



instituto politécnico de tomar **escola superior de tecnologia de tomar**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**  
ÁREA DE CONSTRUÇÃO

**Materiais de Construção I**  
2008/2009 – 1º SEMESTRE

MATERIAIS COMPÓSITOS

**Docente:**

*Anabela Mendes Moreira*

## MATERIAIS COMPÓSITOS

### 1. Introdução

A diversidade de materiais actualmente disponíveis para o uso em engenharia é extraordinariamente grande, existindo por isso materiais cada vez mais especializados para aplicações específicas. Os materiais compósitos representam um caso de particular importância dentro dos designados materiais de engenharia não tradicionais.

Os constantes avanços tecnológicos permitem diminuir os custos de processamento das matérias-primas garantindo desta forma um melhor aproveitamento das vantagens dos materiais não tradicionais. Prevê-se que estes materiais, para além de continuarem a ter uma aplicação privilegiada em mercados avançados (militar, espacial e aeronáutico), substituam também, de forma crescente, os materiais tradicionais nas aplicações mais frequentes da engenharia civil.

### 2. Definição e composição

Os materiais compósitos podem ser definidos como misturas (ao nível macroscópico) não solúveis de dois ou mais constituintes com distintas composições, estruturas e propriedades que se combinam e em que um dos materiais garante a ligação - matriz – e o outro a resistência - reforço. O betão armado é um exemplo de um material compósito.

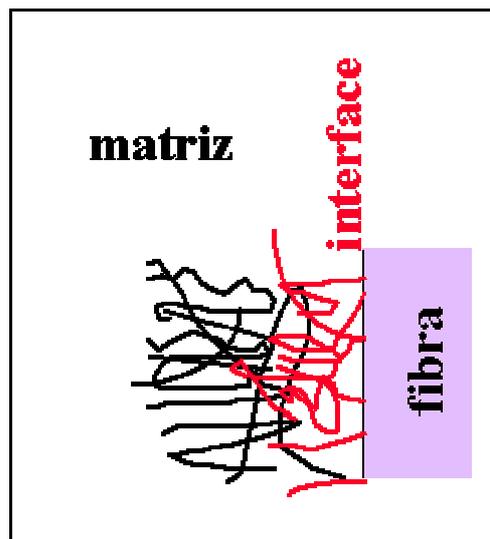


Figura 1 - Esquemática genérica de um material compósito.

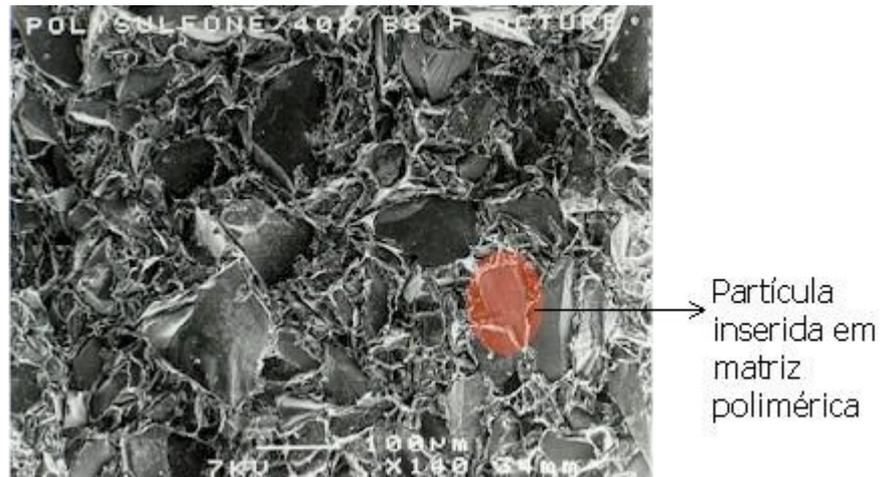


Figura 2 – Microscopia (através de microscópio electrónico de alta resolução) da estrutura de um material compósito

O reforço apresenta-se, em geral, sob a forma de partículas, fibras curtas ou fibras longas (com diâmetros compreendidos entre 0.003 e 0.03 mm). No quadro 1 indicam-se e exemplificam-se as diferentes naturezas dos constituintes de um material compósito.

