

COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIMÉRICA

Universidade da Beira Interior

Engenharia Aeronáutica

João Gomes

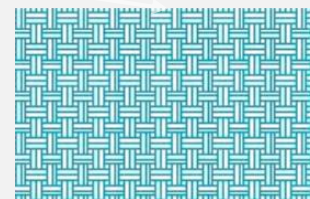
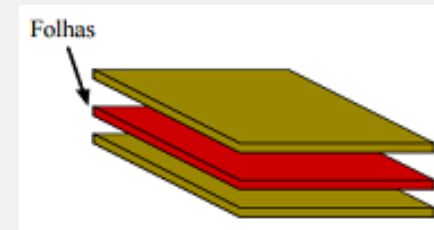
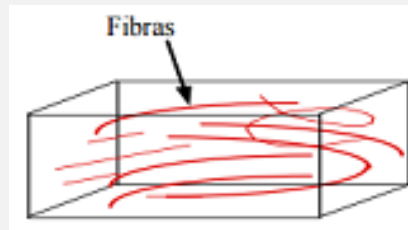
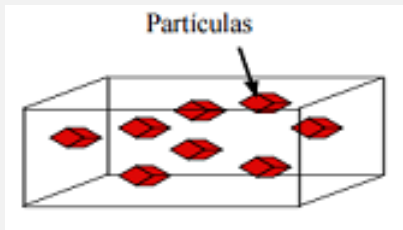
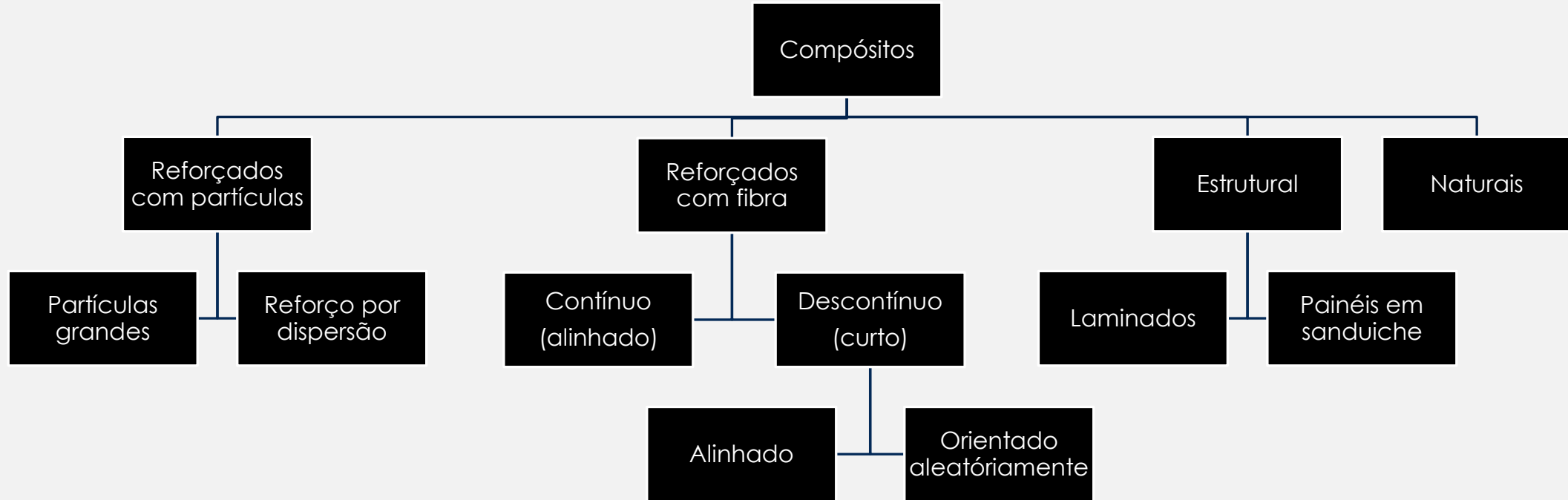
COMPÓSITOS

- ▶ É uma combinação de pelo menos 2 materiais distintos, com propriedades físicas e químicas distintas.
- ▶ Obtenção de propriedades que não se conseguem com materiais isolados
- ▶ Os materiais são constituídos por 2 fases:



- Fibras
- Partículas
- Folhas

COMPÓSITOS



FINALIDADE DOS COMPÓSITOS

- ▶ Obter propriedades benéficas a uma determinada aplicação tais como:
 - Resistência á corrosão
 - Rigidez (resistência estrutural)
 - Redução de peso
 - Resistência á fadiga
 - Expansão térmica
 - Propriedades electromagnéticas
 - Condutibilidade térmica
 - Comportamento acústico
 - Capacidade de amortecimento
- ▶ A escolha de uma matriz e reforço passa por uma recolha das propriedades de cada um, de modo a que o produto final obtenha as características mecânicas adequadas para a finalidade a que se destina

PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS

- ▶ As propriedades mecânicas e químicas dos compósitos dependem dos seguintes factores:
 - Das propriedades dos materiais que o constituem
 - Das quantidades relativas das fases constituintes
 - Da geometria da fase dispersa
- ▶ As propriedades dos compósitos dependem quer da natureza dos materiais usados quer do grau de ligação entre eles.
- ▶ Pretende-se então obter propriedades que não se conseguem através dos componentes isolados

PREVISÃO DAS PROPRIEDADES

Os compósitos podem ser analisados por 2 pontos de vista:

- **Micromecânico** – uma análise focada em obter uma percepção do comportamento do compósito, em termos das propriedades das fibras e da matriz. Existem modelos usados para simular a microestrutura do compósito de forma a obter uma previsão das suas propriedades (rigidez e resistência) em termos das propriedades e forma dos seus constituintes

A micromecânica é um estudo bastante complexo com base na

- ▶ **Macromecânico** - é um método usado na previsão da resistência e rigidez das estruturas do compósito tal como outras propriedades como a distorção com base na média das propriedades do material (módulo de elasticidade longitudinal e transversa, coeficiente de Poisson, entre outras características dos materiais)
- ▶ Condutividade térmica e elétrica

