

## **Toho Tenax America, Inc.**

**Apresentação para  
Seminário Multissetorial  
Naval, Nautico e Petróleo & Gás**

**Compósitos de fibra de carbono  
(ênfase em tecnologias para o mercado  
de Petróleo e Gás)**

**Rio de Janeiro – Brasil  
4 de Setembro de 2013**

**Rodrigo Cesar Berardine**



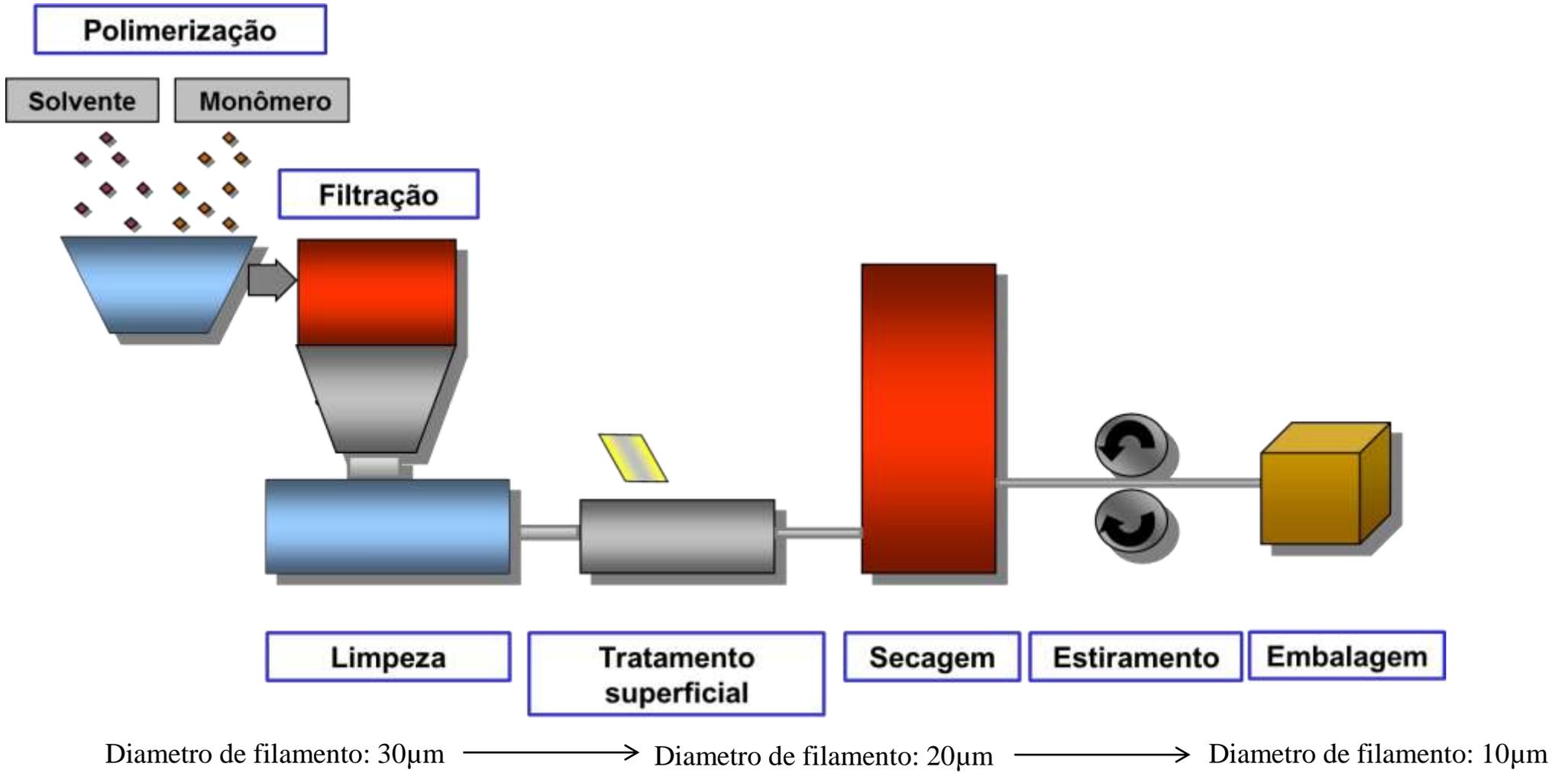
## OBJETIVOS

---

- **Promover entendimento básico de Fabricação da Fibra de Carbono e suas propriedades**
- **Trazer discussão a respeito de novas tecnologias de compósitos de matriz termofixa e termoplástica (abordagem de materiais e processos);**
- **Apresentar mercado e desenvolvimento de novas aplicações**

