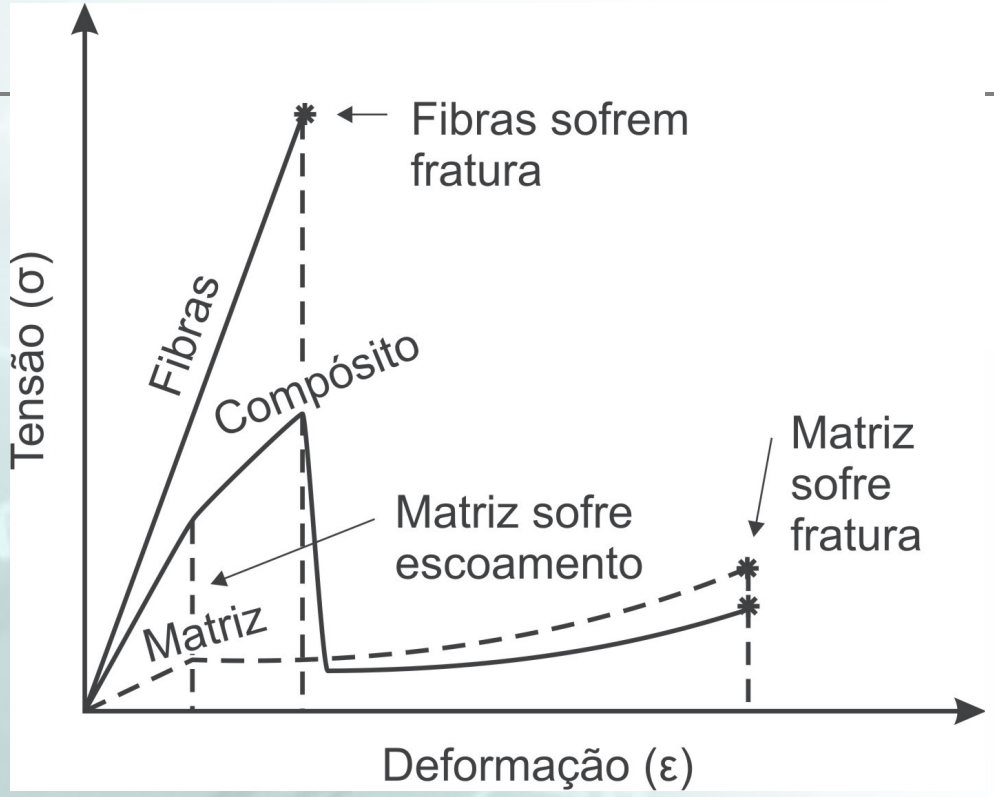


## Materiais Compósitos Aspectos a Melhorar

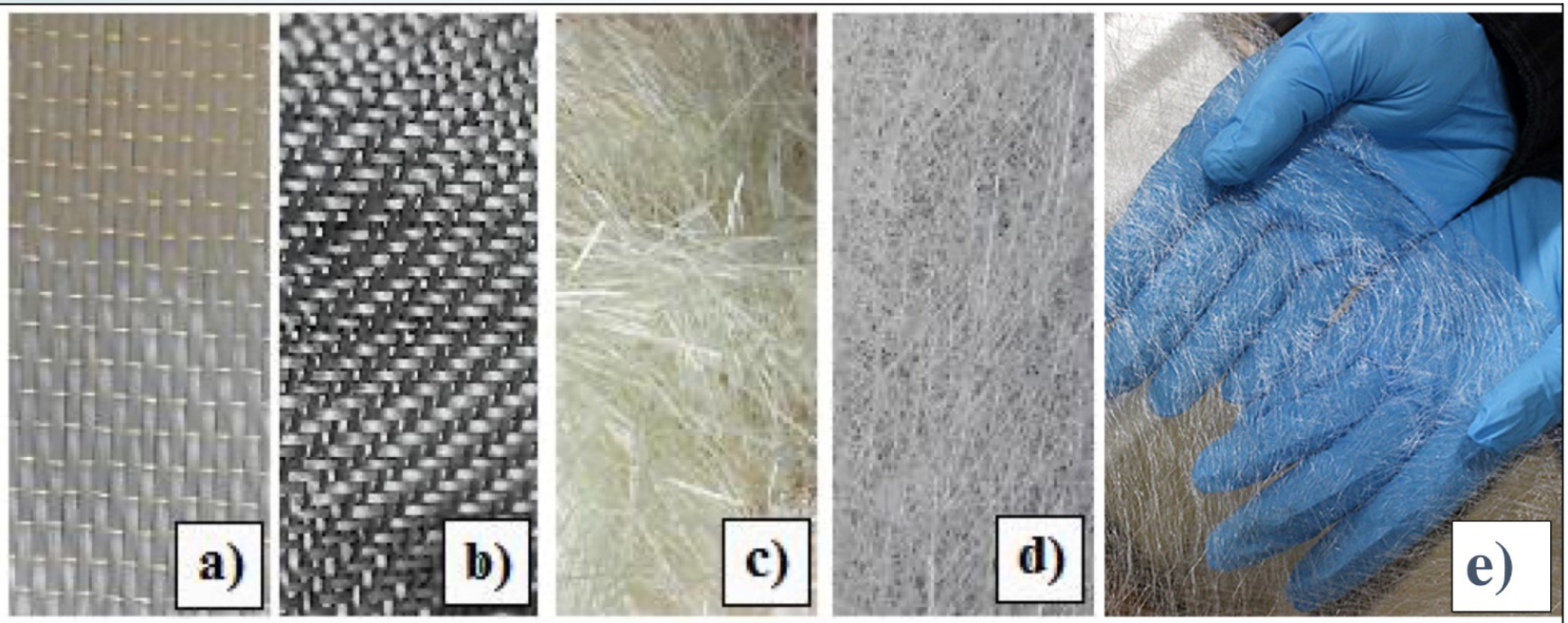
- Repetibilidade de Características Físico-Químicas (Projeto, Processo, Controle)
- Melhoria de propriedades de adesão interlaminar (sizing/ compatibilidade)
- Desenvolvimento e disponibilidade de polímeros com maior TG e Resistência Química (Blendas?)
- Previsibilidade em Modelação Computacional (Banco de dados)
- Redução de vazios e descontinuidades (Propriedades)
- Aumento da base do conhecimento (Credibilidade)
- Incentivo de inclusão em conteudos de disciplinas em Universidades e Ensino Técnico

# Materiais Compósitos -Comportamento Mecânico



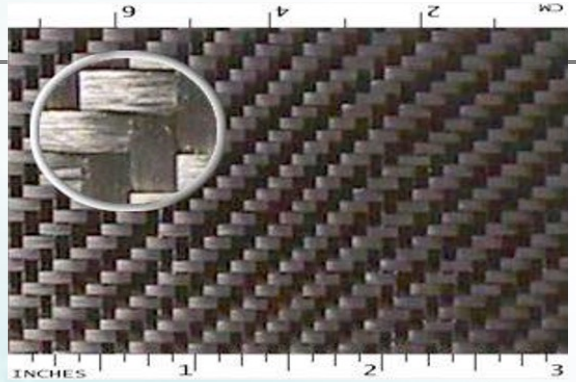

Fonte: PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0721366/CA

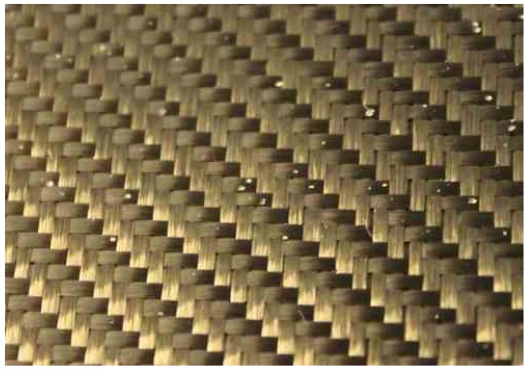
# Ciência dos Materiais Compósitos – Reforços Fibras d ro