$$\rho_c = \rho_m V_m + \rho_f V_f$$

$$E_L = V_f E_f + V_m E_m$$

$$\frac{1}{E_T} = \frac{V_f}{E_f} + \frac{V_m}{E_m}$$

CONTROLO DAS PROPRIEDADES

► Propriedades das fibras

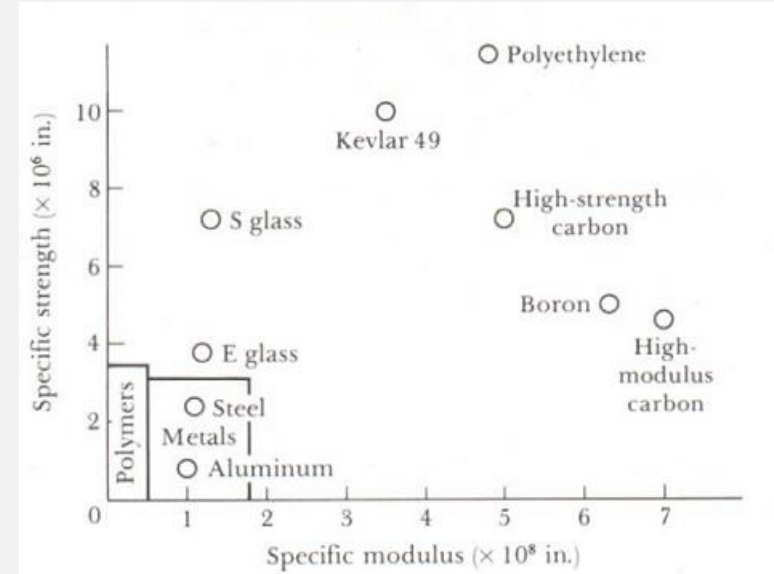
- Devem usar-se fibras com grande resistência e rigidez específicas à aplicação

► Propriedades da matriz

- Matrizes poliméricas têm em geral baixa resistência e baixo ponto de fusão
- Matrizes metálicas têm maior resistência e maior ponto de fusão, mas são mais pesadas
- Matrizes cerâmicas são usadas para garantir resistência a temperaturas extremamente elevadas, perdendo-se tenacidade

► Ligação fibra-Matriz

- Se não houver boa aderência da matriz à fibra, a distribuição de esforços não será eficiente
- Existem fibras de Boro com revestimento de SiC para aumentar a aderência



PROPRIEDADES DAS FIBRAS PRINCIPAIS

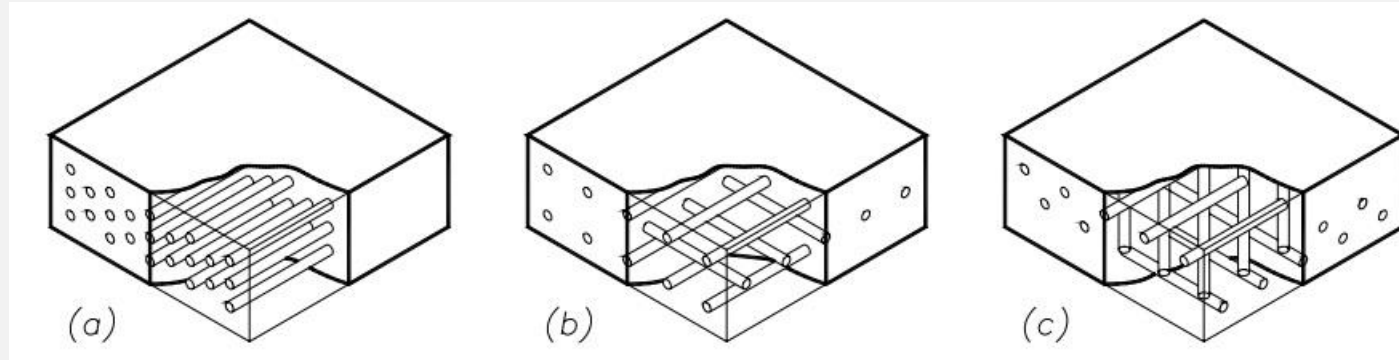
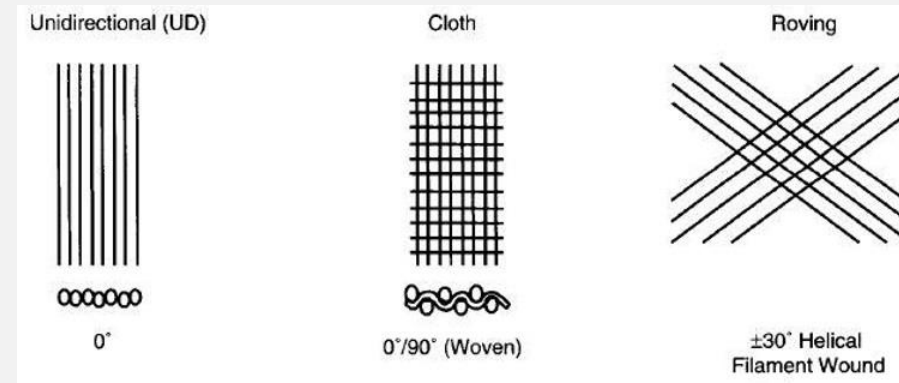
Fibra de aramida

<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
<ul style="list-style-type: none">- Baixa massa específica.- Elevada resistência à tracção.- Elevada resistência ao impacto.- Baixa condutividade eléctrica.- Elevada resistência química excepto a ácidos e bases concentrados.- Elevada resistência à abrasão.- Boa resistência ao fogo com capacidade de auto-extinção.- Excelente comportamento sob temperaturas elevadas de serviço.	<ul style="list-style-type: none">- Baixas resistência à compressão.- Degradação lenta sob luz ultravioleta; por exemplo.- Elevada absorção de humidade.- Má adesão às resinas.- Custo relativamente elevado.- Elevada durabilidade.

das

ARRANJOS TÍPICOS DE CAMADAS EM COMPÓSITOS LAMINARES

- a) Compósitos unidirecionais
- b) Compósitos tipo 0/90
- c) Compósitos tipo $+\theta/-\theta$