# FABRICAÇÃO E PROPRIEDADES DA FIBRA DE CARBONO

# Processo de fabricação do Precursor (PAN)



## Características da Poliacrilonitrila

---

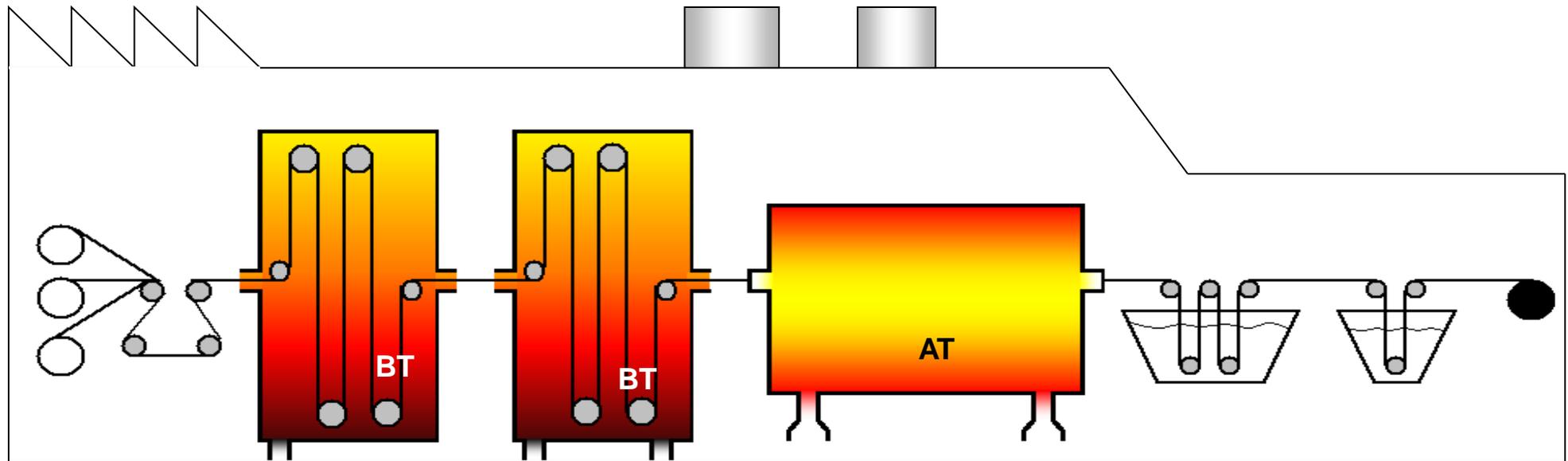
Tensão de ruptura: 750MPa

Módulo de Elasticidade: 10Gpa

Alongamento: 15%

Aspecto: Filamento contínuo cor branca

## Processo de fabricação da fibra de carbono



Estiramento

Oxidação

Carbonização

Tratamento superficial

Bobinamento

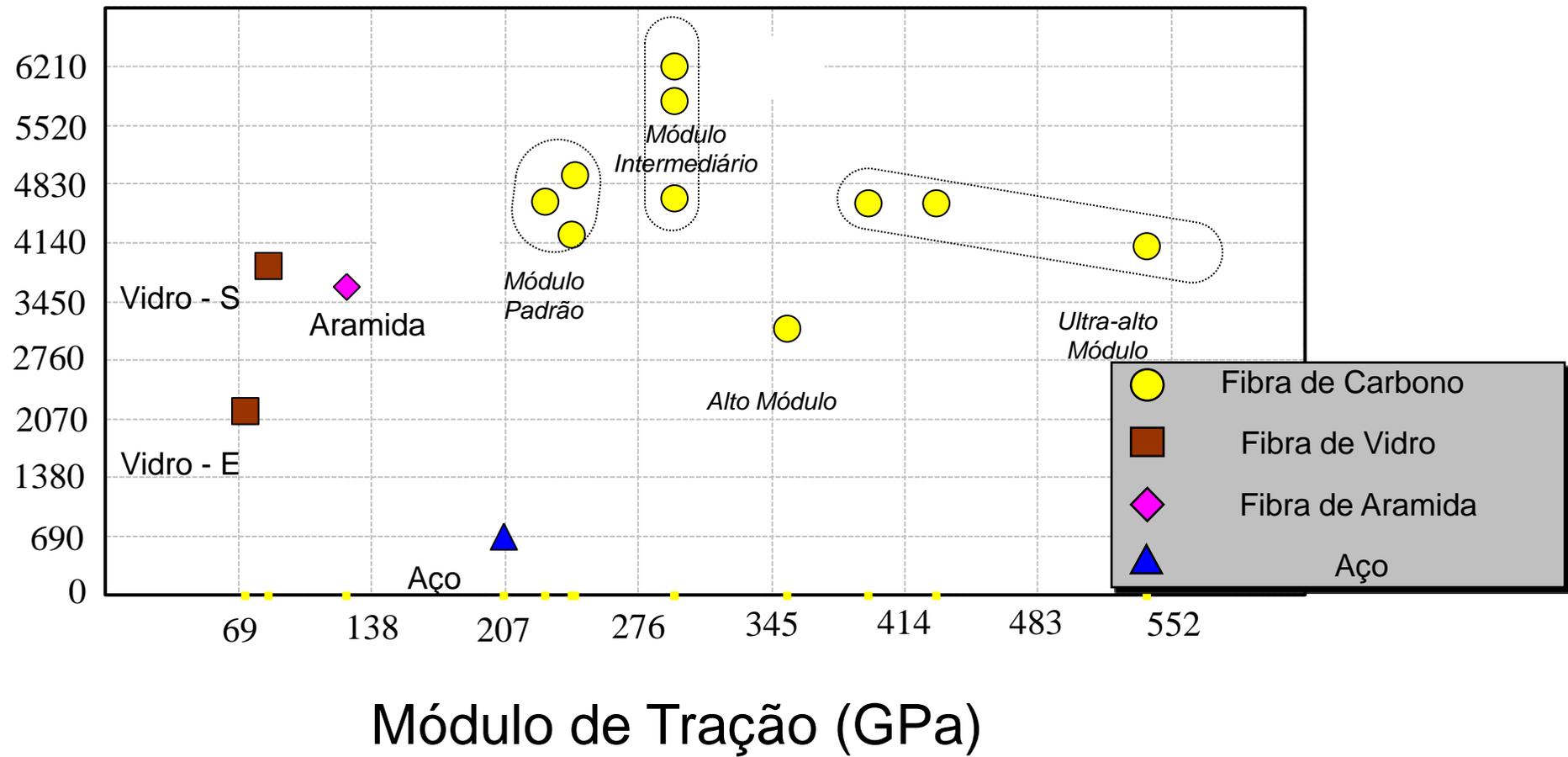
- Planta química complexa: Nitrogenio, energia, gases tóxicos
- Planta substancialmente grande de 200m comprimento, 18m altura
- Três turnos, 24 horas de processo de produção em 360 dias/ano
- 2kgs de PAN para 1kg de fibra de carbono
- Diâmetro final de monofilamento: 7 $\mu$ m (fibras de módulo padrão) a 5 $\mu$ m (fibras de módulo intermediário, módulo alto e módulo ultra-alto)

## Linha de produção



# Filamentos contínuos

Resistência à Tração (Mpa)



\*Informação de propriedade da Toho Tenax

## Classificação de Filamentos Contínuos

---

- **TEX: Densidade linear em g/km**
- **K: Quantidade de monofilamentos (Ex.: 12K = 12000 monofilamentos)**
- **Módulo**
- **Resistência à Tração**
- **Tipo de sizing**
- **Aeronautico ou Industrial**

## Fios Aeronauticos vs Fios Industriais

---

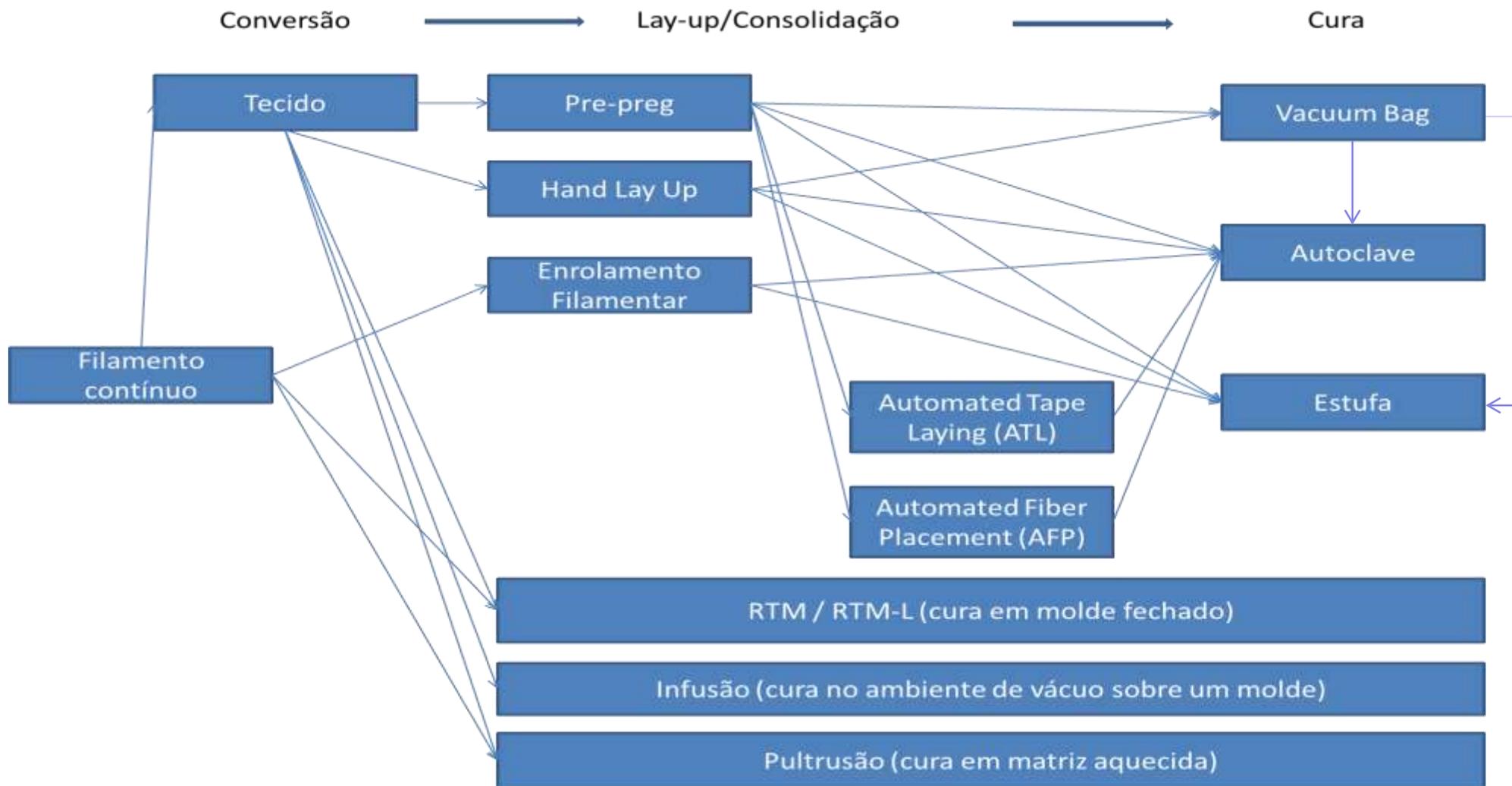
### **Aeronautico:**

- **Documentação de Controle de Processo  
(Solicitado pela FAA – Federal Aviation Administration)**
- **Propriedades Mecânicas Consistentes – pequenos desvios, maior segurança para design**
- **Auditorias sob requisitos específicos da indústria aeronautica.**
- **Maior controle de Qualidade e registros durante 7 anos (requisito legal)**
- **Benefícios em disponibilidade e segue uma política mais estável de preço**

