



MANUFATURA DE MATERIAIS COMPÓSITOS

Notas de aulas:

Prof. Sérgio Frascino Müller de Almeida



1. Introdução



O que são materiais compósitos ?

- **Materiais compósitos de uso estrutural em aeronáutica tipicamente são placas laminadas de plástico reforçado com fibras**
- **Os materiais mais comuns dessa classe são o carbono/epoxi, o vidro/epóxi e kevlar/epóxi**
- **Aviões mais modernos como o Boeing 787 e o Airbus A350 e A380 possuem um grande número de partes de materiais compósitos**



DEFINIÇÕES BÁSICAS

materiais compósitos

as fases constituintes de um compósito são:

- **reforço:** geralmente descontínua, mais rígida e mais resistente
- **matriz:** contínua e geralmente menos rígida e resistente



DEFINIÇÕES BÁSICAS

materiais compósitos

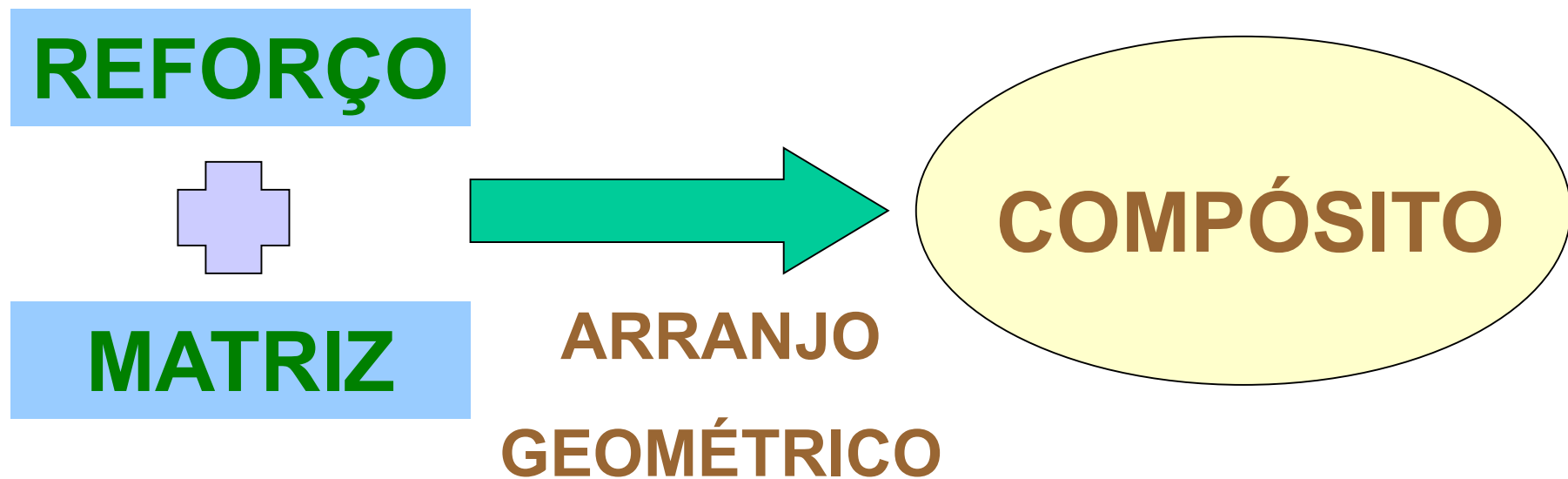
além da matriz e do reforço, a **interface** entre essas fases também afeta as propriedades mecânicas do compósito

uma boa interface (resultado da compatibilidade química entre as fases) é essencial para a resistência e rigidez do compósito



DEFINIÇÕES BÁSICAS

materiais compósitos





DEFINIÇÕES BÁSICAS

funções da matriz

- mantém o reforço agregado e distribui as cargas
- protege o reforço de dano químico e mecânico
- componente dominante nas propriedades de:
 - resistência ao impacto e tenacidade
 - temperatura de serviço
 - comportamento viscoelástico (*creep*)
 - propriedades transversais