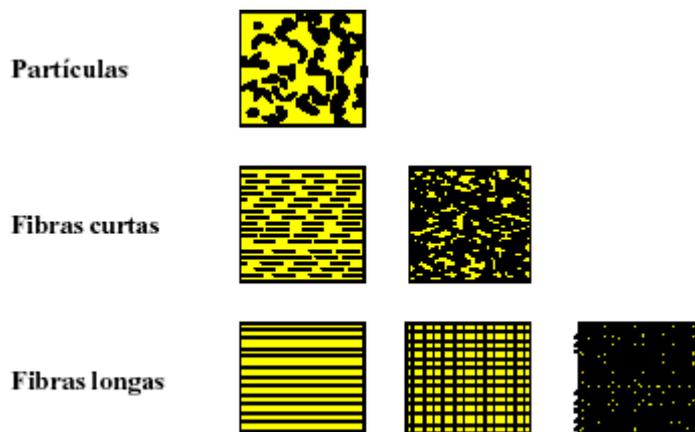


Figura 3 - Representação esquemática dos tipos de reforço.

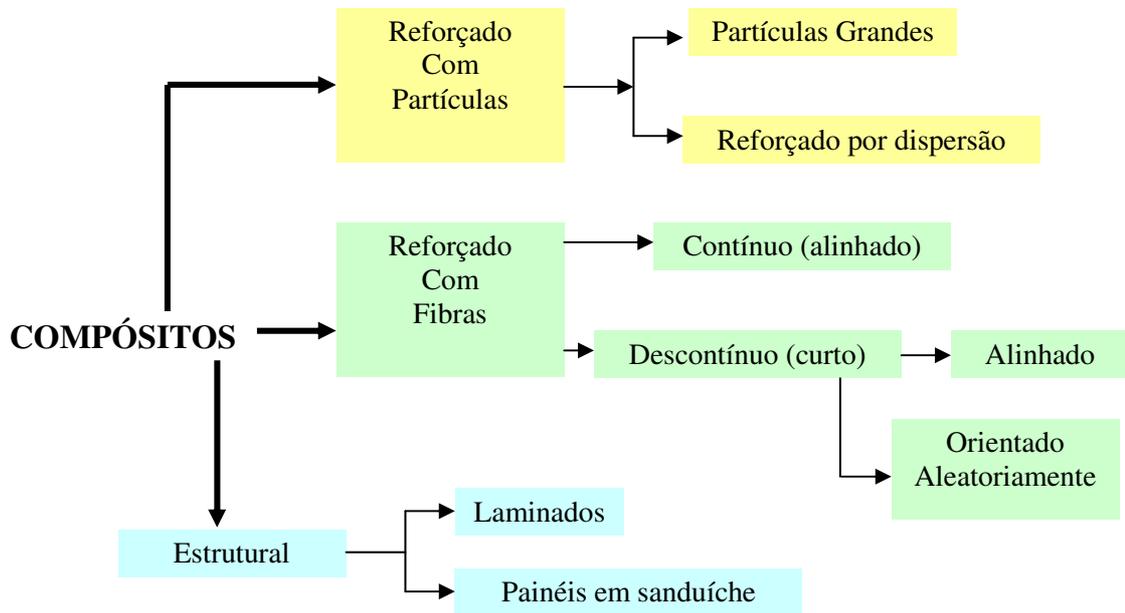


Figura 4 - Classificação dos compósitos.

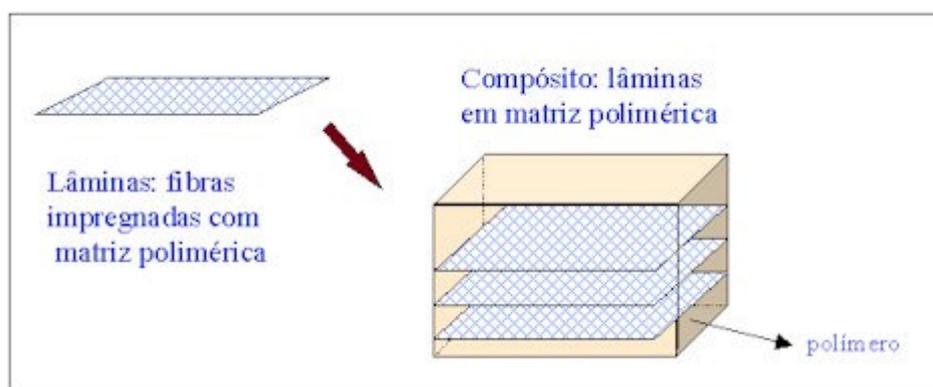


Figura 5 - Estrutura esquemática de compósitos laminados.