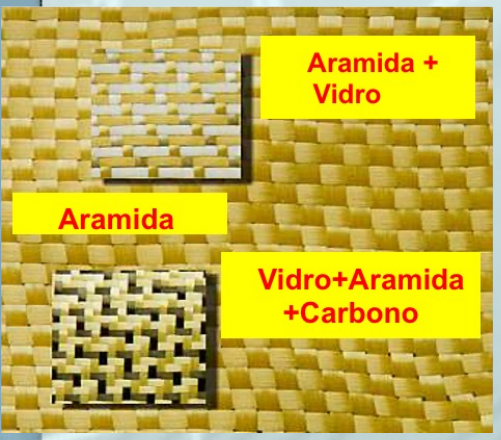


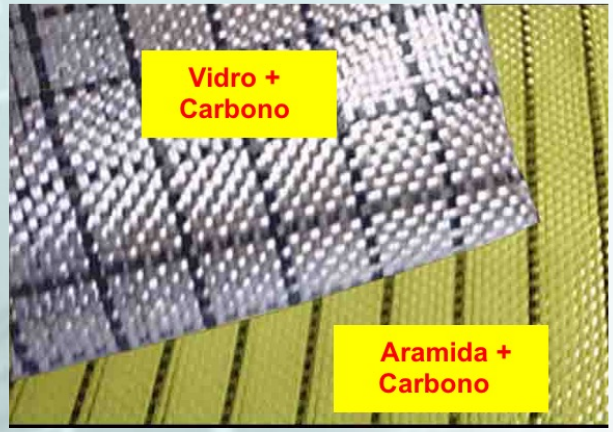

a) Tecido Unidirecional
b) Tecido Bidirecional
c) Roving Picado
d) Mantas de Fio Picado
e) Véus de Superfície (Vidro ou PP

# Ciência dos Materiais Compósitos – Ref





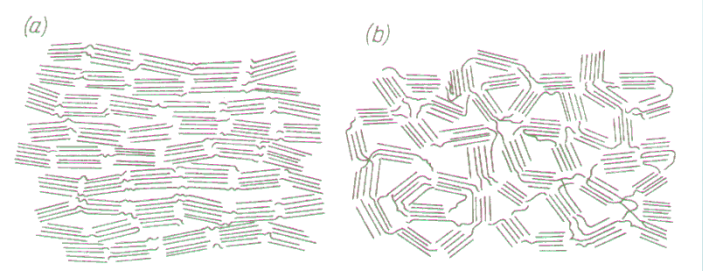
**UHMWPE**
Ultra High Molecular Weight PolyEthylene

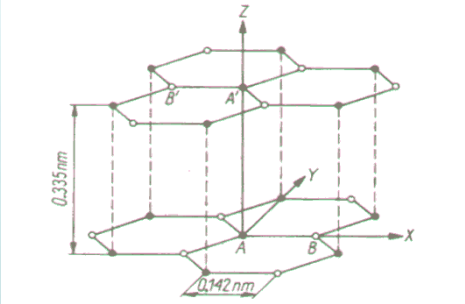
# Aplicações – Balística – Fogo - Impacto

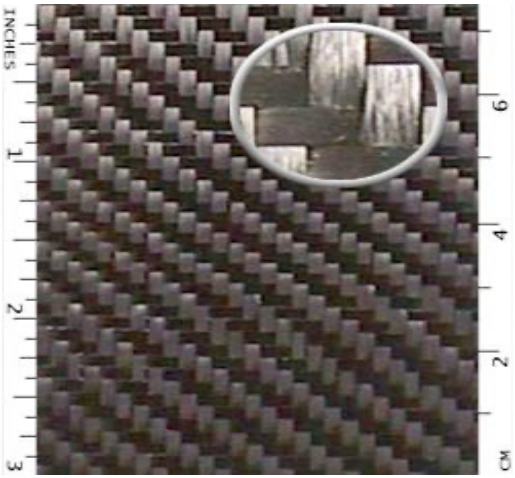
## Aramida

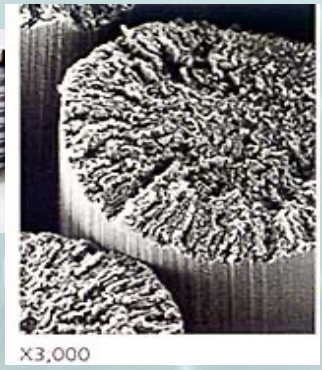
# Fibras de carbono

- Obtidas a partir do estiramento em várias etapas sob vácuo e elevadas temperaturas por exemplo do Poliacrilonitrila (PAN)



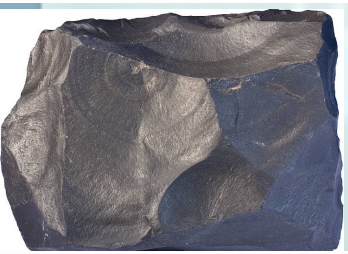



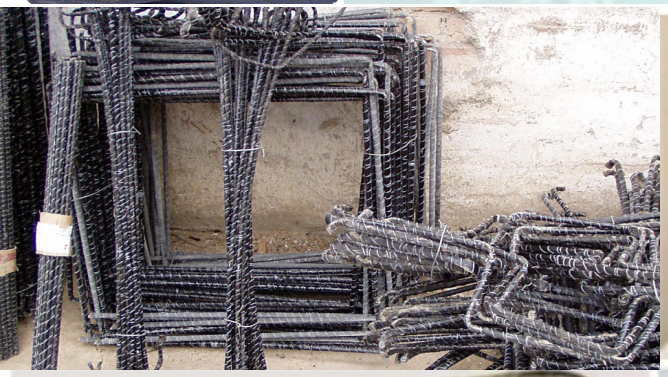


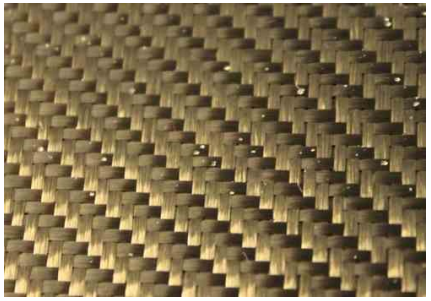
# Fibras de Basalto & Aplicações

| $SiO_2$ | $TiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | FeO | MnO | MgO | CaO | $Na_2O$ | $K_2O$ | $P_2O_5$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 49,97 | 1,87 | 15,99 | 3,85 | 7,24 | 0,20 | 6,84 | 9,62 | 2,96 | 1,12 | 0,35 |



Basalto: Rocha ígnea (magma)