DEFINIÇÕES BÁSICAS

anisotropia

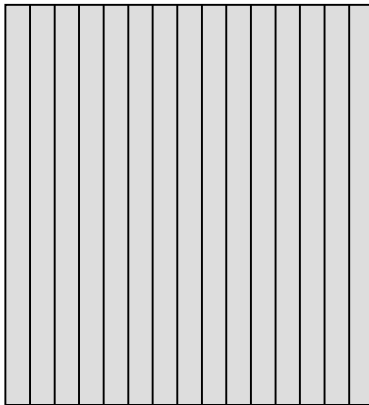
- muitas propriedades dos materiais, tais como rigidez, resistência, expansão térmica e condutividade térmica estão associadas com uma direção ou com a orientação dos eixos de referência
- um material é **anisotrópico** quando as suas propriedades variam com a direção ou com a orientação dos eixos de referência



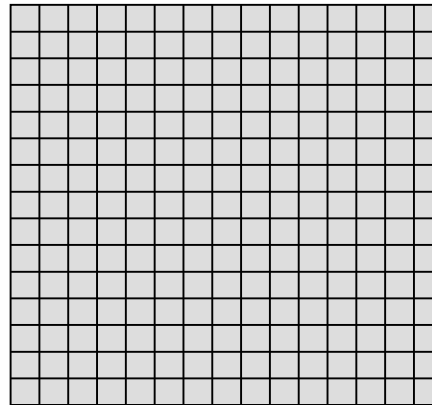
CLASSIFICAÇÃO DE MATERIAIS COMPÓSITOS

quanto ao tipo de reforço – arranjo geométrico

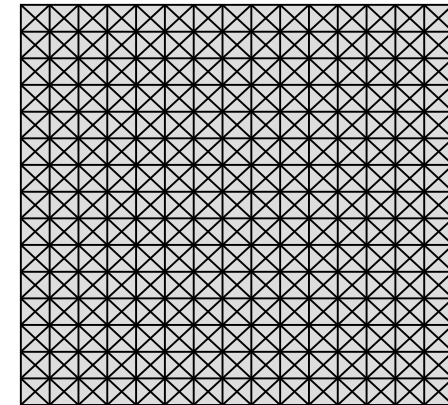
unidirecional



bi-direcional



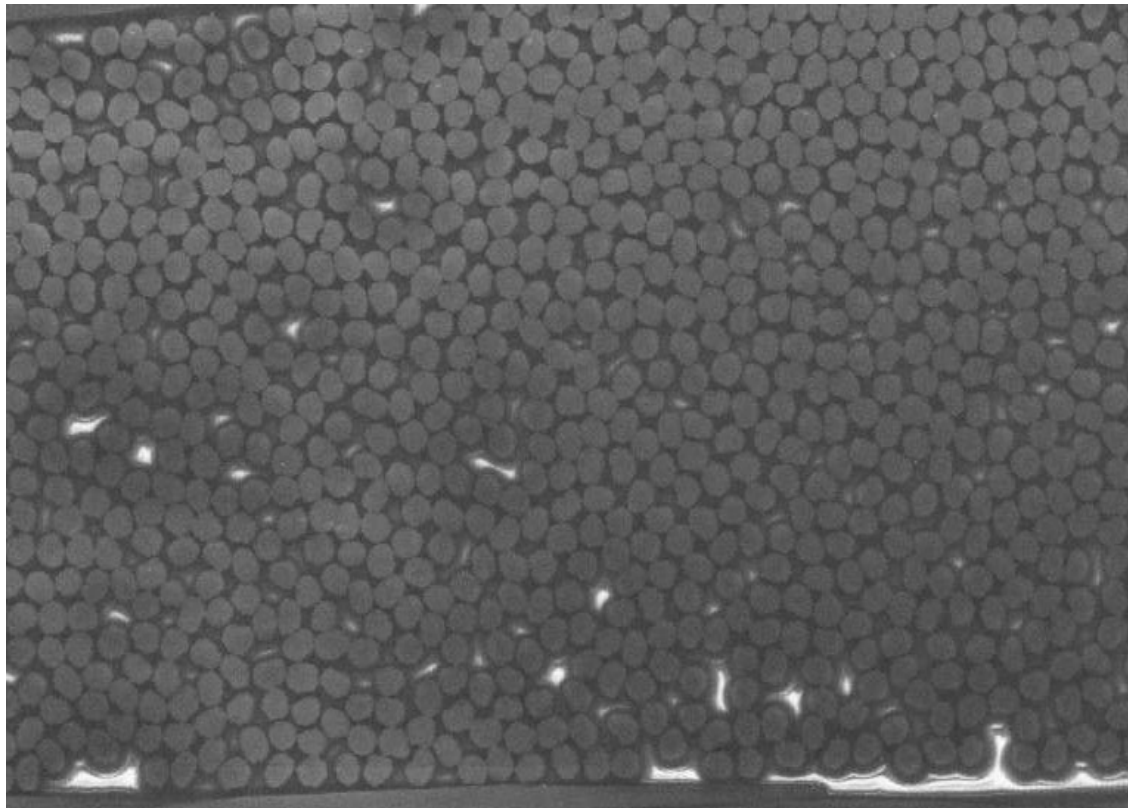
multidirecional





CLASSIFICAÇÃO DE MATERIAIS COMPÓSITOS

quanto ao tipo de reforço – arranjo geométrico



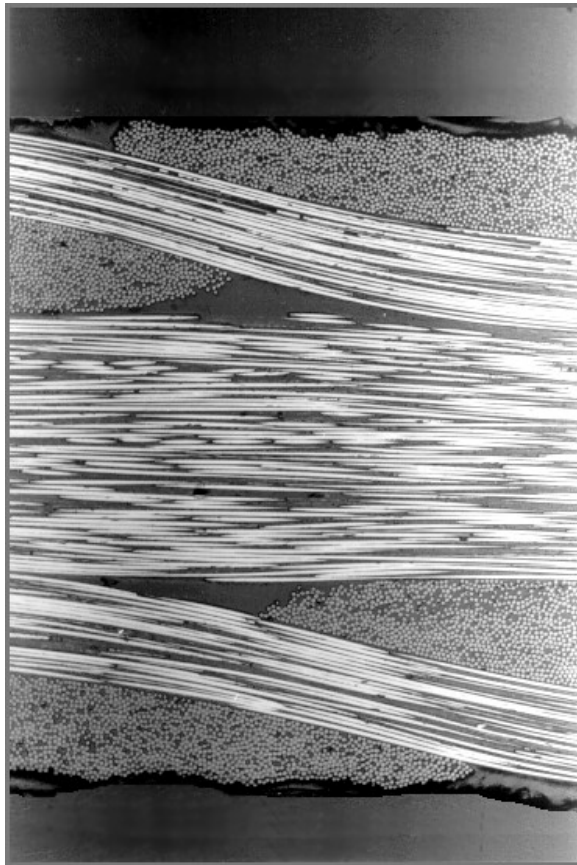
micrografia
de corte
transversal
de lâmina

(material pré-
impregnado)



CLASSIFICAÇÃO DE MATERIAIS COMPÓSITOS

quanto ao tipo de reforço – arranjo geométrico



micrografia de corte
transversal de lâmina
(tecido pré-impregnado)



CLASSIFICAÇÃO DE MATERIAIS COMPÓSITOS

quanto ao tipo de reforço – arranjo geométrico

as fibras são fornecidas em várias formas:

- roving (fio seco)
- lâmina unidirecional pré-impregnada (*tape*)
- tecido (pré-impregnado ou seco)



quanto ao tipo de reforço – arranjo geométrico

roving



fita unidirecional





Projeto e manufatura

- o processo de fabricação afeta a rigidez e resistência e o custo de materiais compósitos
- diferentes processos de fabricação necessitam matrizes com diferentes propriedades físicas e químicas
- não se deve projetar um componente de compósito sem antes definir o processo de manufatura



Motivações para o uso de compósitos

Redução de:

- **peso**
- **custo**

Requisitos:

- **flambagem**
- **instabilidade aeroelástica**
- **resistência**
- **durabilidade**

- **o custo do carbono/epóxi é maior do que o do alumínio ou aço**
- **redução de custo só é possível pelo processo de fabricação**