<i>Matriz</i>		<i>Reforço</i>	
Orgânica  ( <i>PMC's– Polymer Matrix Composites</i> )	Polímeros Termoplásticos  Polímeros Termoendurecíveis	Mineral	- Fibra de vidro  - Fibra de Carbono
		Orgânico	- Aramida  - Poliamida
		Metálico	- Boro  - Alumínio
Metálica  ( <i>MMC's– Metal Matrix Composites</i> )	Ligas leves de Alumínio, Magnésio, Titânio	Mineral	- Carbono  - Carboneto de silício
		Metálico	- Boro
		Misto	- Boro revestido com Carboneto de Silício
Cerâmica  ( <i>CMC's–Ceramic Matrix Composites</i> )		Mineral	Carbonetos
		Metálica	Boro ou Tungsténio

**Quadro 1 – Natureza dos constituintes dos materiais compósitos.**

O principal objectivo de se produzirem compósitos é o de combinar diversos materiais para produzir um único com propriedades superiores às dos componentes isolados, pelo que a combinação dos materiais constituintes é decidida a partir da aplicação específica que se pretende dar ao material compósito.

A concepção deste tipo de materiais é milenar: existem referências escritas sobre a utilização de argila reforçada com palha em tijolos no Antigo Egipto. No século XIX já se

utilizavam barras de ferro para reforçar alvenarias, abrindo-se assim o caminho para o desenvolvimento do betão armado; nos anos 40 do século XX generalizou-se a utilização de plásticos reforçados em componentes eléctricos e a partir de 1960 desenvolveram-se as fibras de carbono que foram a partir de 1968 aplicadas em aviões.

A combinação dos materiais depende da aplicação específica que se pretende do material compósito e a relativa importância de vários factores tais como:

- Resistência a corrosão
- Rigidez
- Peso
- Resistência à fadiga
- Expansão térmica
- Propriedades electromagnéticas
- Condutibilidade térmica
- Comportamento acústico
- Aspecto

As elevadas resistência e rigidez específicas continuam a ser a combinação que lança os materiais compósitos para novas áreas, sendo que a grande capacidade de amortecimento e o baixo coeficiente de expansão térmica, características que podem ser adaptadas para aplicações específicas. Os designados compósitos avançados permitem reduzir os problemas de fadiga, possibilitando maior flexibilidade no projecto e nos processos de fabrico. Outras vantagens dos materiais compósitos são a resistência a temperaturas extremas, à corrosão e ao desgaste que podem conduzir a custos mais baixos do ciclo de vida do produto. Apesar de não serem classificados de compósitos avançados, os betões poliméricos surgem como materiais compósitos com um potencial de crescimento muito elevado nos próximos anos.

## 2.1. A matriz

A matriz de um material compósito deve, para além de manter a coesão das fibras, garantir as seguintes funções:

- Proteger as fibras do meio envolvente;
- Proteger as fibras do dano durante o manuseamento;
- Distribuir o carregamento pelas fibras;
- Redistribuir o carregamento pelas fibras resistentes em caso de ruptura.

No quadro 2 apresentam-se os principais requisitos do material da matriz.

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

**Quadro 2 - Propriedades desejáveis para os materiais da matriz.**

Os materiais usualmente utilizados como matriz em materiais compósitos são os polímeros (termoplásticos e termoendurecíveis), os metais, os materiais cerâmicos e o Carbono.

Os materiais compósitos de matriz polimérica surgiram, na sua vertente estrutural, em meados do século XX. Este tipo de materiais combina fibras resistentes e rígidas (de vidro, carbono e aramida) com uma matriz plástica adesiva macia e relativamente dúctil (que pode ser poliéster ou epoxy).

## 2.2. O reforço

O reforço é o componente descontínuo do material compósito, é, em regra, mais resistente do que a matriz e no caso de assumir a forma de fibras permite que o material tenha capacidade de resistência na direcção do carregamento.