Precos em US$ entre Fibras de Vidro S e Carbono

# COMPÓSITOS POLIMÉRICOS TERMOFIXOS

## PRINCIPAIS PROCESSOS

**MOLDAGEM ABERTA**

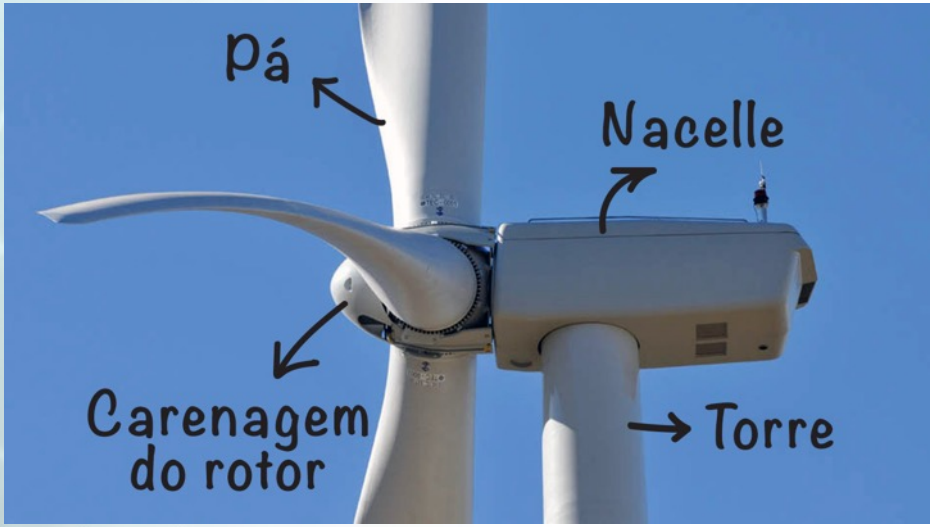
- LAMINAÇÃO MANUAL (Hand Lay-Up)
- LAMINAÇÃO A PISTOLA (Spray-Up)
- ENROLAMENTO FILAMENTAR (Filament Winding)
- FUNDIÇÃO (CASTING)
- CENTRIFUGAÇÃO
- MANUFATURA ADITIVA (AFP, ATL, 3D PRINTING)

**MOLDAGEM FECHADA**

- LAMINAÇÃO CONTÍNUA, PULTRUSÃO, PULLFORMING
- MOLDAGEM A VÁCUO & INFUSÃO
- COMPRESSÃO A FRIO (CPM)
- COMPRESSÃO A QUENTE (SMC/DMC/BMC)
- INJEÇÃO ALTA PRESSÃO (BMC)
- INJEÇÃO DIRETA OU ASSISTIDA A VÁCUO (RTM)

# Aplicações - Mobiliário

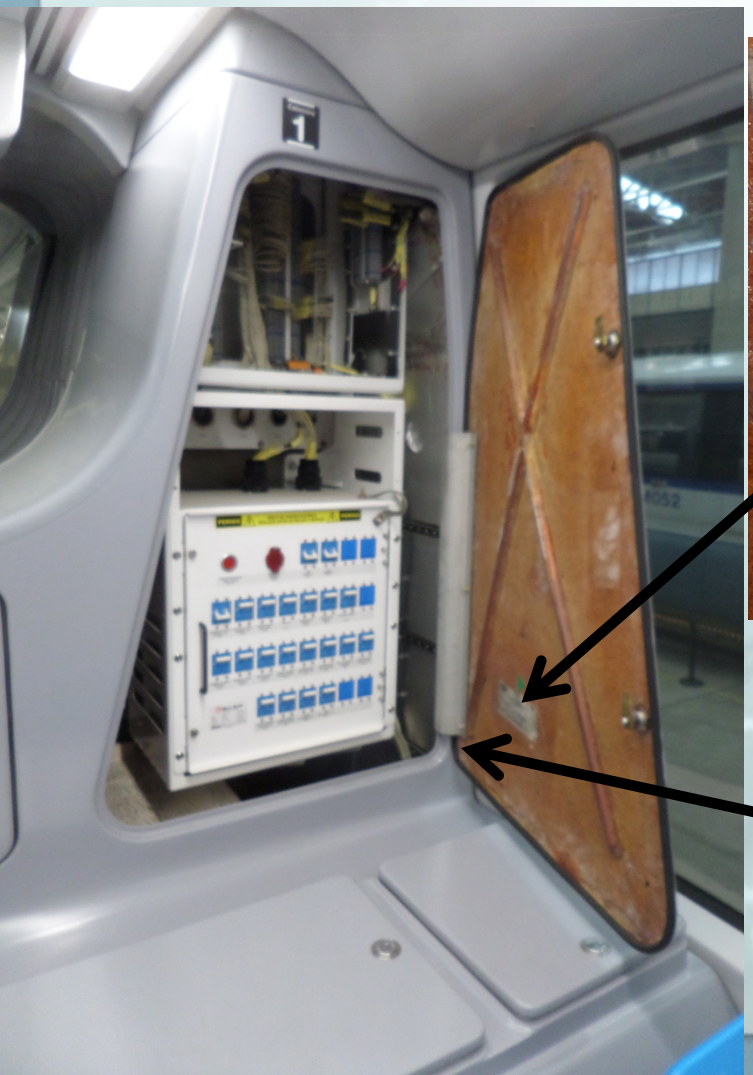
# Aplicações – Energia Eólica

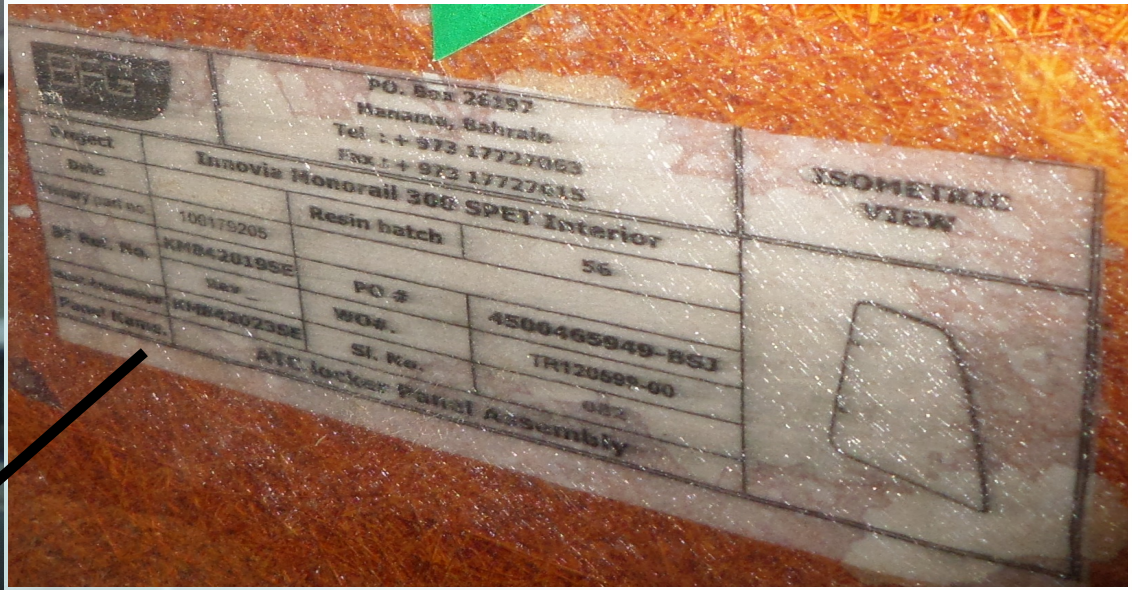


# Aplicações

# Aplicacões – Mobilidade Monorail Metrô São Paulo

# Vista Geral Interna (ATC Locker)






Laminado Fenólico – Auto Extinguível com Baixa Emissão de Fumaça

# Vista Geral Interior

# Linha em Operação

# Aplicações – Implementos Agrícolas

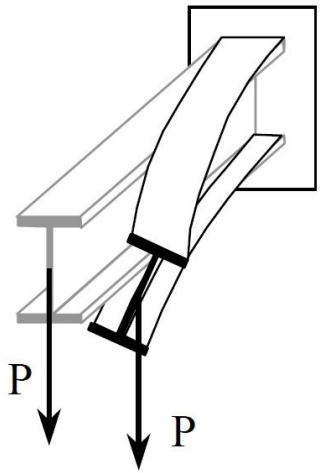
# A realidade... Braços retráteis em hibridos metal/compósitos até 45m cada lado