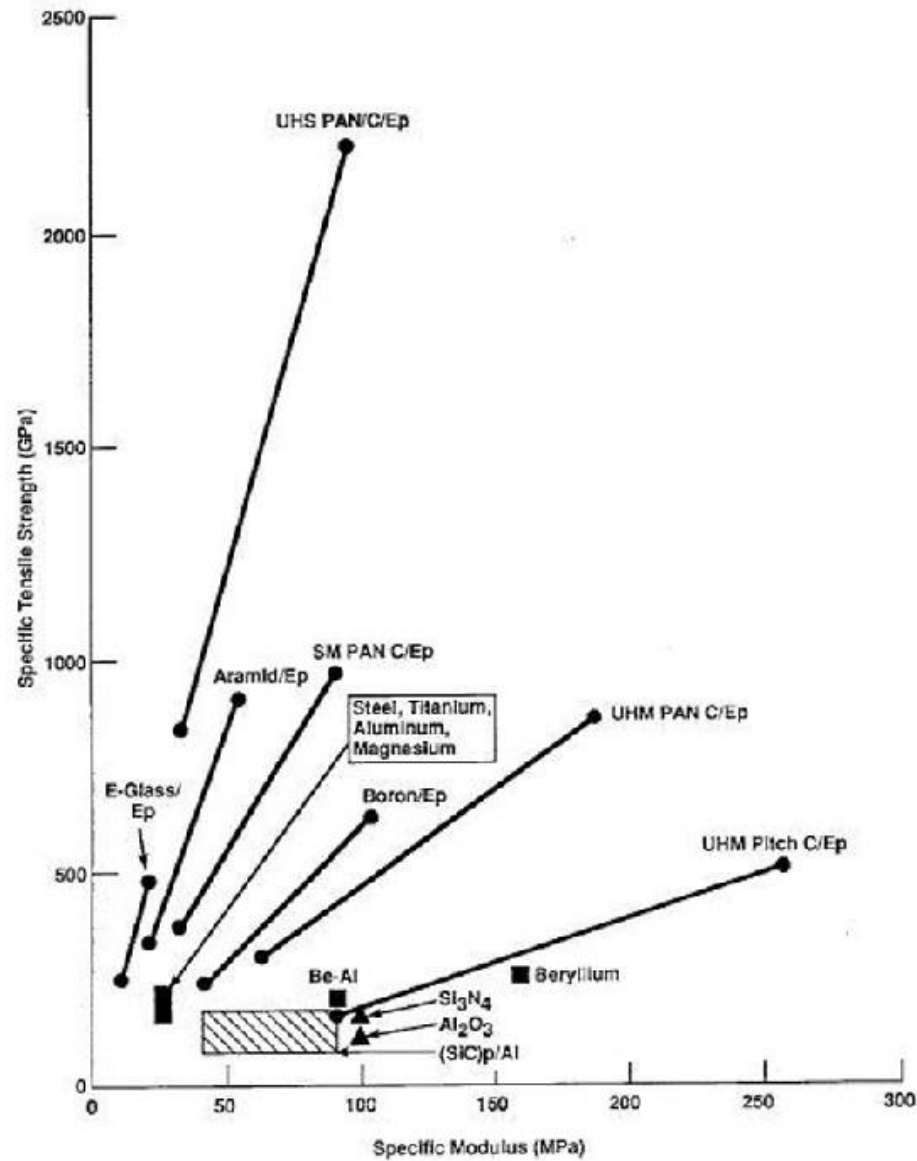


A resistência será máxima quando as fibras estiverem orientadas no sentido do esforço (sendo mínimas na direcção perpendicular)

PROPRIEDADES DESEJÁVEIS PARA O MATERIAL DA MATRIZ

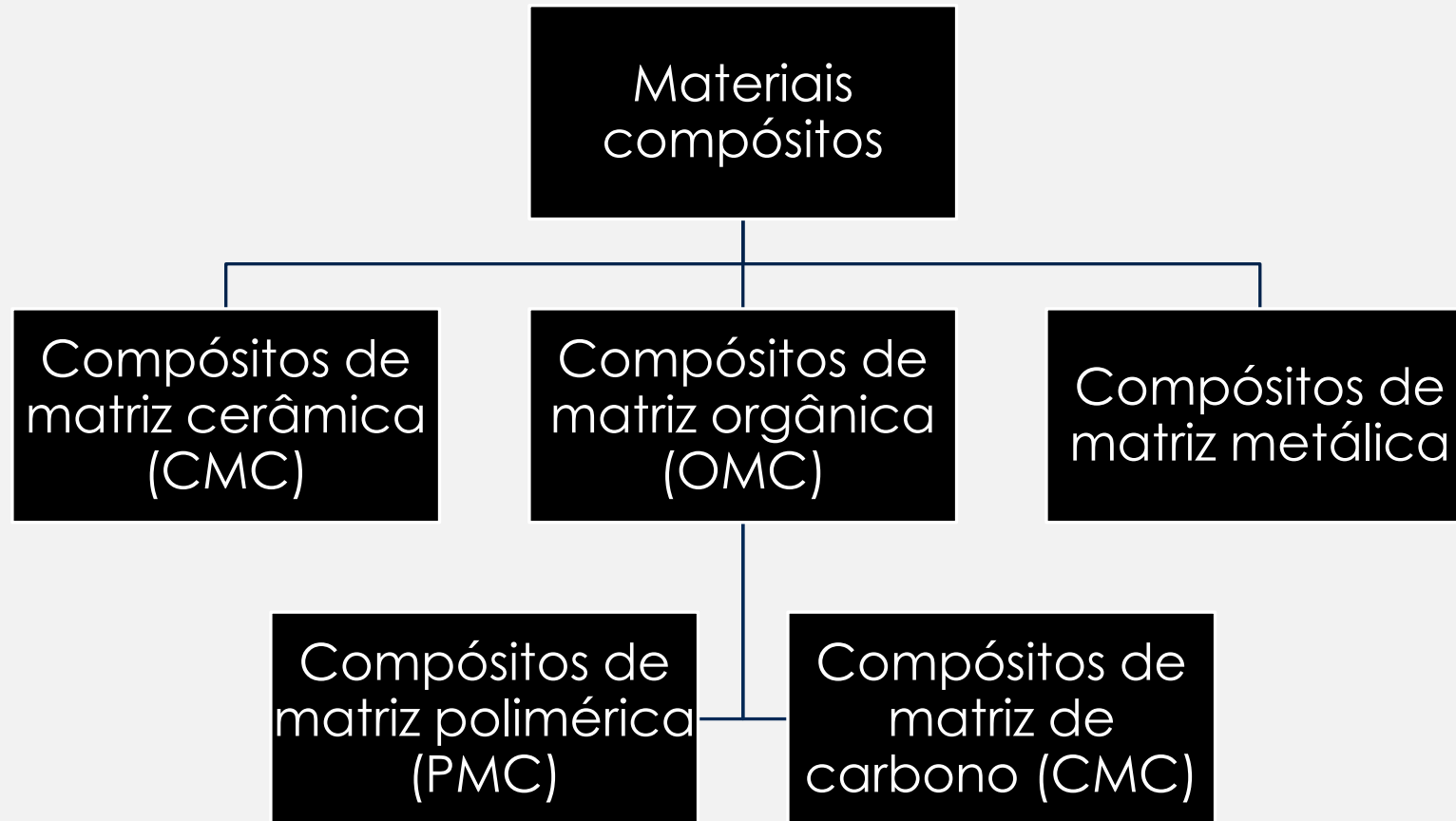
Propriedades Mecânicas	<ul style="list-style-type: none">- Resistência à tracção elevada- Ductilidade- Resistência ao corte- Tenacidade- Resistência ao impacto
Propriedades Térmicas	<ul style="list-style-type: none">- Resistência a temperaturas extremas- Coeficiente de dilatação térmica próxima do da fibra- Baixa condutividade térmica
Propriedades Químicas	<ul style="list-style-type: none">- Boa adesão às fibras- Resistência à degradação em ambientes quimicamente agressivos- Baixa absorção de humidade
Outras Propriedades	<ul style="list-style-type: none">- Baixo custo- Solidificação ou cura rápidas

No gráfico podemos visualizar a resistência que se pode obter com compósitos de diferentes materiais