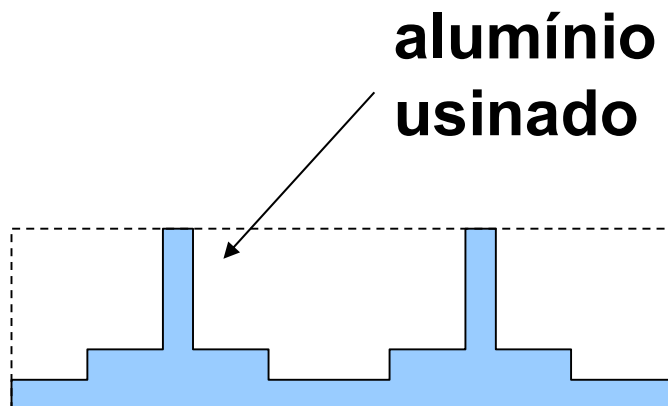


Motivação para uso de compósitos

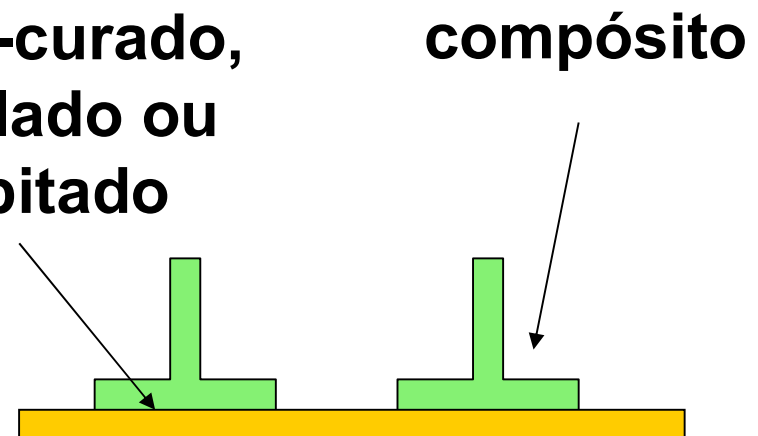
Redução

- peso
- custo

Redução de peso depende do processo de fabricação



reforçador:
co-curado,
colado ou
rebitado





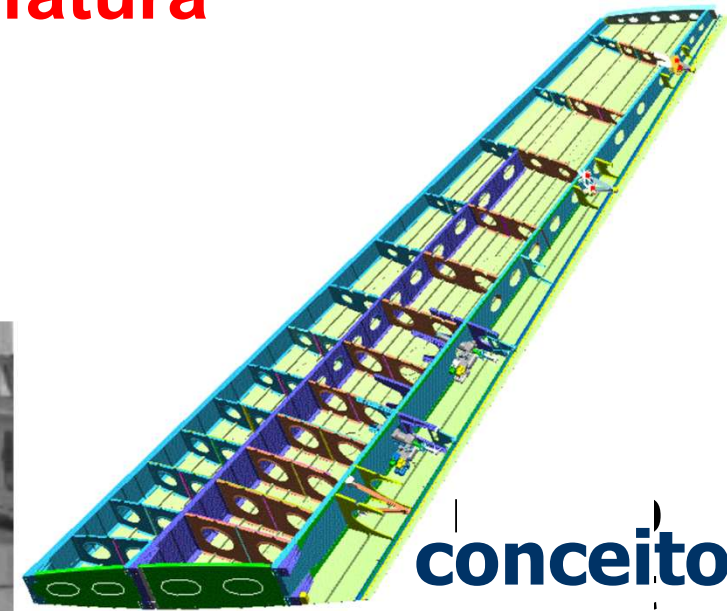
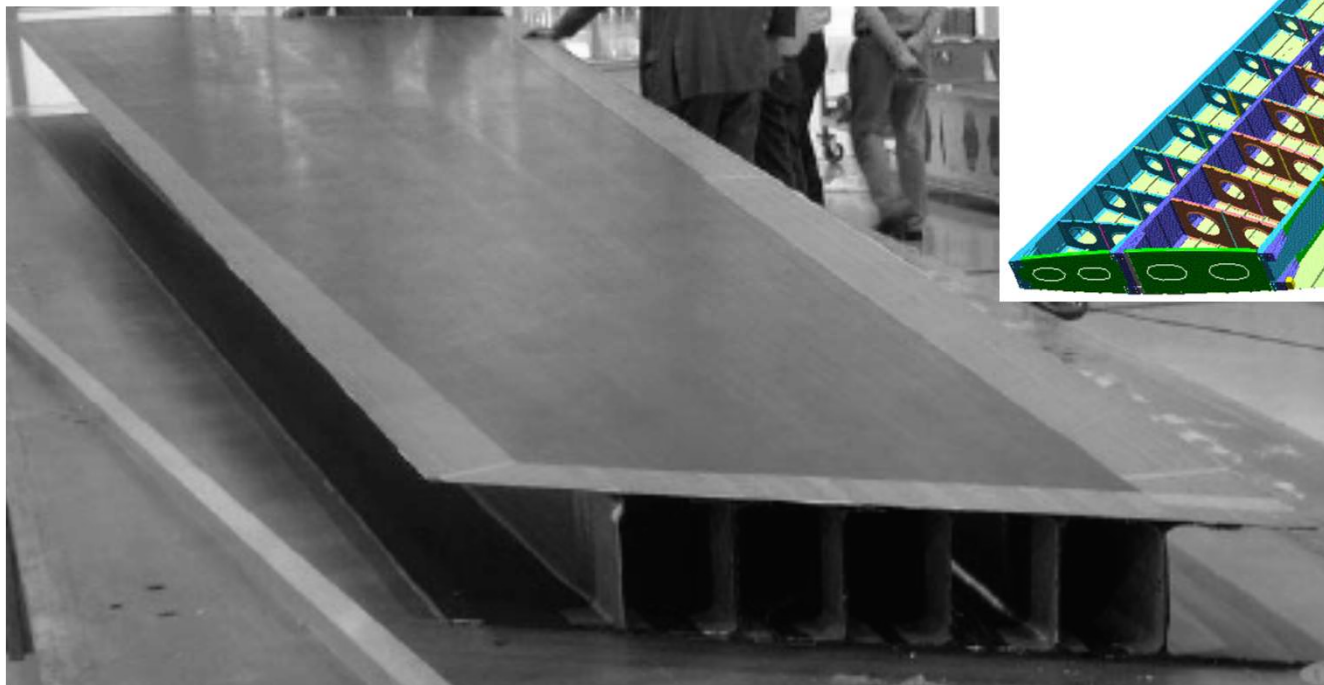
Motivação para uso de compósitos