### 2.2.1 Fibra de vidro

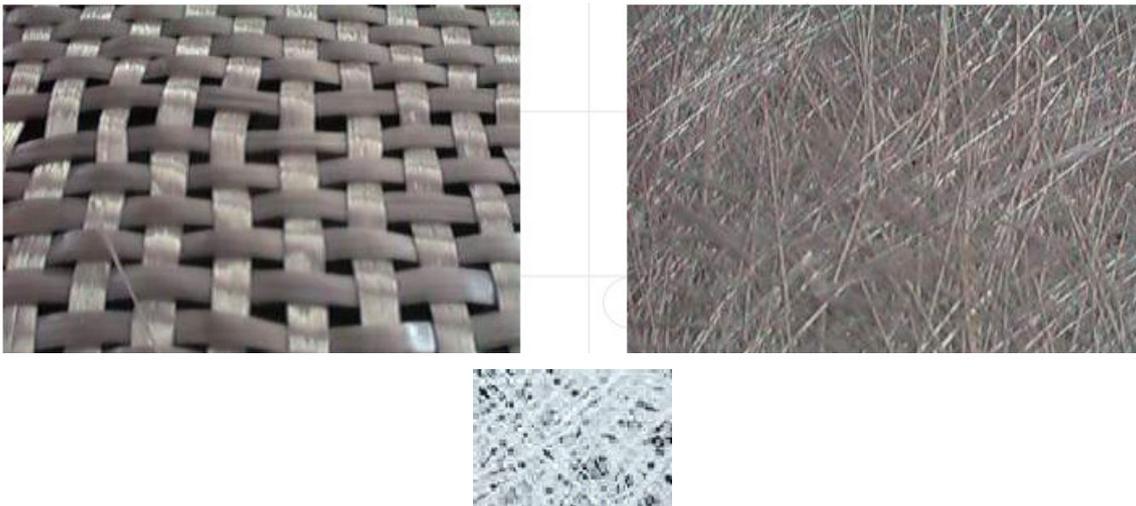
O processo de fabrico da fibra de vidro pode ser resumido da seguinte forma:

*O vidro fundido é distribuído por canais que o conduzem a feiras em que se mantém a cerca de 1250°C o que permite o seu vazamento por gravidade dando origem a fios com algumas décimas de mm; estas fibras são arrefecidas à saída da feira, primeiro por radiação e depois por pulverização de água. As fibras primárias sofrem um acabamento superficial obtido por revestimento.*

Tipos de fibra de vidro

- Vidro C (*Chemical*)
- Vidro E (*Electrical*)
- Vidro S (*Stiffness*)

A fibra de vidro E é a mais utilizada no reforço estrutural de compósitos de matriz polimérica.



**Figura 6 - Diversas configurações de tela de fibra de vidro.**

### Fibra de Vidro

<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevada resistência à tracção e compressão</li> <li>- Baixo custo relativamente às outras fibras</li> <li>- Elevada resistência química</li> <li>- Elevada resistência ao fogo</li> <li>- Boas propriedades de isolamento acústico, térmico e eléctrico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Módulo de elasticidade reduzido;</li> <li>- Elevada massa específica</li> <li>- Sensibilidade à abrasão</li> <li>- Sensibilidade a temperaturas elevadas</li> <li>- Baixa resistência à fadiga</li> </ul>

#### 2.2.2 Fibra de aramida

As fibras aramídicas são fibras de origem orgânica e sintética, obtidas por trefilagem de poliamidas aromáticas (benzeno). São geralmente designadas pelo nome comercial de KEVLAR (DuPont). A resistência à tracção e o módulo de elasticidade longitudinal das aramidas são muito superiores às correspondentes propriedades de outras fibras orgânicas.



Figura 7 - Tela de fibra de aramida.

### Fibra de Aramida

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

### 2.2.3 Fibras de carbono

As fibras de carbono são produzidas a partir de precursores orgânicos que se encontram já em forma filamentar através das seguintes operações:

- *oxidação controlada que consiste numa estabilização entre 200 e 300°C em simultâneo com estiramento para induzir no material precursor a orientação molecular adequada;*
- *carbonação em atmosfera de azoto a uma temperatura entre os 1000 e os 1500°C e*
- *grafitização a mais de 1800°C.*

As fibras de carbono sofrem, em geral, um tratamento superficial.