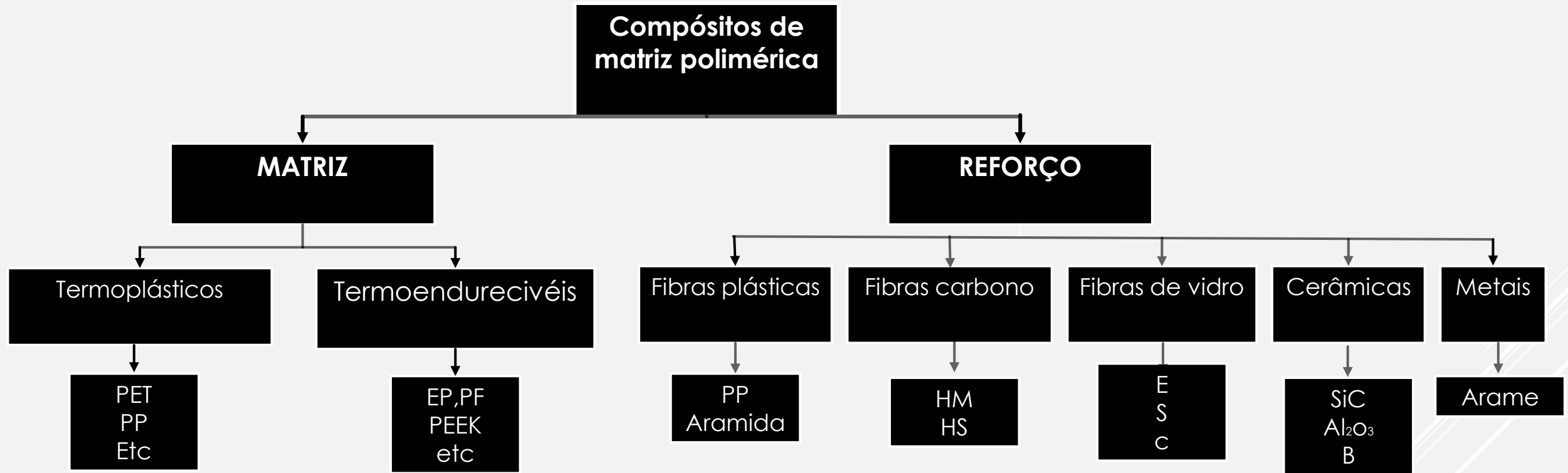


TIPOS DE COMPÓSITOS

- ▶ Os materiais compósitos dividem-se em 3 categorias com base na matriz.



COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIMÉRICA



MATRIZ DO COMPÓSITO

- Transmite os esforços mecânicos aos reforços, mantendo-os em posição, e contribuindo com alguma ductilidade embora de valores reduzidos

REFORÇO DO COMPÓSITO

- Elemento que suporta os esforços, são em geral materiais de elevadas resistências e rigidez

MATRIZES TERMOPLÁSTICAS VS TERMOENDURECIVÉIS

Termoendurecíveis

Principais características

- Sofre mudanças químicas quando curada
- Baixa tensão para que ocorra falha
- O processo é irreversível
- É possível ter muito baixa viscosidade
- Absorve humidade
- Alta resistência a solventes

Termoplásticas

- São não reactivas, não requerem cura
- Alta tensão para que ocorra falha
- Têm alta viscosidade
- Processo é reversível
- Absorve pouca humidade
- Resistência limitada a solventes orgânicos em alguns casos

MATRIZES TERMOPLÁSTICAS VS TERMOENDURECIVÉIS

Termoendurecíveis

Principais vantagens

- As temperaturas de cura são baixas
- Boa impregnação nas fibras
- Moldável a formas complexas
- Disponível em várias gamas de viscosidade
- Resistência á deformação

Principais desvantagens

- Tempos de cura elevados
- Tempo de vida útil limitado (requer refrigeração)
- Algumas são sensíveis quando expostas aos raios UV

Termoplásticas

- Cura rápida
- É reutilizável
- As formas podem sofrer alterações
- Vida útil ilimitada sem necessidade de refrigeração
- Elevada resistência á delaminação

- Baixa resistência aos solventes
- Requer elevadas temperaturas e elevada pressão para uma boa cura
- Podem ser propensos á fluência

Resinas termoendurecíveis

EPOXY (EP)

PHENOL-FORMALDEHYDE(PF)

BIS-MALEIMIDES(BMI)

POLYESTER

VINLY-ESTER

POLYIMIDE

POLYURETHANE (PUR)

CYANATE

Resinas termoplásticas

ACRYLIC

NYLON

POLYLACTIC ACID (PLA)

POLICARBONATE

TEFLON

POLYKETONES:

POLYETHERKETONE (PEK)

POLYETHERKETONEKETONE (PEKK)

POLYPHENYLENE SULFIDE (PPS)

POLYSULFONE (PSU)

POLYETHERIMIDE (PEI)

ALGUMAS CARACTERISTICAS DE MATRIZES TERMOENDURECIVEIS

Polyesters	Used extensively in commercial applications. Relatively inexpensive with processing flexibility. Used for continuous and discontinuous composites.
Vinyl Esters	Similar to polyesters but are tougher and have better moisture resistance.
Epoxies	High performance matrix systems for primarily continuous fiber composites. Can be used at temperatures up to 250–275° F. Better high temperature performance than polyesters and vinyl esters.
Bismaleimides	High temperature resin matrices for use in the temperature range of 275–350° F with epoxy-like processing. Requires elevated temperature post-cure.
Polyimides	Very high temperature resin systems for use at 550–600° F. Very difficult to process.
Phenolics	High temperature resin systems with good smoke and fire resistance. Used extensively for aircraft interiors. Can be difficult to process.

PROPRIEDADES DE ALGUMAS MATRIZES TERMOENDURECIVEIS E TERMOPLÁSTICAS

	Density [g/cm ³ (Pci)]	Modulus [GPa (Msi)]	Tensile Strength [MPa (ksi)]	Elongation to Break (%)	Thermal Conductivity [W/m · K]	Coefficient of Thermal Expansion [ppm/K (ppm/°F)]
Epoxy ^a	1.1–1.4 (0.040–0.050)	3–6 (0.43–0.88)	35–100 (5–15)	1–6	0.1	60 (33)
Thermosetting polyester ^a	1.2–1.5 (0.043–0.054)	2–4.5 (0.29–0.65)	40–90 (6–13)	2	0.2	100–200 (56–110)
Polypropylene ^b	0.90 (0.032)	1–4 (0.15–0.58)	25–38 (4–6)	>300	0.2	110 (61)
Nylon 6-6 ^b	1.14 (0.041)	1.4–2.8 (0.20–0.41)	60–75 (9–11)	40–80	0.2	90 (50)
Polycarbonate ^b	1.06–1.20 (0.038–0.043)	2.2–2.4 (0.32–0.35)	45–70 (7–10)	50–100	0.2	70 (39)
Polysulfone ^b	1.25 (0.045)	2.2 (0.32)	76 (11)	50–100	—	56 (31)
Polyetherimide ^b (PEI)	1.27 (0.046)	3.3 (0.48)	110 (16)	60	—	62 (34)
Polyamideimide ^b	1.4 (0.050)	4.8 (0.7)	190 (28)	17	—	63 (35)
Polyphenylene sulfide ^b (PPS)	1.36 (0.049)	3.8 (0.55)	65 (10)	4	—	54 (30)
Polyether etherketone ^b (PEEK)	1.26–1.32 (0.046–0.048)	3.6 (0.52)	93 (13)	50	—	47 (26)