### **Industrial:**

- **Procedimentos padrões de rastreabilidade;**
- **Material “Meet-spec”, independentemente de mudanças de processo de manufatura.**

# Exemplos de processamento de Filamentos contínuos – Compósitos Termofixos

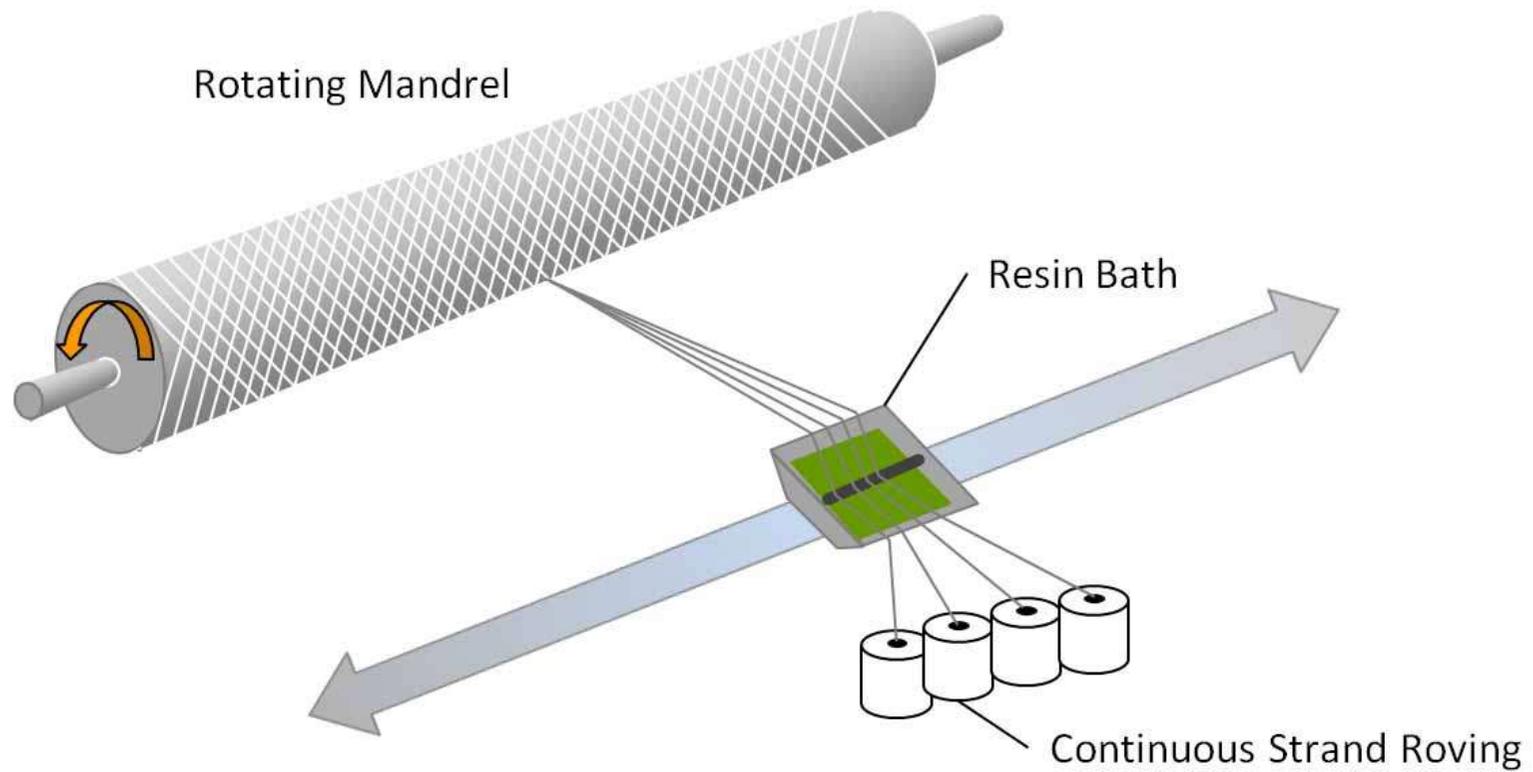


- **FABRICAÇÃO NO BRASIL: NÃO**
- **ESTOQUE LOCAL: SIM – A PARTIR DE SET/13.**
- **DISTRIBUIDORES NO BRASIL: SIM**
- **DOCUMENTAÇÕES DE CONTROLE DE APLICAÇÃO DO PRODUTO E LICENÇAS SÃO NECESSÁRIAS EM TODOS OS CASOS**



# Processo de Filament Winding

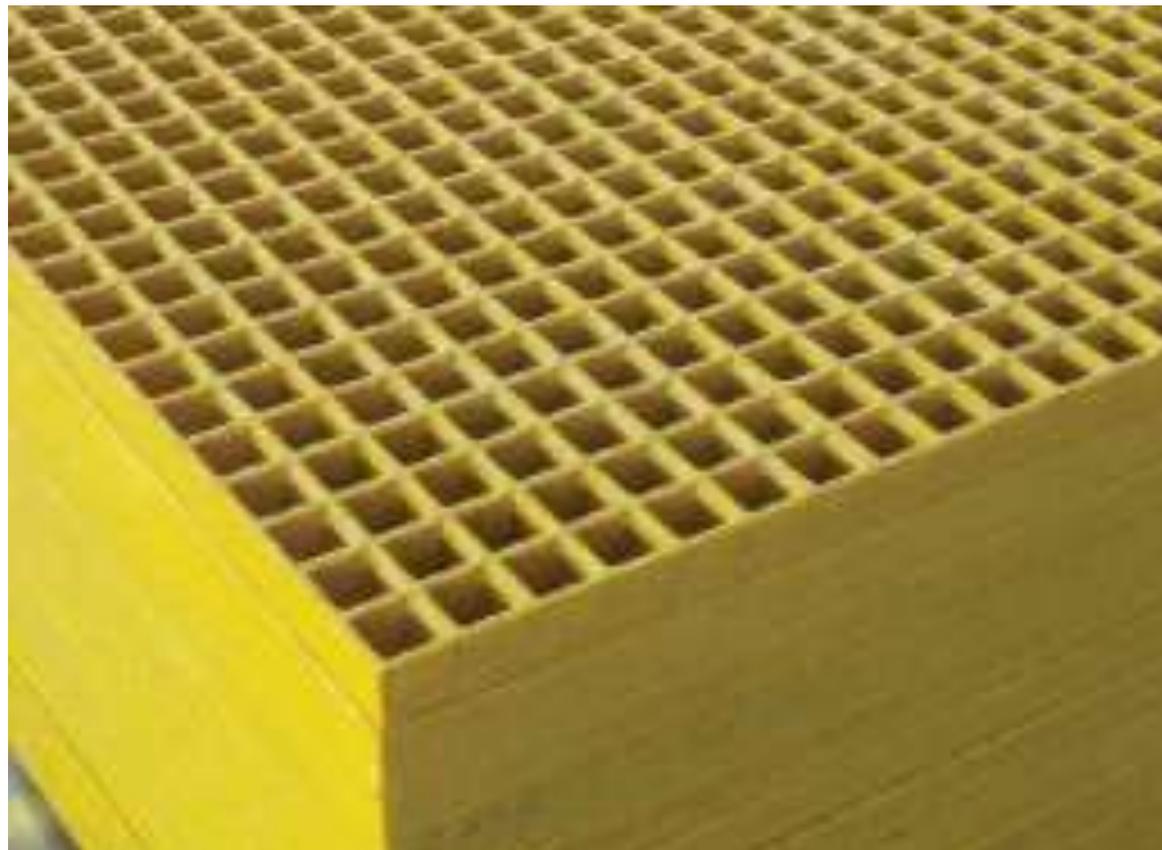
## Filament Winding





\*Compressed natural gas pressure vessels at the JEC Europe 2012 Show (formerly JEC COMPOSITES Show), held March 27-29, in Paris, France.