- **custo do alumínio é mais baixo mas o processo de fabricação é caro**
- **o custo do carbono/epóxi é alto mas o processo é barato; deve-se evitar eventuais delaminações**



Projeto / manufatura

conceito multi-longarina



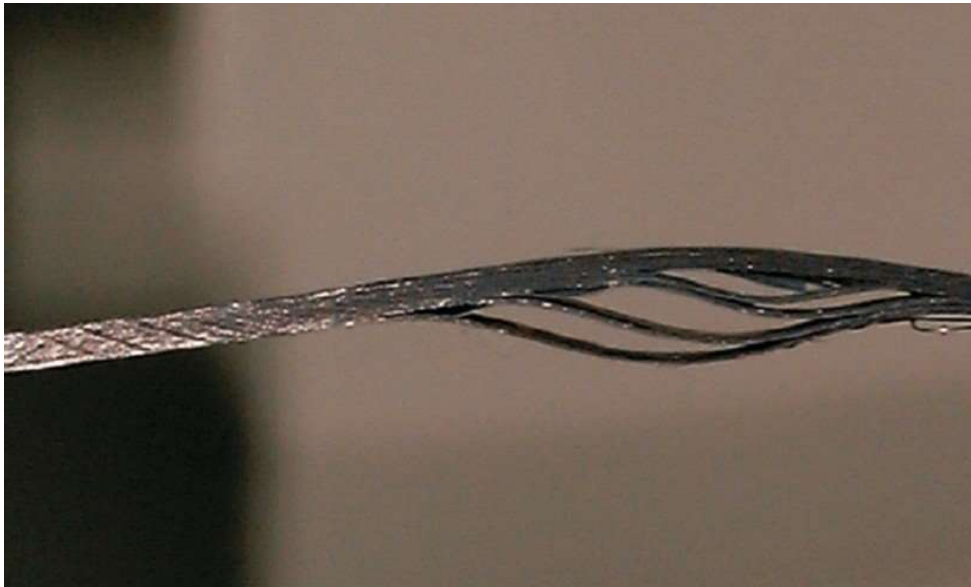
conceito
clássico



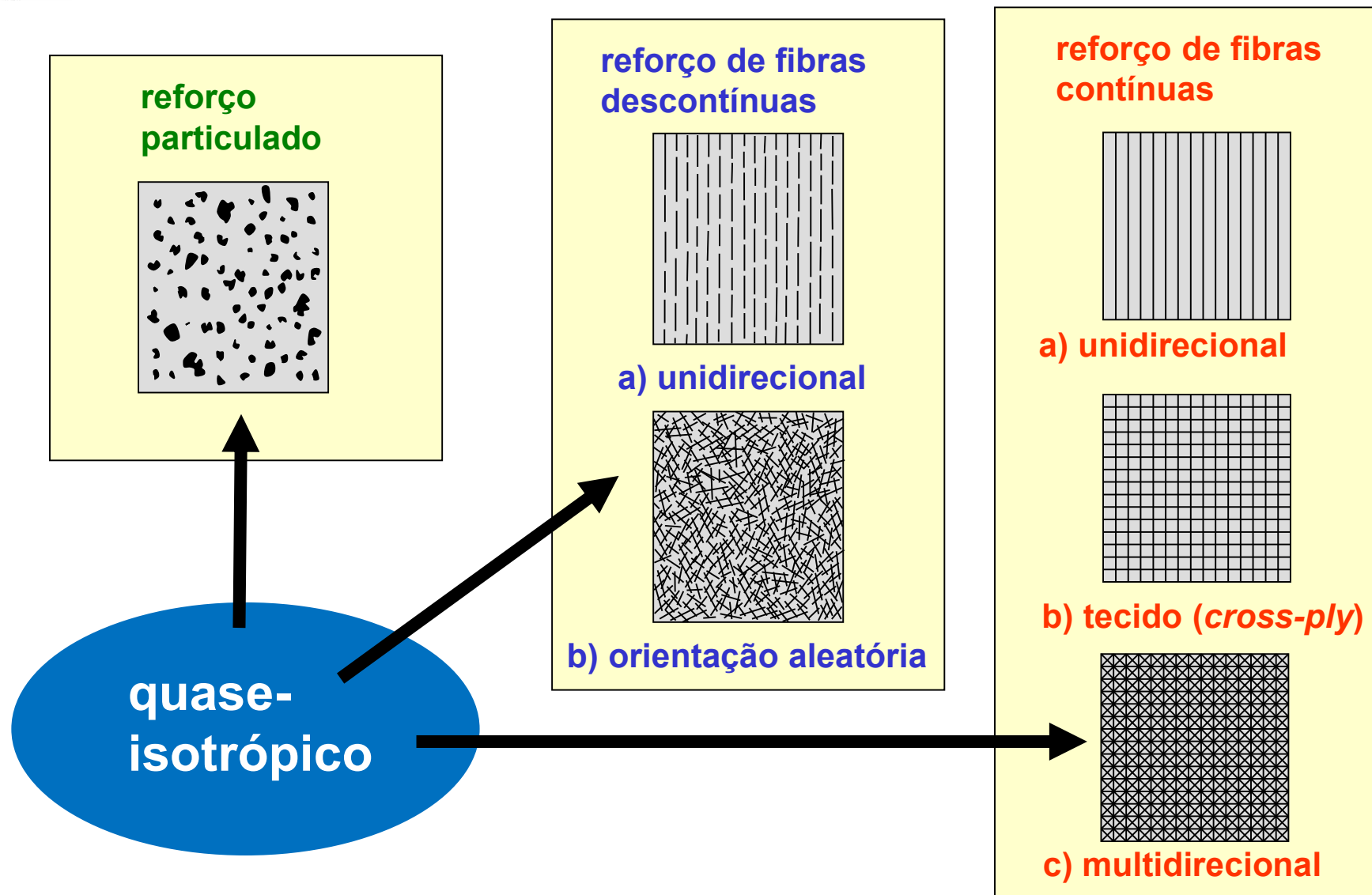
Projeto

pontos críticos

- juntas
- proteção eletromagnética
- resistência ao impacto
- flambagem



- delaminação





módulo de elasticidade - arranjo geométrico

rigidez

Material		E_x (GPa)	E_y (GPa)	G_{xy} (GPa)
Aço		210	210	83
Alumínio		70	70	28
Carbono /epóxi	$[0]_s$	147	10	7,0
	$[0/90]_s$	79	79	7,0
	$[0/90/45/-45]_s$	58	58	23

- a rigidez do aço é maior que o carbono epóxi unidirecional
- a rigidez do alumínio é da ordem do laminado $[0/90]_s$



módulo de elasticidade - arranjo geométrico

rigidez por unidade de peso

Material		E_x / ρ (Mm)	E_y / ρ (Mm)	G_{xy} / ρ (Mm)
Aço		26,9	26,9	10,6
Alumínio		28,0	28,0	11,0
Carbono /epóxi	[0] _s	91,9	6,4	4,4
	[0/90] _s	49,3	49,3	4,4
	[0/90/45/-45] _s	36,4	36,4	14,1

- a rigidez do carbono/epóxi por unidade de peso é maior que a do aço e alumínio
- a rigidez do laminado de carbono/epóxi depende da orientação das camadas