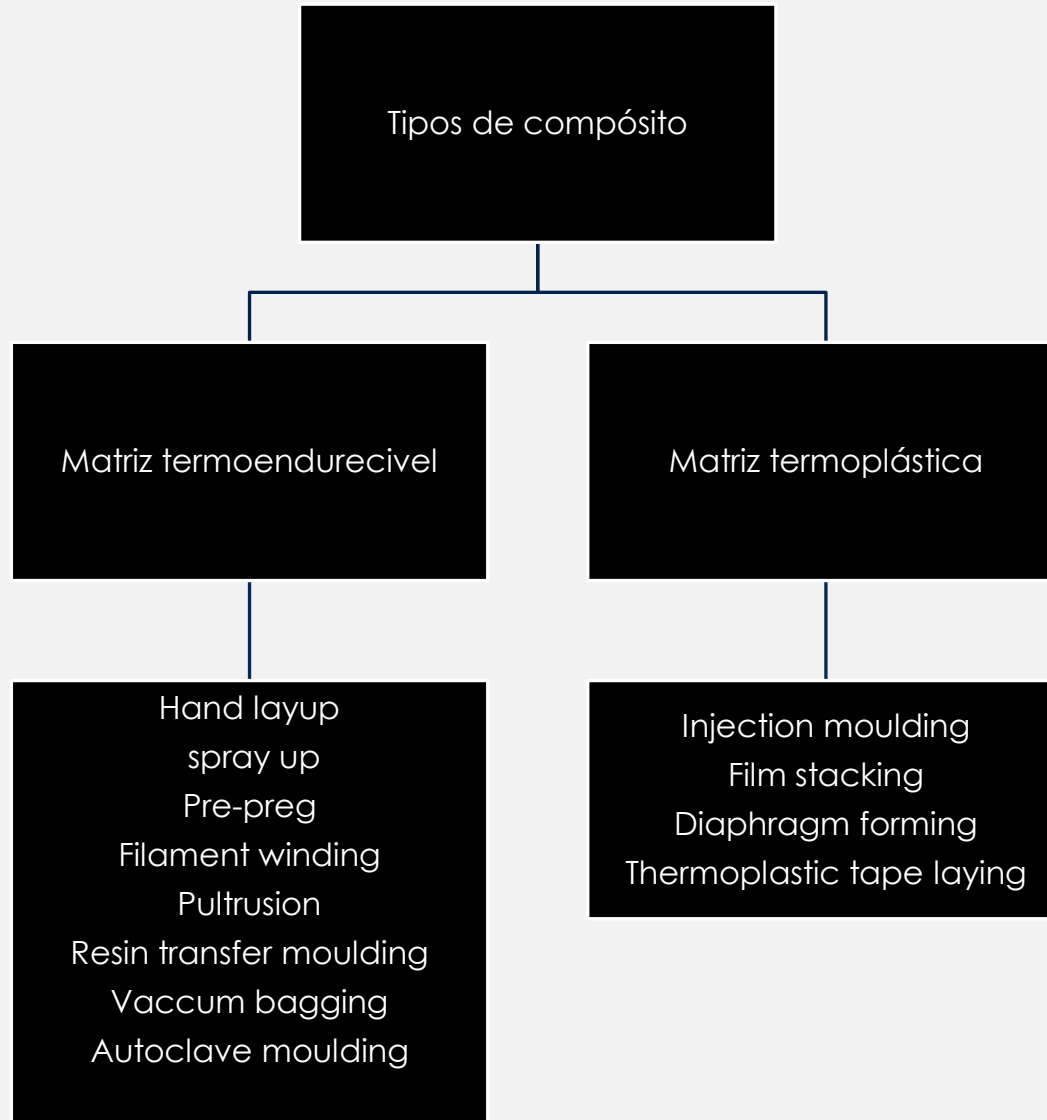
^aThermoset.

^bThermoplastic.

PROPRIEDADES DAS PRINCIPAIS FIBRAS UTILIZADAS

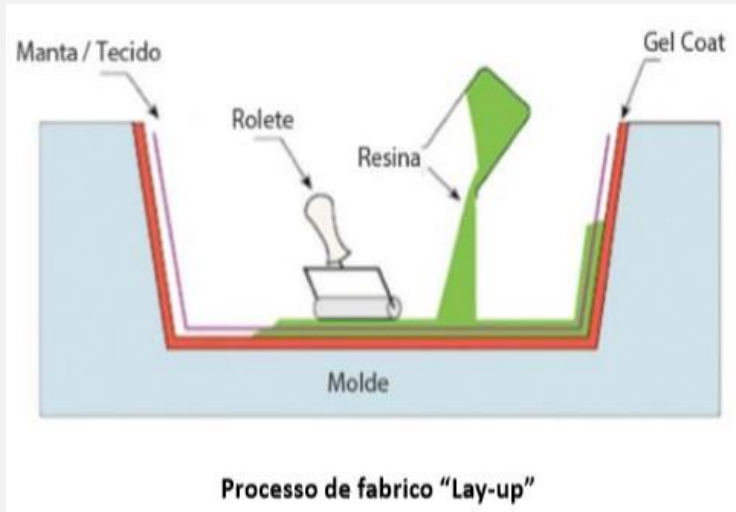
Fiber	Density [g/cm ³ (Pci)]	Axial Modulus [GPa (Msi)]	Tensile Strength [MPa (ksi)]	Axial Coefficient of Thermal Expansion [ppm/K (ppm/°F)]		Axial Thermal Conductivity [W/m · K]
E-glass	2.6 (0.094)	70 (10)	2000 (300)	5	(2.8)	0.9
HS glass	2.5 (0.090)	83 (12)	4200 (650)	4.1	(2.3)	0.9
Aramid	1.4 (0.052)	124 (18)	3200 (500)	-5.2	(-2.9)	0.04
Boron	2.6 (0.094)	400 (58)	3600 (520)	4.5	(2.5)	—
SM carbon (PAN)	1.7 (0.061)	235 (34)	3200 (500)	-0.5	(-0.3)	9
UHM carbon (PAN)	1.9 (0.069)	590 (86)	3800 (550)	-1	(-0.6)	18
UHS carbon (PAN)	1.8 (0.065)	290 (42)	7000 (1000)	-1.5	(-0.8)	160
UHM carbon (pitch)	2.2 (0.079)	895 (130)	2200 (320)	-1.6	(-0.9)	640
UHK carbon (pitch)	2.2 (0.079)	830 (120)	2200 (320)	-1.6	(-0.9)	1100
SiC monofilament	3.0 (0.11)	400 (58)	3600 (520)	4.9	(2.7)	—
SiC multifilament	3.0 (0.11)	400 (58)	3100 (450)	—		—
Si-C-O	2.6 (0.094)	190 (28)	2900 (430)	3.9	(2.2)	1.4
Si-Ti-C-O	2.4 (0.087)	190 (27)	3300 (470)	3.1	(1.7)	—
Aluminum oxide	3.9 (0.14)	370 (54)	1900 (280)	7.9	(4.4)	—
High-density polyethylene	0.97 (0.035)	172 (25)	3000 (440)	—		—