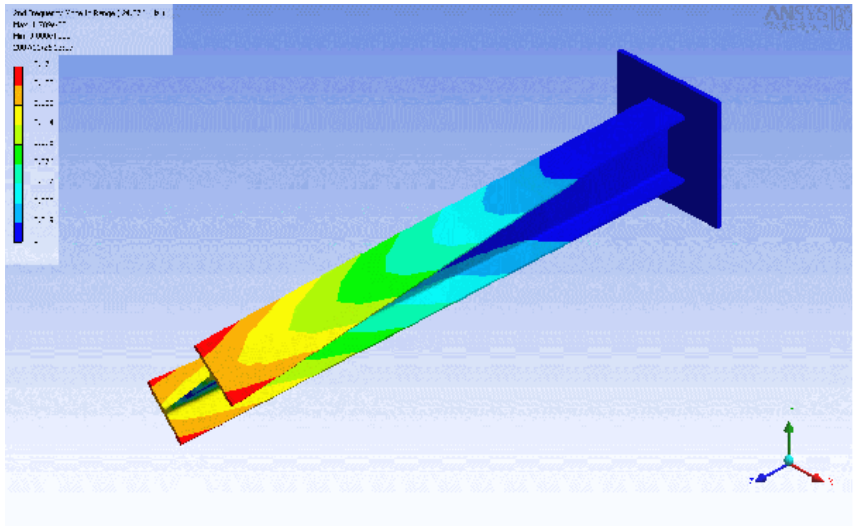
Aplicações - Mobiliário

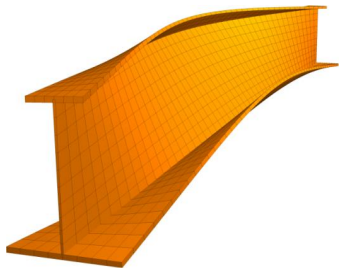
# Aplicações - Mobiliário

# Simulacão via Ferramentas Computacionais

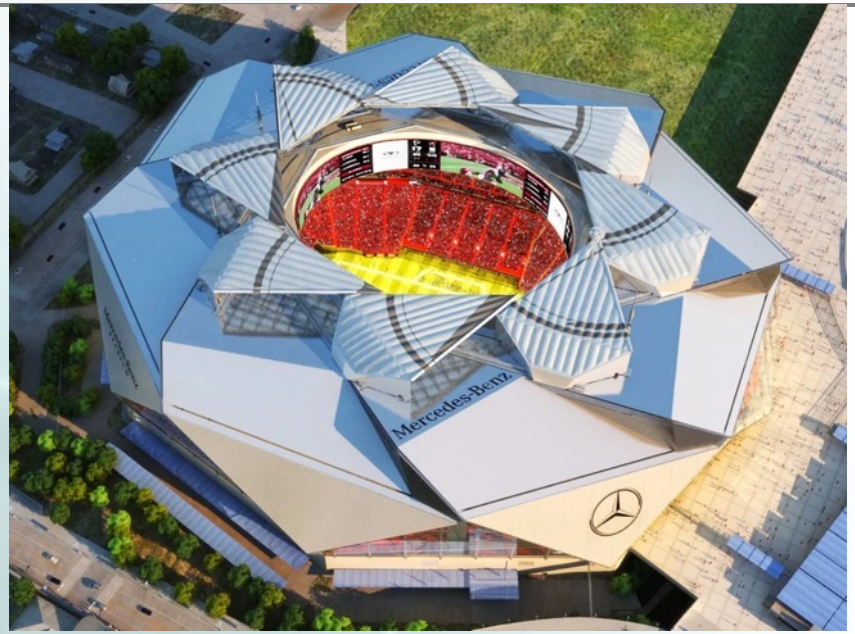
Flambagem lateral com Torção





# Estádios – Mercedes Bens Atlanta USA




The Atlanta Falcons' Mercedes Benz Stadium will open for the 2017 season. HOK's steel frame structure, clad with ETFE (an especially strong, inflatable plastic ***composite***) was inspired both by the Falcons' angular logo and the oculus in the Roman Pantheon

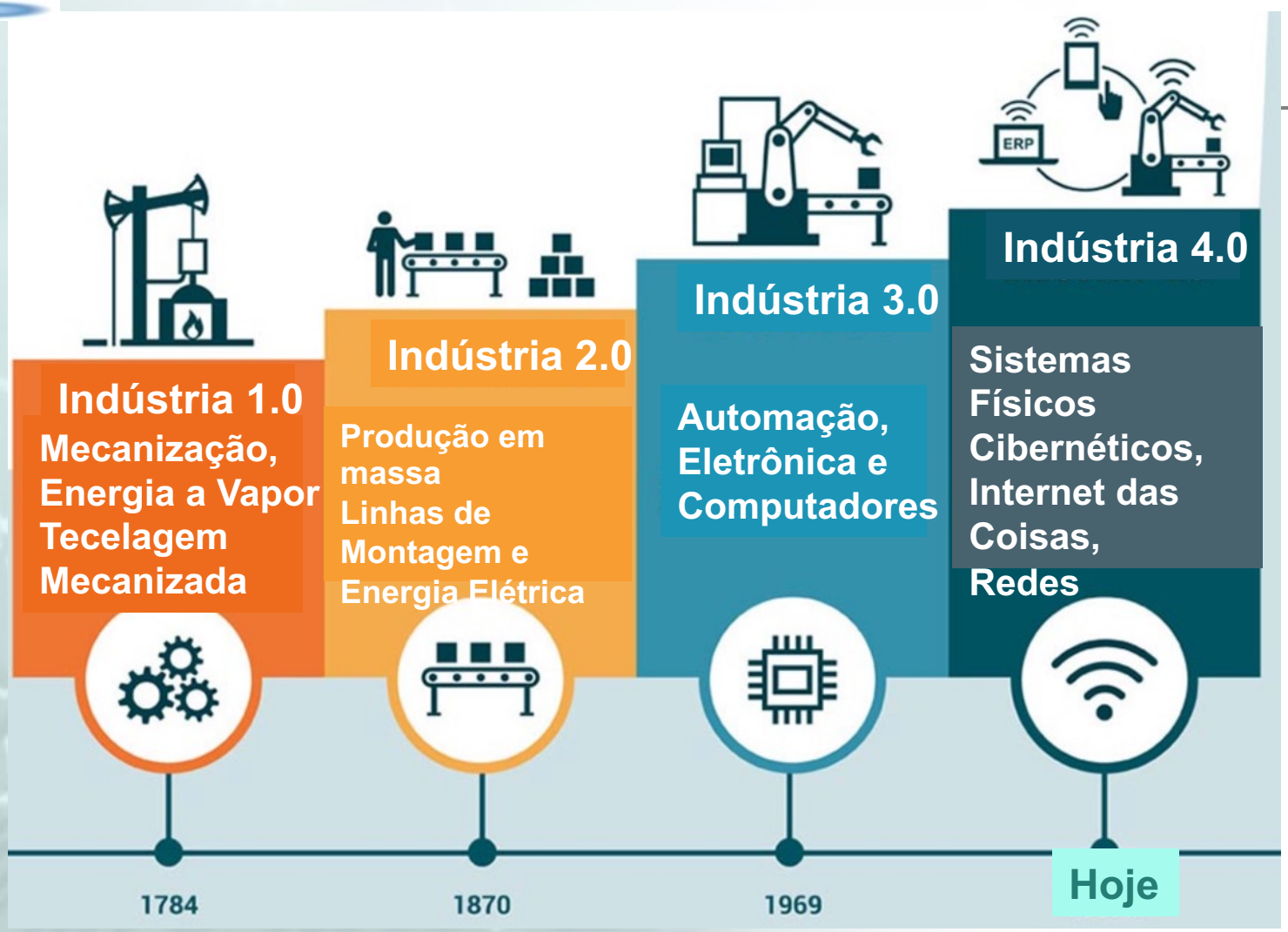
# Estádio Cobertura em Compósitos- Qatar