Photo source: HPC / Photo: Jeff Sloan



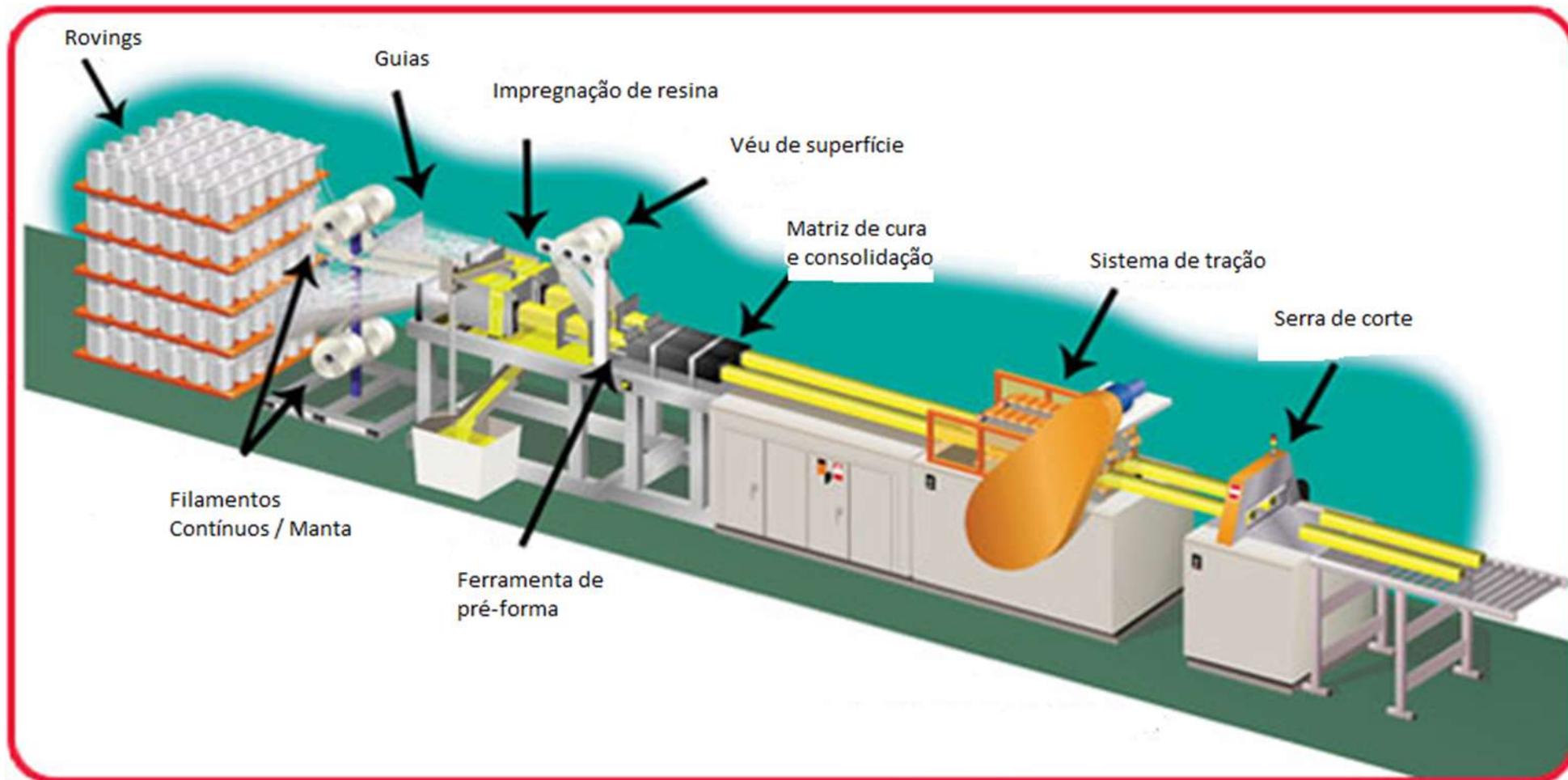


# Diversified Structural Composites

## Desenvolvimento e Fabricação de Pultrusões Especiais

[www.diversified-composites.com](http://www.diversified-composites.com)

# Processo de Pultrusão



TYPICAL PROPERTIES AND POINTS OF REFERENCE FOR DISCUSSION PURPOSE ONLY

		CARBON FIBER RODS				CARBON FIBER FLAT STRIPS		
<b>DIMENSIONS</b>	mm	1.73	6.50	6.50	12.70	12.7 X 1.90	19 X .76	102 X 1.57
<b>FIBER TYPE</b>		STD MOD	STD MOD A	STD MOD B	STD MOD	STD MOD	STD MOD	STD MOD
<b>FIBER VOLUME</b>		67%	68%	68%	61%	61%	67%	61%
<b>RESIN TYPE</b>		Epoxy	Vinylester	Vinylester	Epoxy	Epoxy	Vinylester	Epoxy
<b>Tg (DMA)</b>		145	118	100	145	185	118	110
<b>TENSILE STRENGTH</b>	Ksi	322	372	363	319	325	369	326
	Mpa	2218	2566	2500	2200	2241	2544	2250
<b>TENSILE MODULUS</b>	Msi	22.0	23.2	22.0	21.0	17.7	21.0	19.1
	Gpa	152	160	152	145	122	145	132
<b>DENSITY</b>	SG	1.57	1.56	1.56	1.53	1.55	1.57	1.53

\*Informação de propriedade da Toho Tenax

## Exemplos de aplicações da Fibra de Carbono



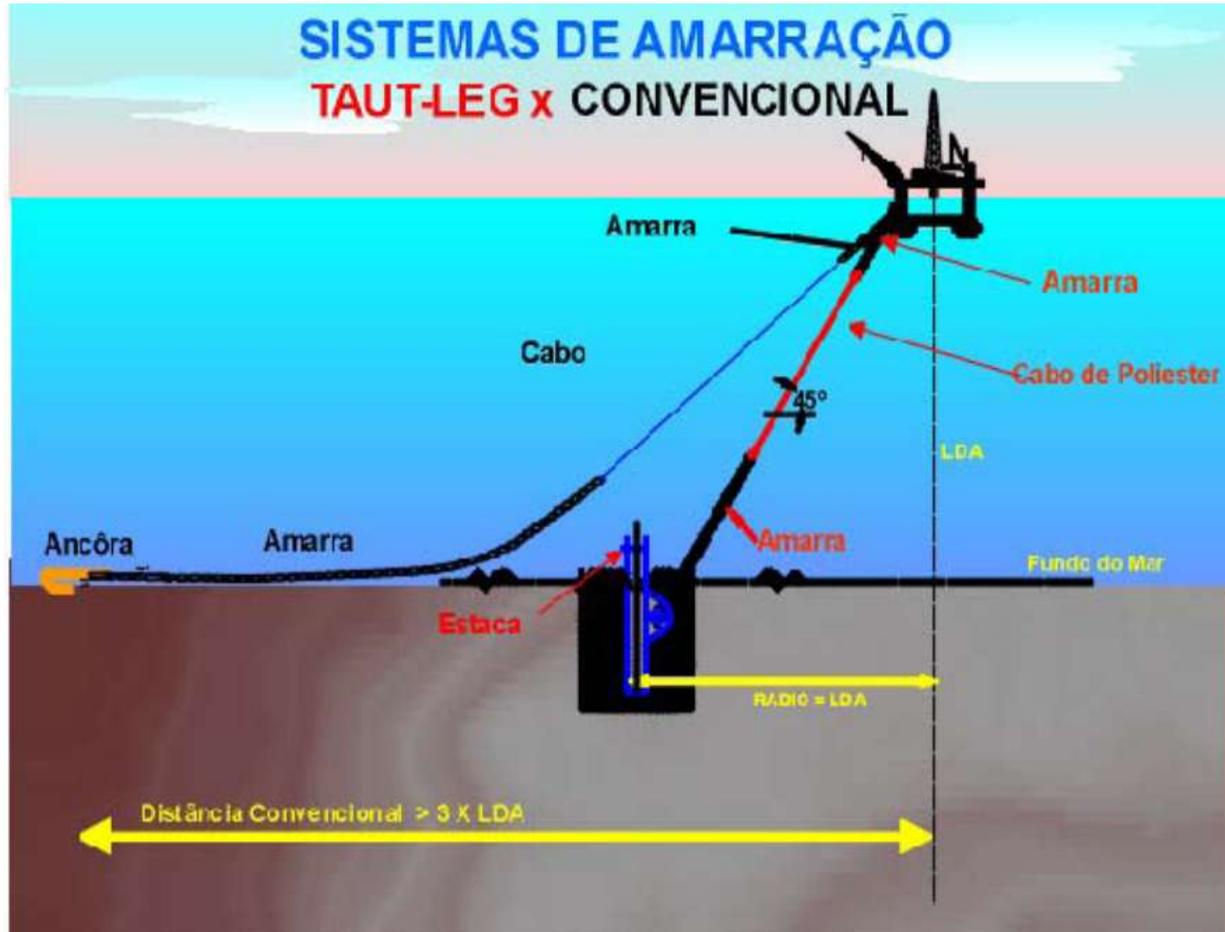
## Mangotes Flutuantes e Submersos



Projetos de redução de peso nas estruturas de reforço dos mangotes (atualmente aço)