PROCESSOS DE FABRICO



MATRIZES TERMOENDURECÍVEIS

Processo Hand Layup



Vantagens comuns

- Uso extensivo
- Baixo custo de fabrico
- Formas personalizadas
- Peças grandes e complexas podem ser produzidas

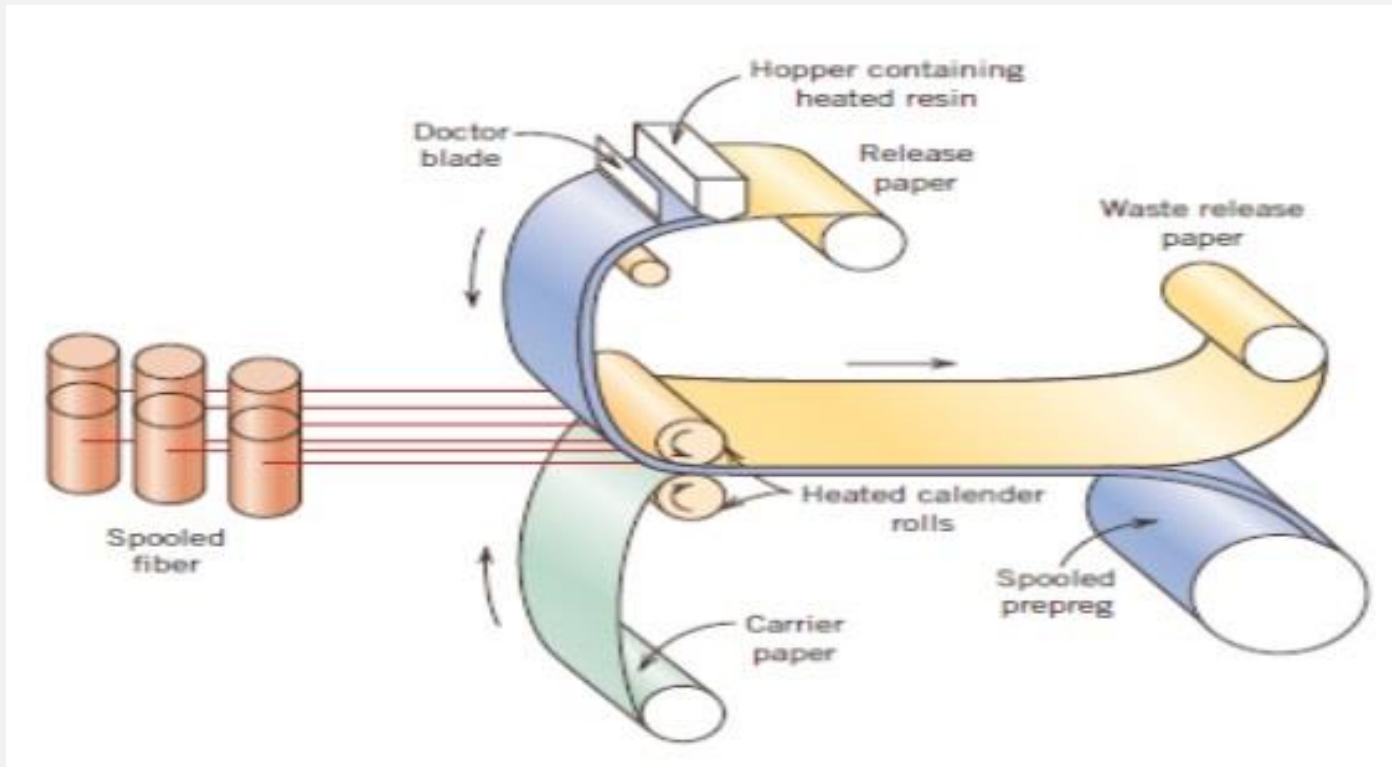
Problemas em comum

- Trabalho intensivo
- Longos tempos de cura
- Uniformidade de produção é difícil
- Quantidade de peças produzidas é reduzido
- Emissão de estirenos
- Qualidade da peça dependente da experiência do trabalhador

Processo Sprayup



Prepreg process



- Tempo de vida em armazenamento é de 6 meses
- Ambos os tipos de resinas são usadas e os reforços normalmente são de carbono, vidro e aramida

Filament Winding

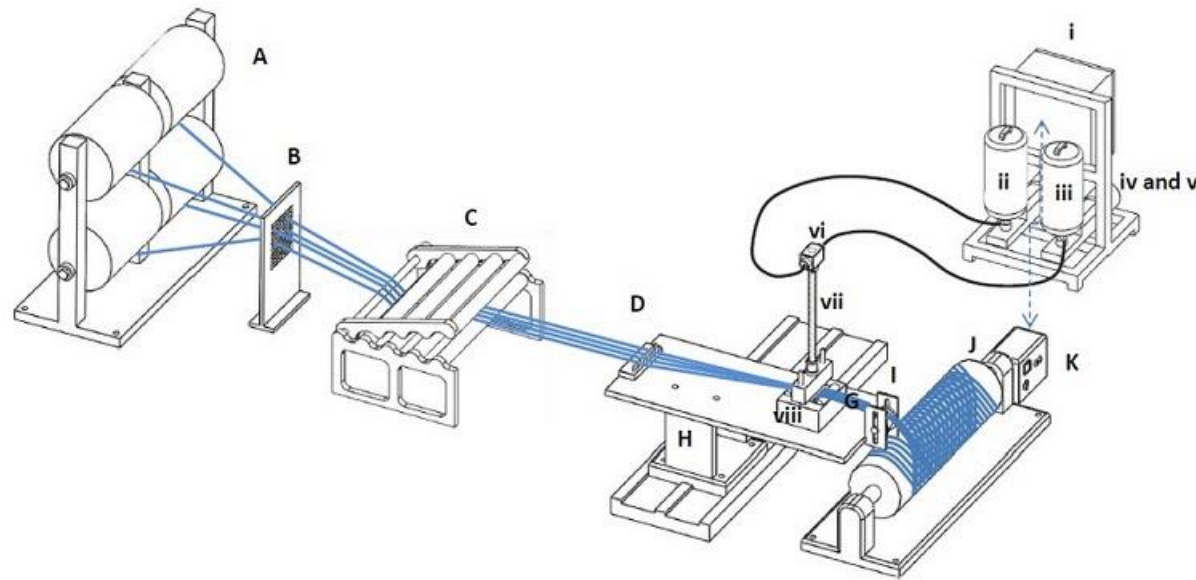
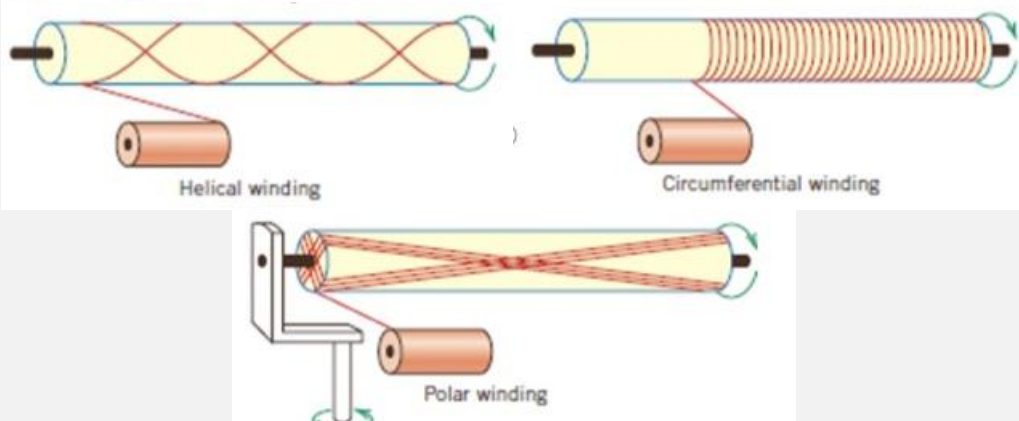