Zaha Hadid's Al Wakrah 2022 FIFA World Cup Stadium in Qatar

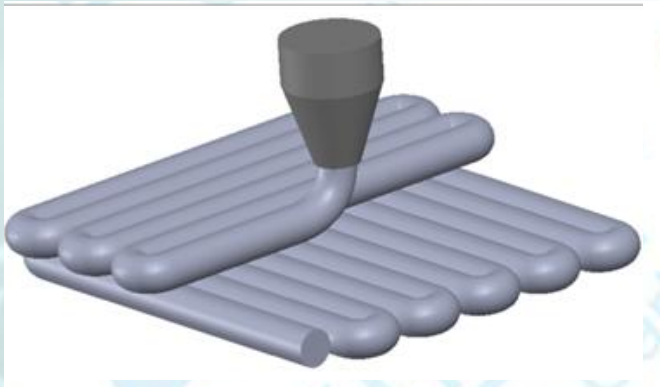
# Museu Dubai

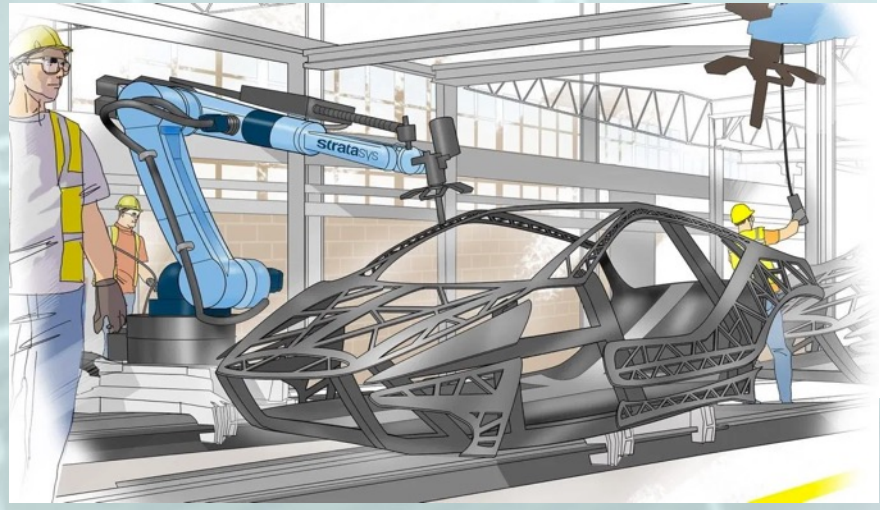
Designed by architectural firm Killa Design, UAE, engineered by BuroHappold and with BAM International as the main contractor, this engineering marvel is a true example of the benefits of building with advanced composites.

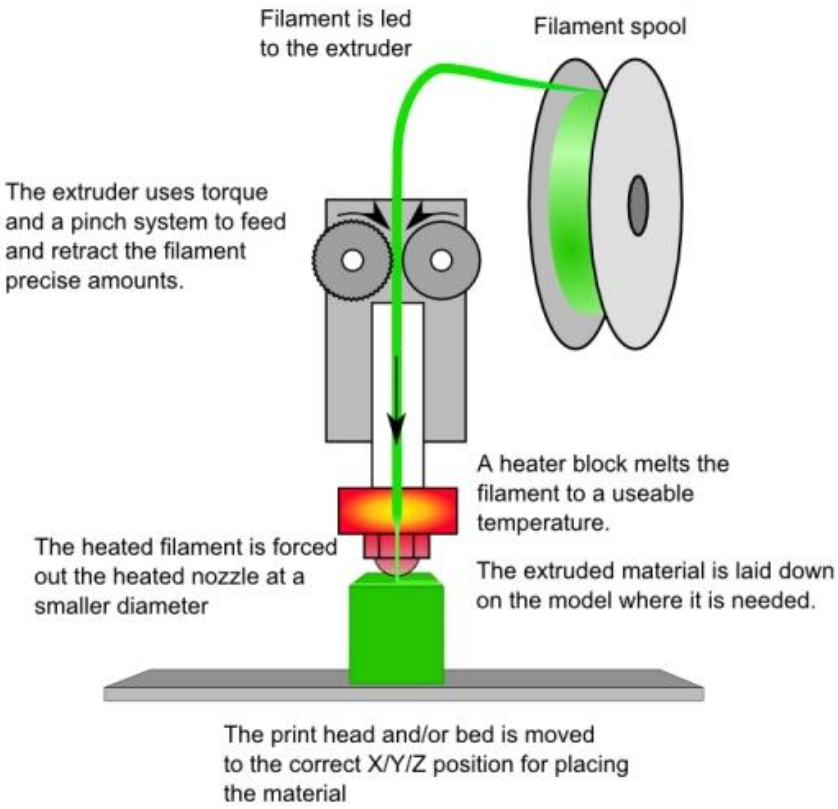
# Evolução da Indústria



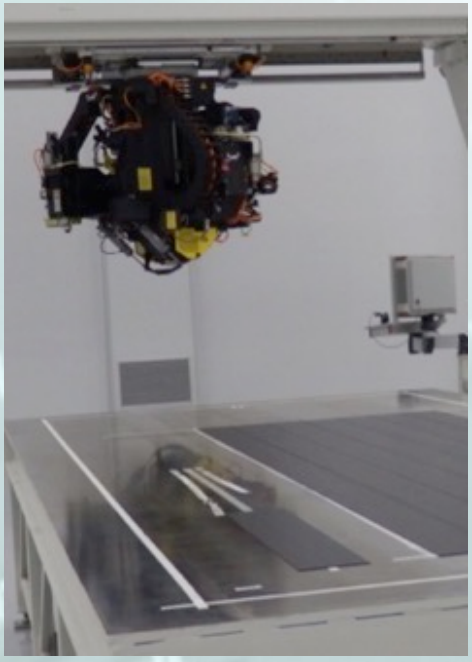
# Manufatura Aditiva "3D Printing"