# Sistemas de Amarração de Plataformas



Necessidade de se reduzir  
área ocupada pelas  
amarrações

Alteração de design de hardware  
gera potencial utilização  
de compósitos em fibra  
de carbono

# Bend Stiffeners

## Tecnologia Atual

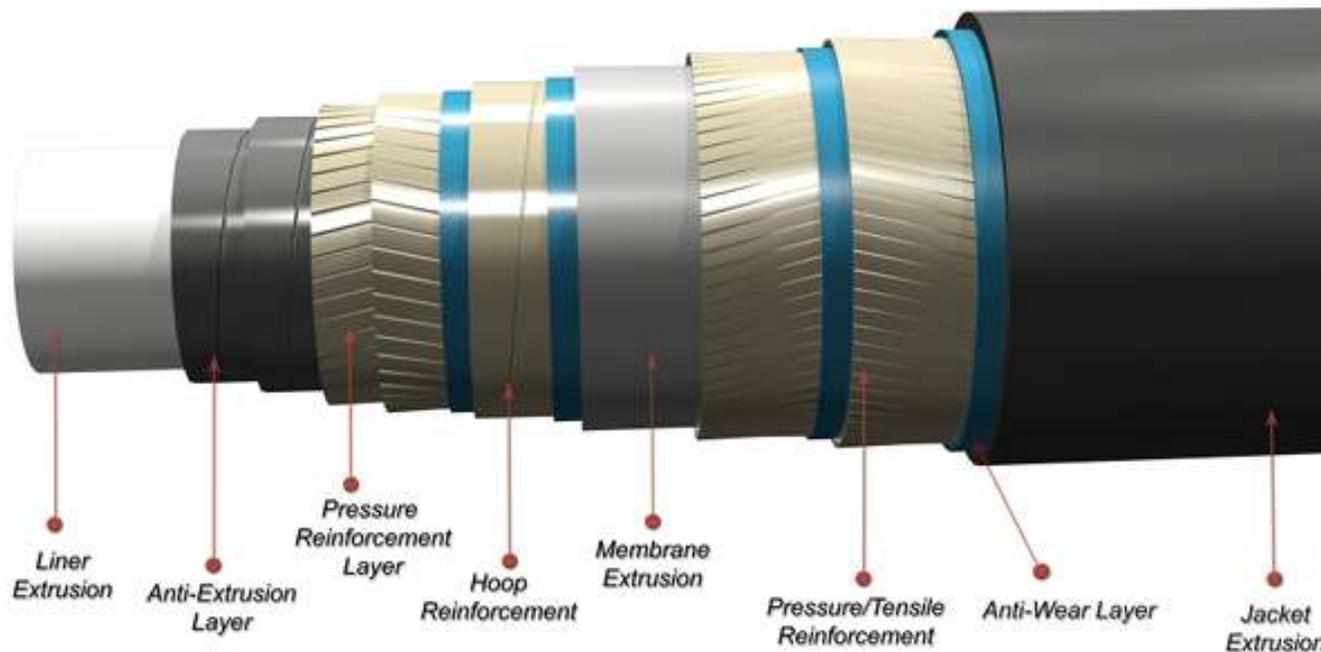


## Tecnologia Proposta (Tecnologia Flexlife)



## Risers Flexíveis

“Substituição de armações de aço por compósitos em fibra de carbono permite design para trabalho em catenária, sob tensão e pressão superior”



# Umbilicais

Atual



Proposto

(Foto - Tecnologia Aker Kvaerner)

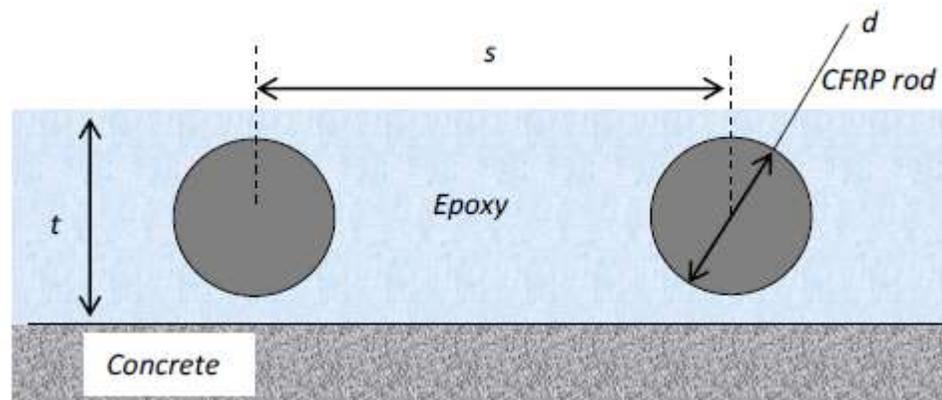


\*Informação de propriedade da Toho Tenax

## Reparos Estruturais



# Reparos Estruturais



Carbon panel placement

Designation	Diameter, $d$ (in)	Rod area ( $\times 10^{-3}$ in <sup>2</sup> )	Rod Spacing, $s$ (in)	Bars per panel	Weight (lb./panel)	Strength (kip/ft.)
CRP70	0.078	4.78	0.25	48	0.66	73.4
CRP90	0.088	6.08	0.25	48	0.81	93.4
CRP110	0.098	7.54	0.25	48	1.00	115.8
CRP145	0.136	14.53	0.375	32	1.30	148.7
<b>CRP195</b>	0.156	19.11	0.375	32	1.71	<b>195.7</b>

## TECIDOS E PREPREGS

# TECIDOS

---

RESISTÊNCIA MECÂNICA DOS TECIDOS DEPENDE DE:

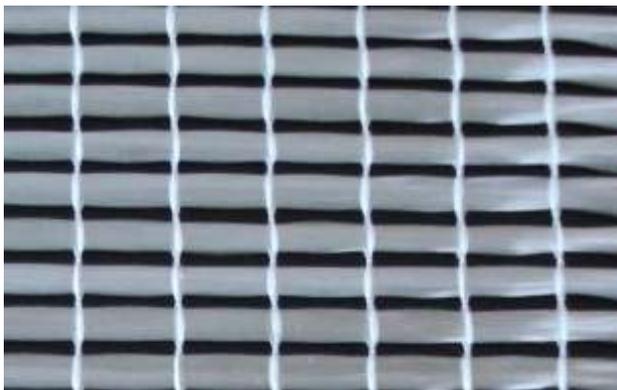
- NUMERO DE FIOS/CM
- CONFIGURAÇÃO DO TECIDO
- RESISTÊNCIA MECÂNICA DO FILAMENTO CONTÍNUO