Figure 2: Schematic illustration of the clean filament winding process. The key components are coded as follows. (A) Fibre creels. (B) Fibre guide. (C) Tensioning system. (D) Guide pins. (G) Resin-impregnated fibre bundles. (H) Traversing carriage with a platform/adaptor to house the impregnator (viii). (I) "Collector" roller or D-Ring; (J) Rotating mandrel. (K) feedback control unit. Refer to Figure 1 for a description of (i-viii).



Vantagens

- Processo automatizado que providencia elevadas taxas de produção
- A dimensão de peças produzidas é extensa
- As peças podem produzidas de modo a terem resistências em diversas direcções
- Desperdício é reduzido
- Paineis de reforço podem ser inseridos durante o processo

Desvantagens

- A escolha da viscosidade e a vida útil da resina deve ser cautelosa
- Os programas NC podem ser difíceis
- Algumas formas não são possíveis obter com o processo
- Factores como a tensão do filamento tem que ser controladas
- Peças de curvatura dupla são difíceis de obter
- Baixa qualidade da superfície externa

Pultrusion



deslizantes



Vantagens

- Processo automatizado
- Perfilado que leva a
- Melhoria de processo rápida
- Baixo desperdício (4%)
- Boa qualidade dimensional
- Quando existe excesso de resina a resistência da peça reduz
- Curas rápidas reduzem a resistência da peça
- Não permite dobragens ou afilamentos

Resin Transfer Molding



Vantagens

- Peças de grandes dimensões e formas complexas podem ser produzidas
- O acabamento é melhor que o de hand layup
- Versatilidade de peças
- Menor tempo de produção
- Emissão de estirenos pode ser reduzida em até 60%
- Custo reduzido
- Fácil aprendizagem



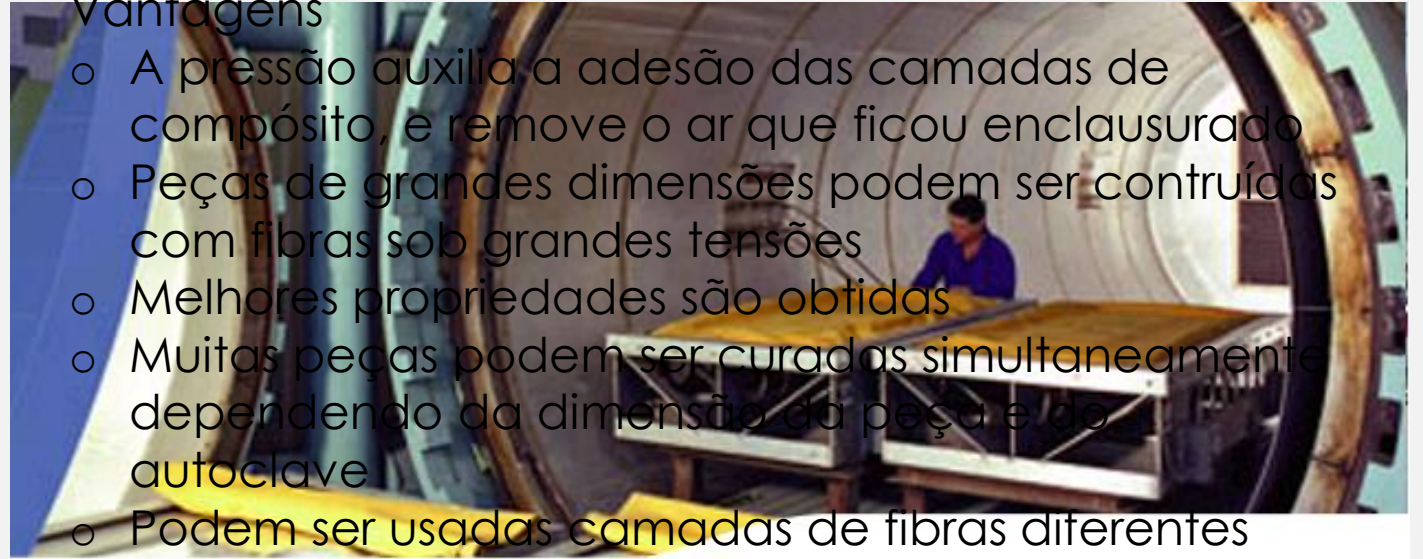
é complexo e
mentos em certos
mover durante a

Autoclave moulding



Vantagens

- A pressão auxilia a adesão das camadas de compósito, e remove o ar que ficou enclausurado
- Peças de grandes dimensões podem ser contruídas com fibras sob grandes tensões
- Melhores propriedades são obtidas
- Muitas peças podem ser curadas simultaneamente dependendo da dimensão da peça e do autoclave
- Podem ser usadas camadas de fibras diferentes



Desvantagens

- Os autoclaves são dispendiosos

Processo

- a) A peça é colocada num recipiente de pressão e é submetido a temperaturas ideais á cura da matriz
- b) O processo é semelhante ao vacum bagging só que é efectuado num autoclave de modo a obter pressões e temperaturas ideais para a cura da matriz e melhor adesão ao reforço