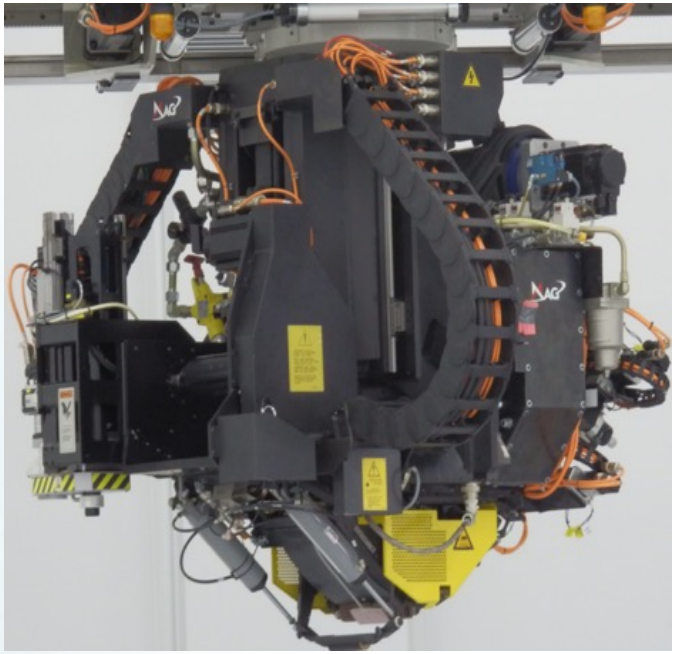




# Manufatura Aditiva ATL





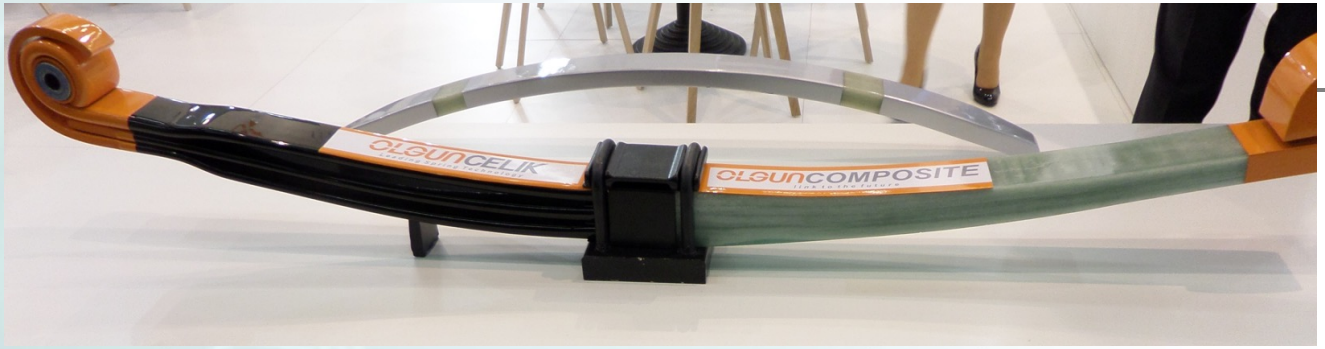
Automated Tape Lying ATL - Pic from LEL IPT Sao Paulo Brazil 2019