## Tecidos Unidirecionais

---



Tecidos Unidirecionais de Urdume



Tecidos Unidirecionais de Trama

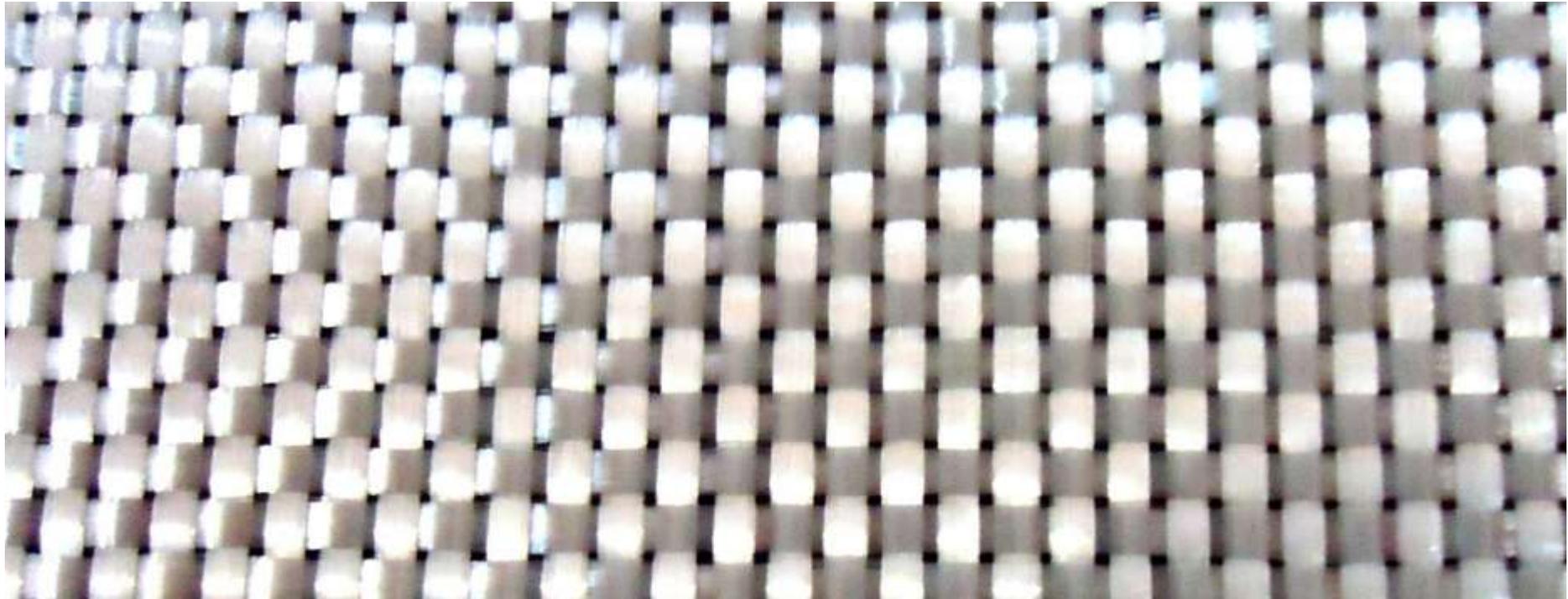
## Reparos Estruturais



Laminação de Tecido Unidirecional

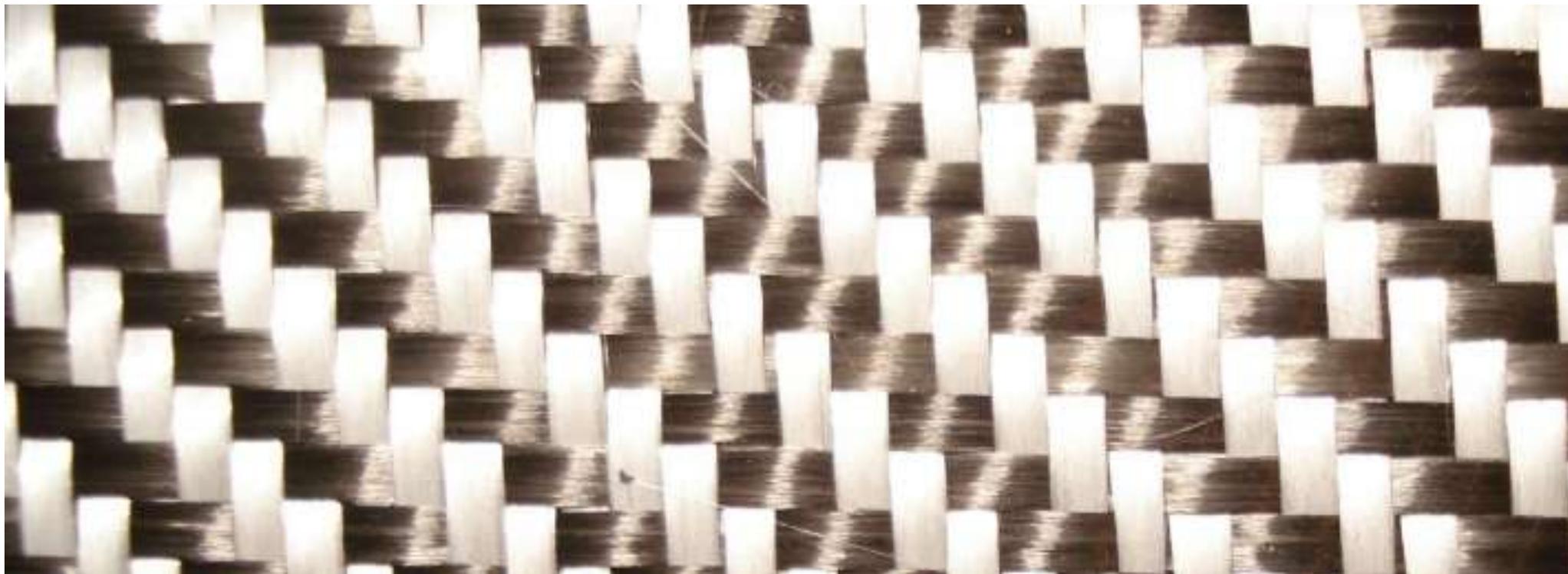
# Tecidos Bidirecionais

## Tecido tipo Tela (Plain Weave)



\*Imagem de propriedade Texiglass

## Tecido tipo Sarja



Sarja 2x2

## Tecidos 8HS

---



# Técnica avançada de tecelagem por Espalhamento de fibra

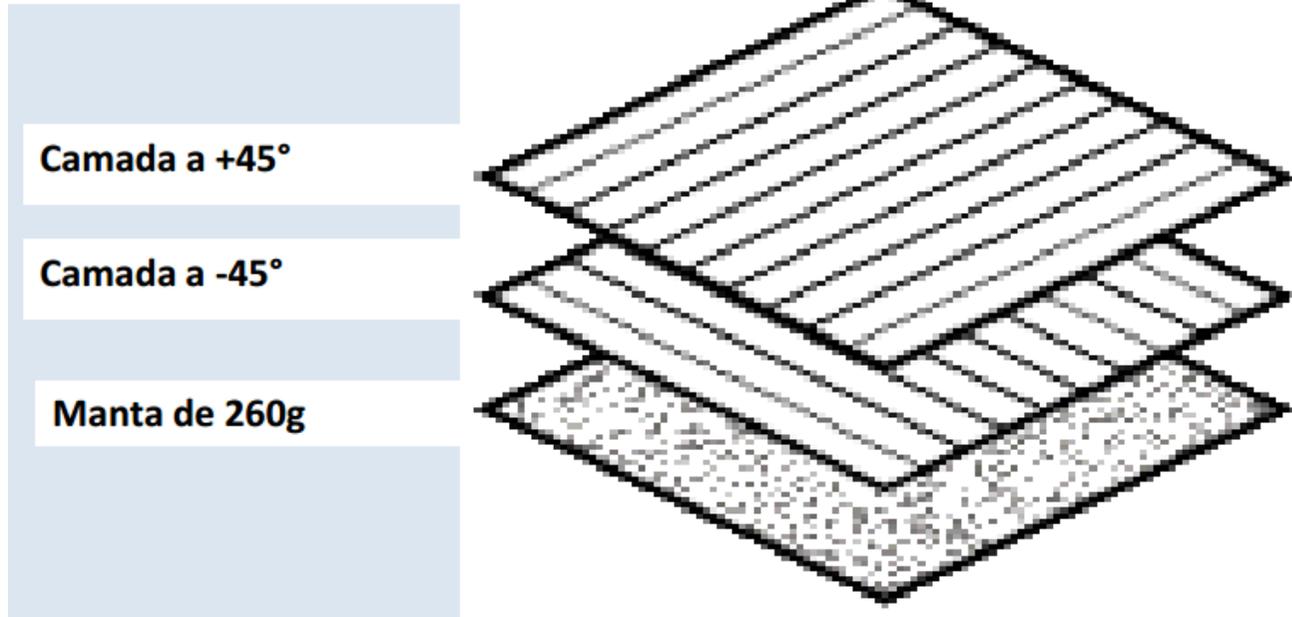


**(Spread Tow)**

**(Regular tow)**

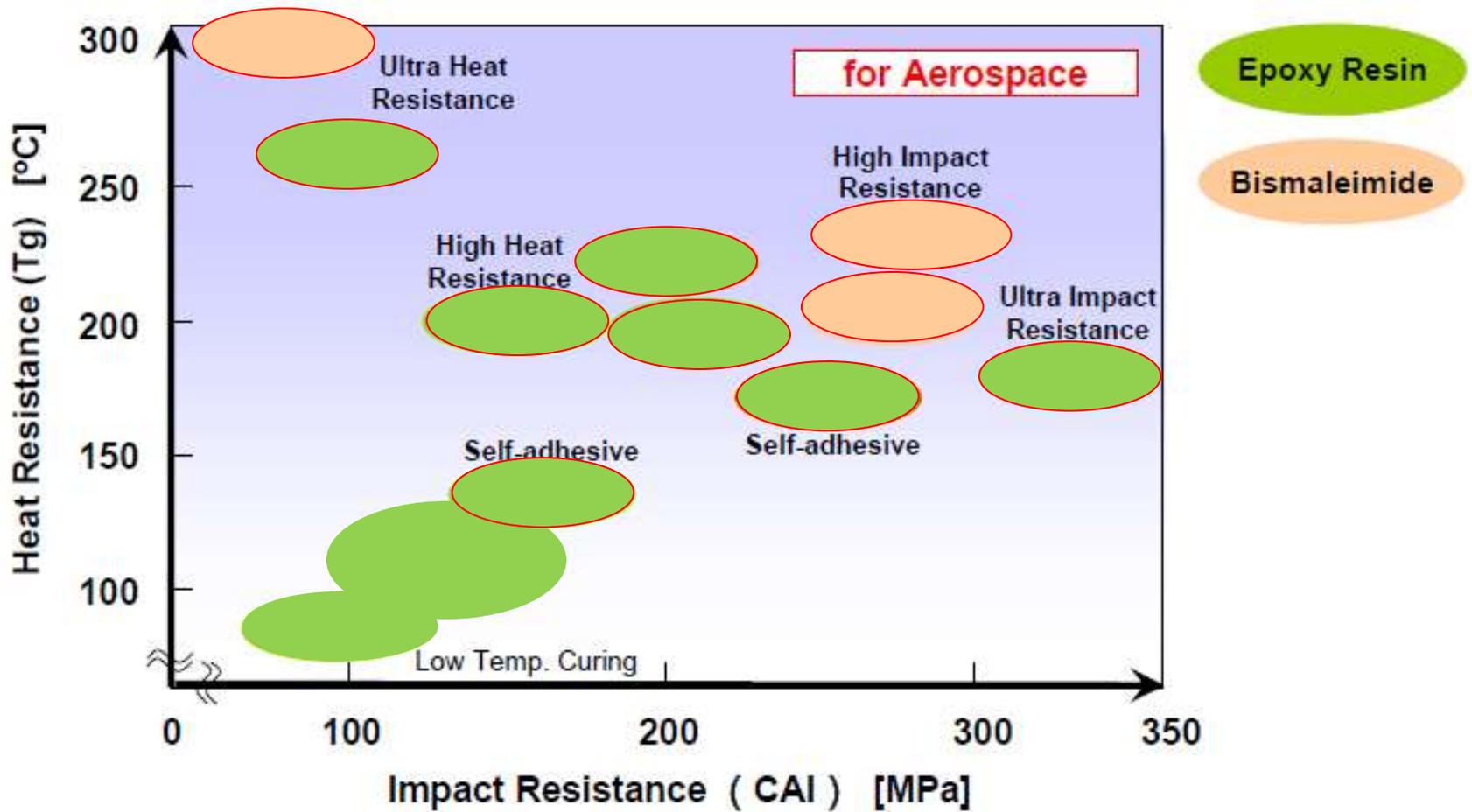
- 1** The Spread Tow structure makes it possible to achieve thinner laminates.
- 2** Straighter fibers with reduced crimp optimize and strengthen the composite.