**Figura 8 - Tela de fibra de Carbono.**

#### Fibra de Carbono

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevada resistência à tracção</li> <li>- Elevado módulo de elasticidade longitudinal</li> <li>- Baixa massa específica</li> <li>- Elevada condutibilidade eléctrica</li> <li>- Elevada estabilidade dimensional;</li> <li>- Baixo coeficiente de dilatação térmica</li> <li>- Bom comportamento a elevadas temperaturas de serviço</li> <li>- Inércia química excepto em ambientes fortemente oxidantes</li> <li>- Boas características de amortecimento estrutural</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduzida resistência ao impacto</li> <li>- Elevada condutibilidade térmica</li> <li>- Fractura frágil</li> <li>- Baixa deformação antes da fractura</li> <li>- Baixa resistência à compressão</li> <li>- Custo elevado</li> </ul>

Existem outras fibras que podem ser usadas no reforço de materiais compósitos, tais como fibras de:

- Boro;
- Poliéster;
- Polietileno;
- Quartzo;
- Naturais: exemplos - juta, sisal, cana de açúcar, bambu.

### **3. Especificidades e aplicações**

Durante os últimos 20 anos, verificou-se um grande desenvolvimento de compósitos para aplicações. A principal motivação desta grande evolução foi a possibilidade de se produzirem compósitos com altas propriedades mecânicas e baixas densidades que poderiam substituir materiais usualmente utilizados como o aço e madeira. A combinação de polímeros de alto desempenho com fibras cerâmicas ou poliméricas de elevados módulo de elasticidade e resistência mecânica, permitiu a produção de novos compósitos com um grupo de propriedades específicas superiores ao aço, alumínio e outros. Esses compósitos apresentam em geral elevadas relações módulo/peso e resistência/peso sendo mesmo superiores às de materiais cerâmicos, poliméricos e metálicos.

Os materiais compósitos laminados constituídos por fibras de alta resistência, envoltas por uma matriz, possuem particular importância devido a inúmeras aplicações em Engenharia Aeronáutica, Mecânica e, mais recentemente, em Engenharia Civil. Fibras e matriz possuem características bastante distintas. As primeiras, geralmente feitas de boro, grafite, vidro ou carbono, exibem um comportamento praticamente elástico, enquanto que a última, que na maioria dos casos é uma resina, exibe comportamento visco-elástico, fortemente dependente das condições ambientais.

Pelo facto dos materiais compósitos laminados apresentarem características bastante diferentes dos materiais convencionais (as falhas, por exemplo, podem ocorrer nas fibras, na matriz, por descolamento das lâminas, etc.), tem-se a necessidade do desenvolvimento de programas computacionais específicos para análise destes materiais. A determinação da

capacidade de carga - essencial à sua utilização, torna-se mais complexa no caso dos materiais compósitos.

A eficiência dos materiais compósitos e suas inúmeras vantagens como, por exemplo, suas altas razões rigidez/peso e resistência/peso, excelente resistência à corrosão, baixa expansão térmica, bom comportamento à fadiga, facilidade de transporte, baixo consumo de energia no processo de fabrico e da estrutura em si, têm difundido o seu uso advindo deste facto, a necessidade de analisar de forma eficiente seu complexo comportamento.

O emprego de materiais compósitos em engenharia civil gera a necessidade de se estudar com mais cuidado as alterações sofridas por estes materiais com o tempo de uso, uma vez que a vida útil requerida nestes casos é normalmente grande.

Algumas aplicações dos materiais compósitos:

- Tubagem para saneamento e drenagem
- Tubagem de drenagem
- Tanques industriais

#### **4. Referências bibliográficas**

[1] COUTINHO, A.S.; “Fabrico e propriedades do betão”; Vol. 1, Vol. 2 e Vol. 3; LNEC, 1988

[2] DIAS, Salvador J. E.; Joaquim A. O, de Barros; “Materiais compósitos de CFRP no reforço ao corte de betão armado”, Universidade do Minho, Guimarães, 2004

[3] FONSECA, Susana B. C.; “Materiais compósitos de matriz polimérica reforçada com fibras usados na engenharia civil. Características e aplicações”; ITMC 35; LNEC, 2005, Lisboa

[4] JUVANDES, Luís; Marques, A. T.; Figueiras, J. A.; ”Materiais compósitos no reforço de estruturas de betão”, FEUP, 1996

[5] KALAMKAROV, Alexander L.; “Composite and reinforced elements of construction”, Edit. John Wiley, Chischester, 1992