# Aplicações Manufatura Aditiva

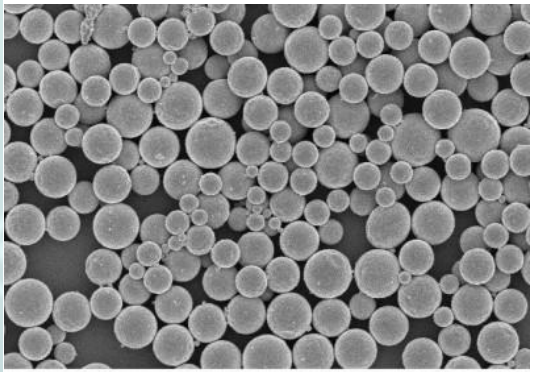
# Spaceship II Voo sub orbital

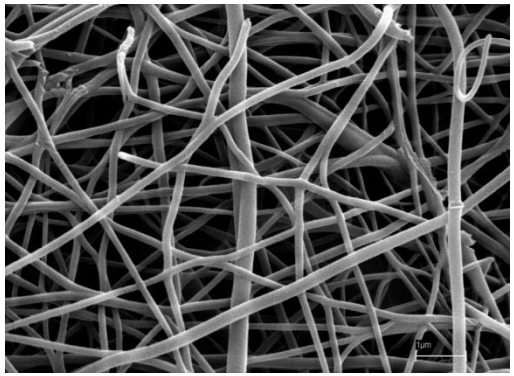
# Mobilidade

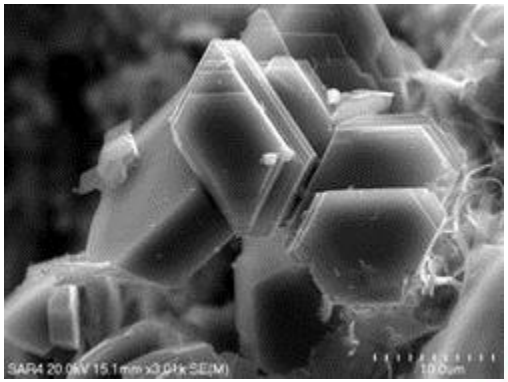
# Mobilidade / Componentes



# Nanomateriais (reforço)







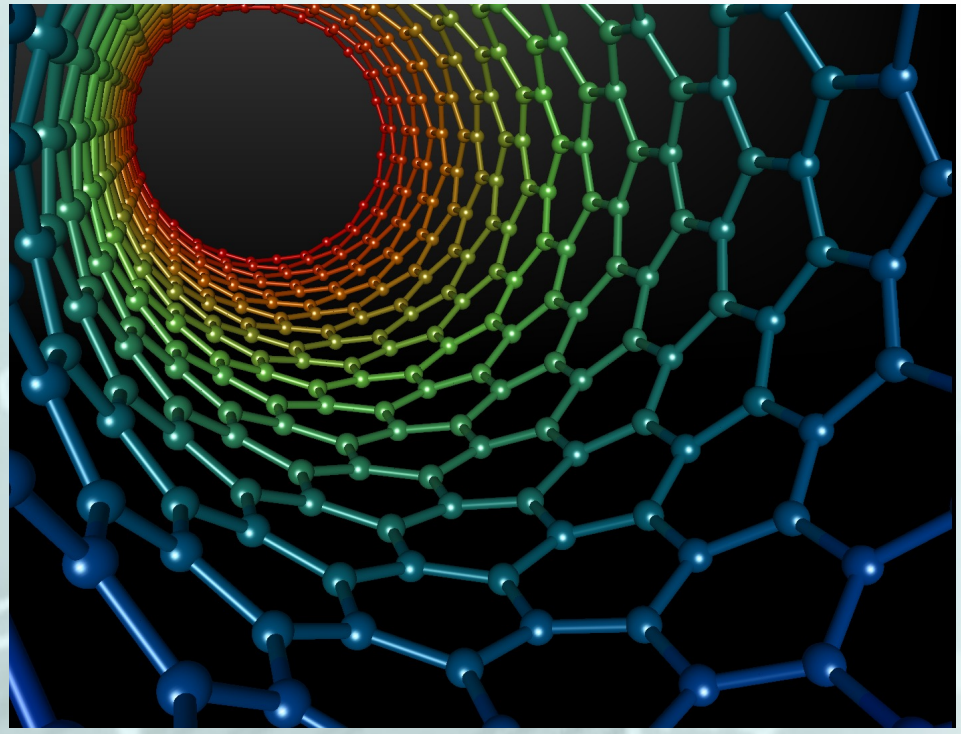
Nanopartículas
3 dimensões nano

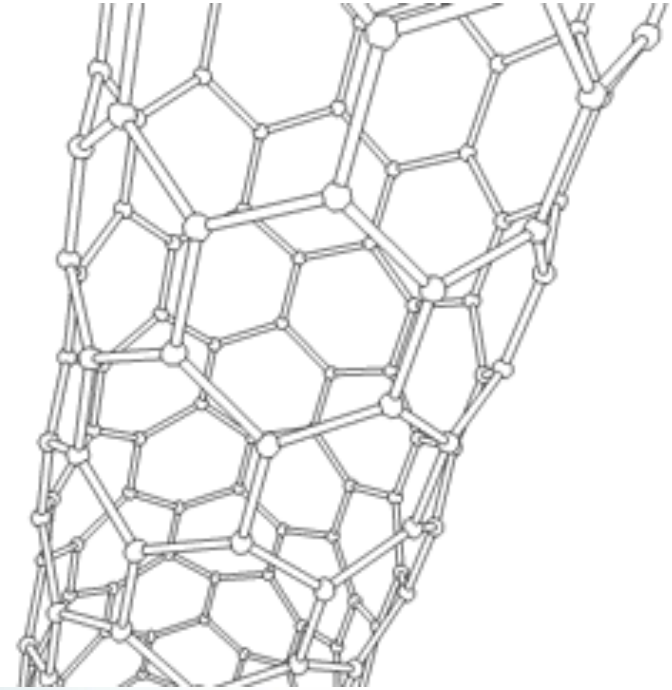
Nanofibras
2 dimensões nano

Nanolaminas
1 dimensão nano

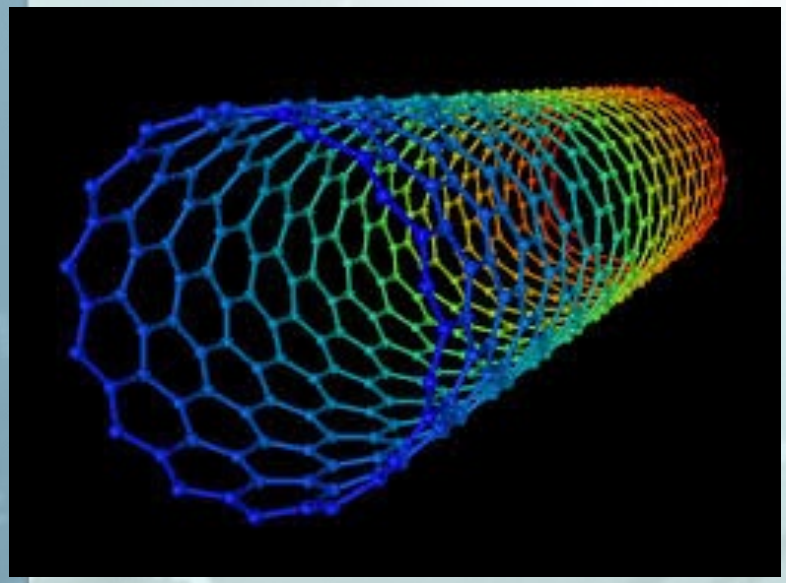
Obs: Nanocompositos até max 10% de reforço