- 3** Lower crimp reduce the amount of excess plastic, thereby minimizing weight.

## TECIDOS MULTIAXIAIS



Multiplas camadas de tecido acopladas, podendo ainda conter manta acoplada;  
Utilização típica em processos de infusão– moldes, industria Nautica,  
Mercado aeronautico, Mercado de pás eólicas

# Prepregs termofixos



\*Informação de propriedade da Toho Tenax

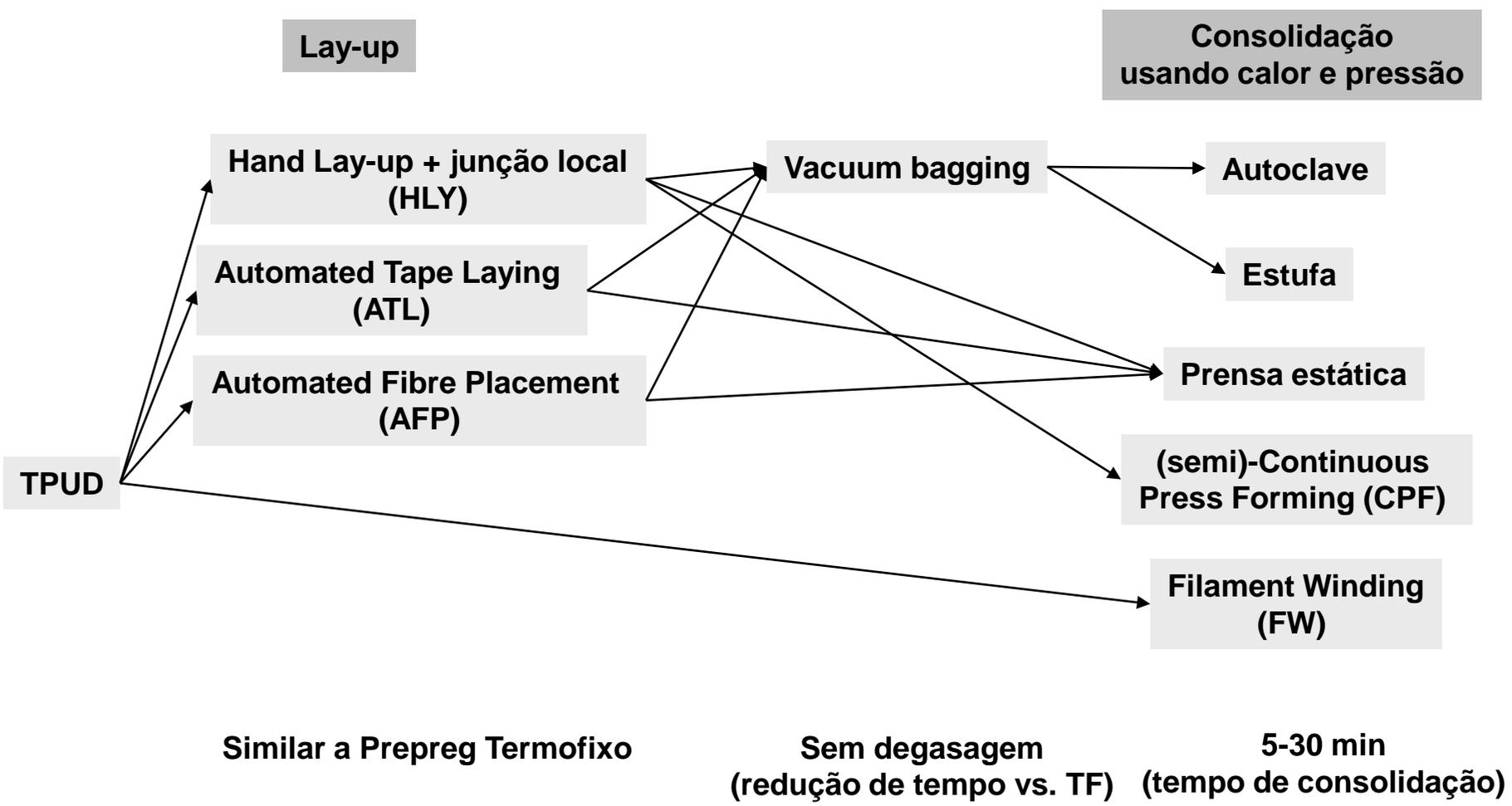
- **FABRICAÇÃO NO BRASIL DE TECIDOS PLANOS/PREPREGS: SIM – SOMENTE INDUSTRIAIS (NÃO-AERONAUTICOS)**
- **FABRICAÇÃO NO BRASIL DE TECIDOS MULTIAXIAIS: NÃO**
- **DISTRIBUIDORES NO BRASIL: SIM**
- **DOCUMENTAÇÕES DE CONTROLE DE APLICAÇÃO DO PRODUTO E LICENÇAS SÃO NECESSÁRIAS PARA IMPORTAÇÃO**