PROCESSOS DE FABRICO DE MATRIZES TERMOPLÁSTICAS

Aplicações são inúmeras



Copyright©2009 www.vulcanmold.com

Aplicações na indústria Aeronáutica

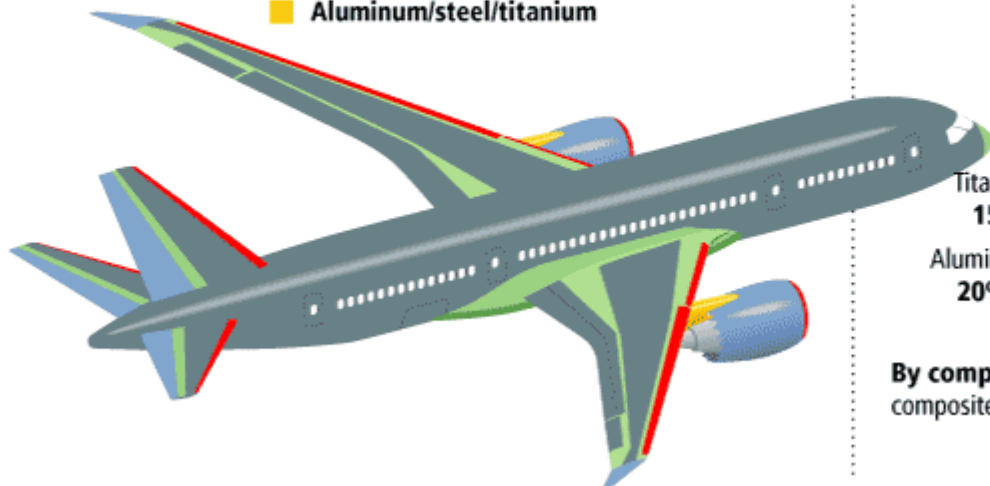
Ramo comercial

- Boeing 787
- Primeira aeronave comercial a usar compósitos em toda a sua estrutura
 - 50% do volume são a base de compósitos
 - Velocidade de cruzeiro de 903Km/h

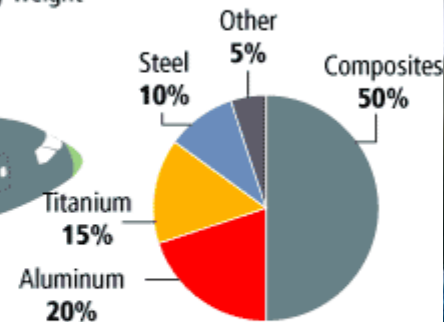


Materials used in 787 body

- Fiberglass
- Aluminum
- Carbon laminate composite
- Carbon sandwich composite
- Aluminum/steel/titanium



Total materials used By weight

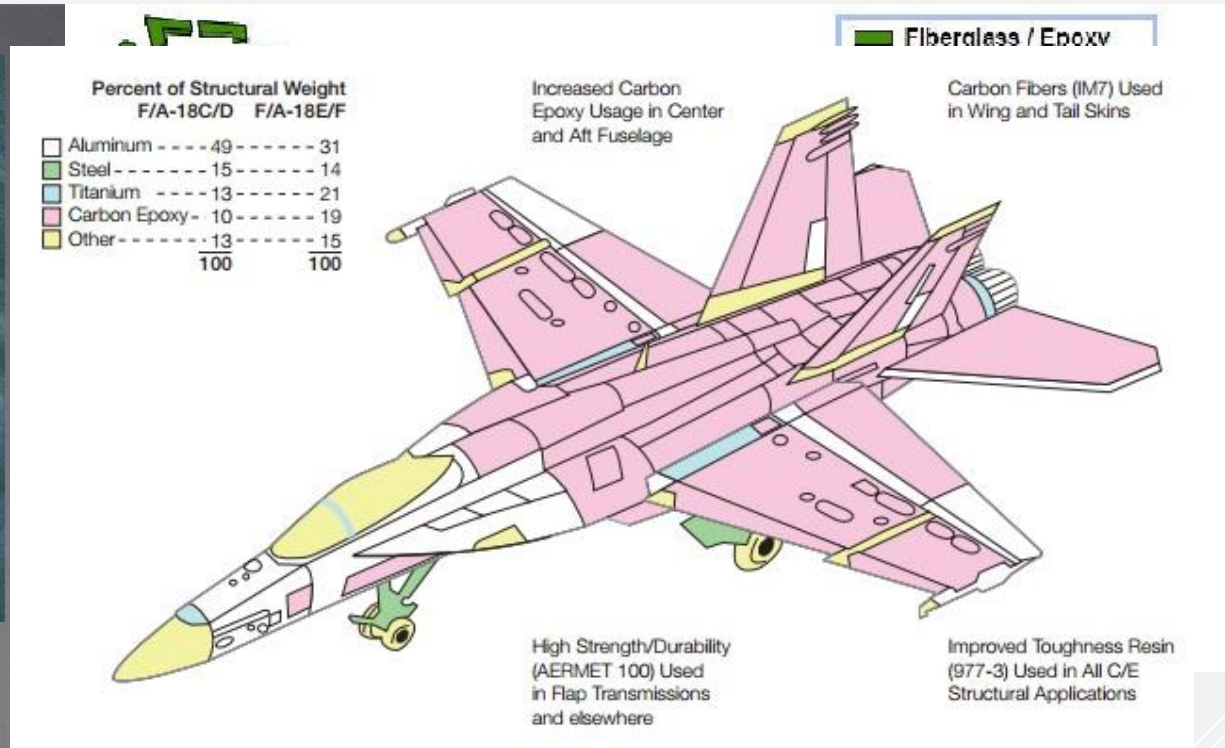


By comparison, the 777 uses 12 percent composites and 50 percent aluminum.

Comprimento:	68 m
Altura:	17 m
Envergadura:	60 m
Secao:	5,91 m
MTOW:	250,836 kg
Assentos:	323
Carga:	6,187 feet3 (175 m3)
Motores:	GE GENx ou RR Trent 1000
Velocidade de cruzeiro:	0,85 Mach
Autonomia:	12,900 km
Combustivel:	138.700 L

Ramo militar

F-18 Lightning Helmet



Aeronaves híbridas

Solar impulse 2



UAV's

PEONYER



Construído em carbono, vidro, kevlar, alumínio e balsa

OLHARAPO desenvolvido na UBI



Maioritariamente construído em carbono

VTOL UAV's

Quadcopter



Tricopter



HELICOPTEROS

Comanche



Fuselagem em carbono

Westland lynx



Outros

Hélices para quadcopters e UAV's pequenos



Hélices de helicópteros são compostos são

Yves Rossy, conhecido como "Jetman", voou com uma asa "batwing" de carbono/kevlar. Na asa, estão acoplados 4 motores capazes de produzir 22,3 Kgf cada.



OBRIGADO PELA ATENÇÃO