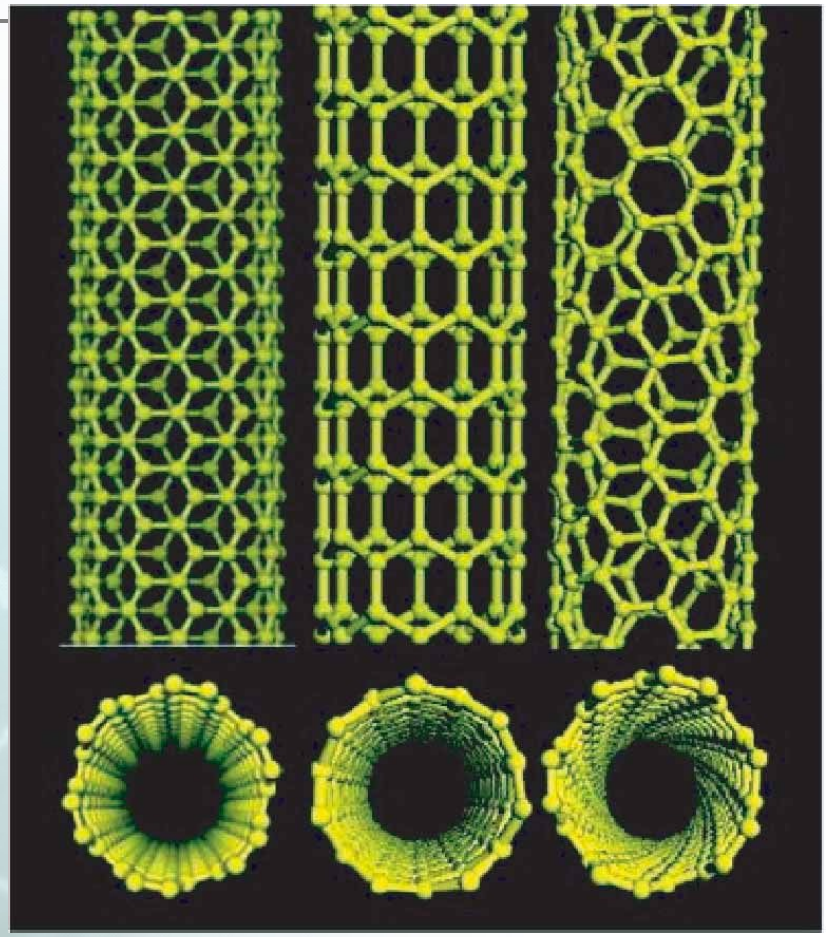
# Nanotubos Carbono





# Nanotecnologia - Nanotubos de Carbono





# Nanostitch

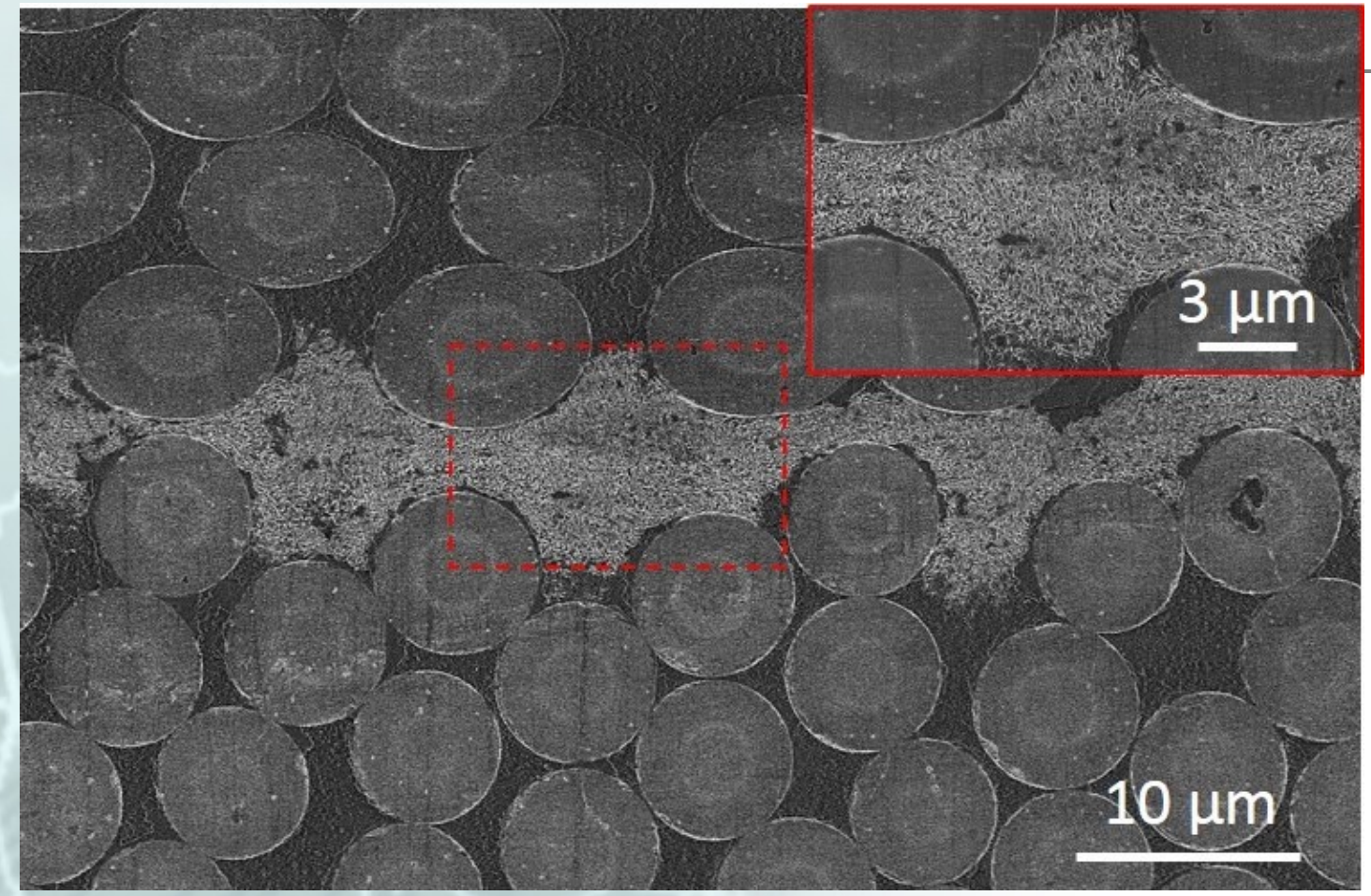
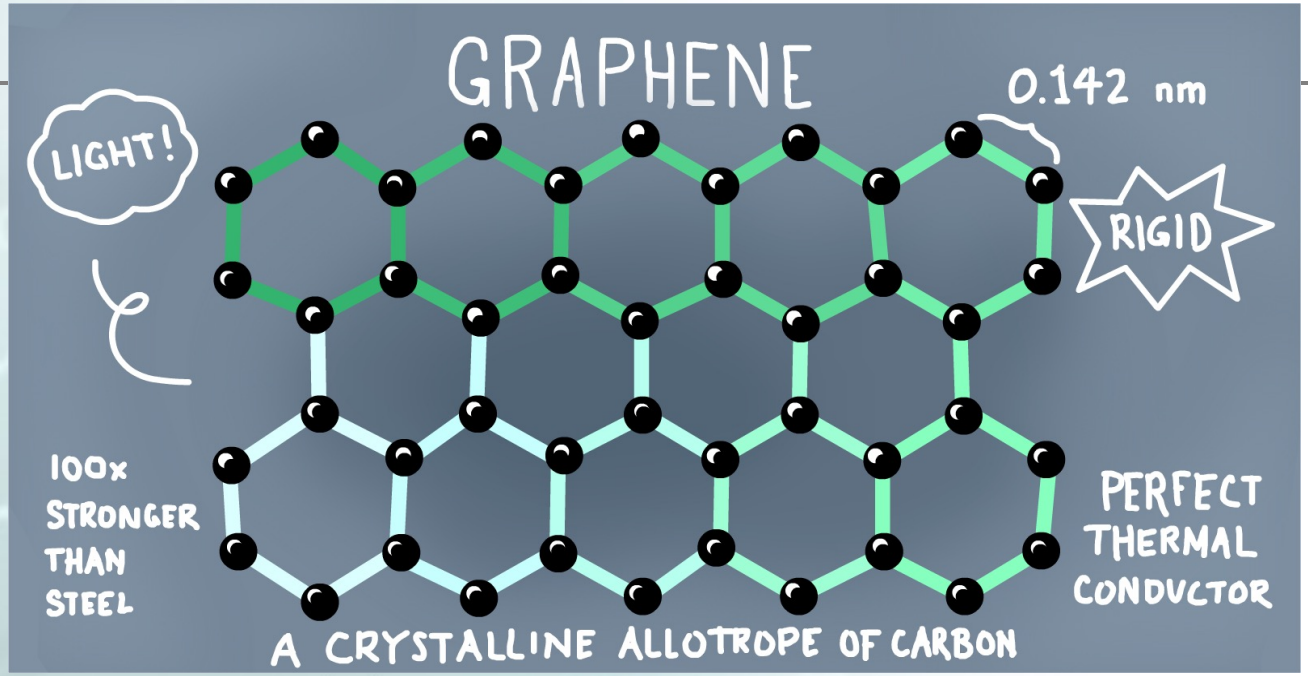
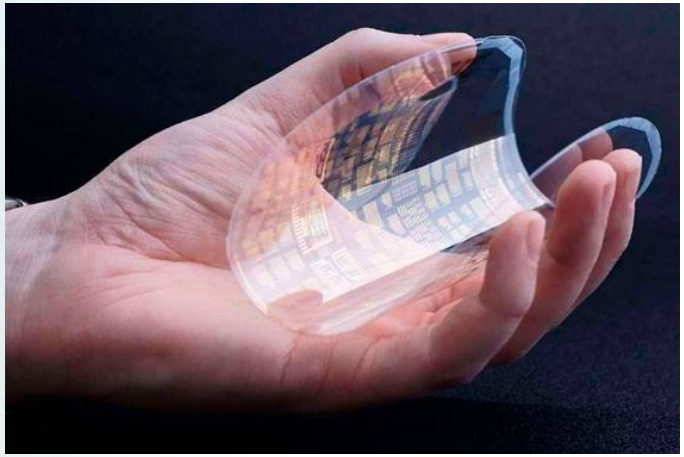



Foto do Autor JEC 2016


GRAPHENE
0.142 nm
LIGHT!
RIGID
100x STRONGER THAN STEEL
PERFECT THERMAL CONDUCTOR
A CRYSTALLINE ALLOTROPE OF CARBON

Graphene
the material of tomorrow



## Dúvidas? Peguntas?

Dream it,
plan it, do it
in composites materials!
Sonhe,
planeje e execute
em materiais compósitos!