# Tecnologia de Materiais Compósitos Termoplásticos

---

# **Tenax<sup>®</sup> ThermoPlastic UniDirectional (TPUD)** **(Termoplásticos com reforço unidirecional)**

# Tenax® TPUD: Fabricação de Peças



# Tenax® TPUD

## Tenax®-E TPUD PEEK-HTS40

Nome comercial	FAW weight [g/m <sup>2</sup> ]	Reforço	Fibra	Conteúdo de matriz [%wt]	Matriz	Espessura nominal [mm]
TPUD PEEK-HTS40	145	UD	HTS40 12k	34	PEEK <small>Vestakeep® 2000</small>	0.136
<i>*TPUD PEEK-IMS65</i>	145	<i>UD</i>	<i>IMS65 24k</i>	34	<i>PEEK</i>	0.134

- Largura: 6.35 (1/4”) to 304.8 mmW
- Fibra Tenax® com sizing específico para uso em matriz termoplástica

\*in development

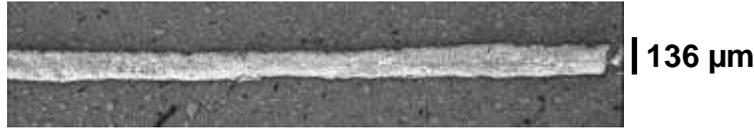
\*Informação de propriedade da Toho Tenax



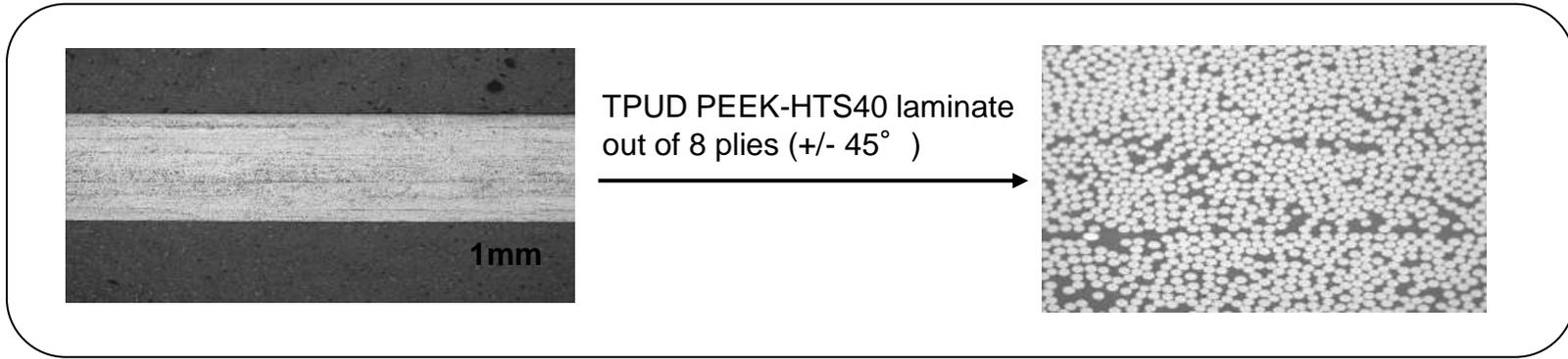
# Tenax® TPUD

## Tenax®-E TPUD PEEK-HTS40

TPUD PEEK-HTS40



Press consolidated laminate



- Consolidação em prensa e vácuo é possível
- PEEK – Baixa sensibilidade à cristalização  $35 \pm 3 \%$
- Baixo teor de vazios no reforço e no laminado  $< 2 \%$



## NET SHAPE PREFORM TECHNOLOGY

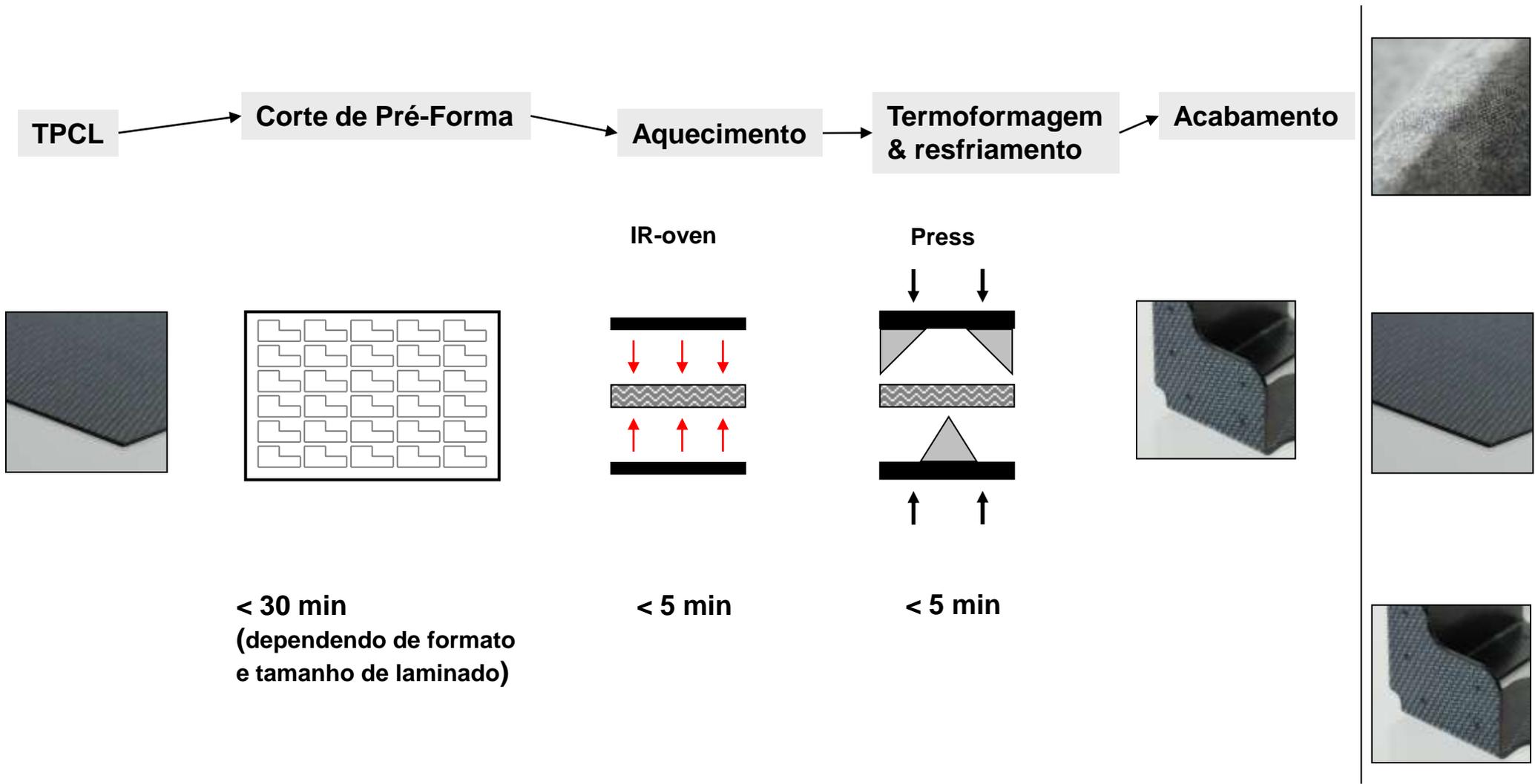


# Tenax<sup>®</sup> ThermoPlastics

---

## Tenax<sup>®</sup> ThermoPlastic Consolidated Laminate (TPCL) (Laminados Consolidados Termoplásticos)

# Tenax® TPCL: Fabricação de peças



\*Informação de propriedade da Toho Tenax

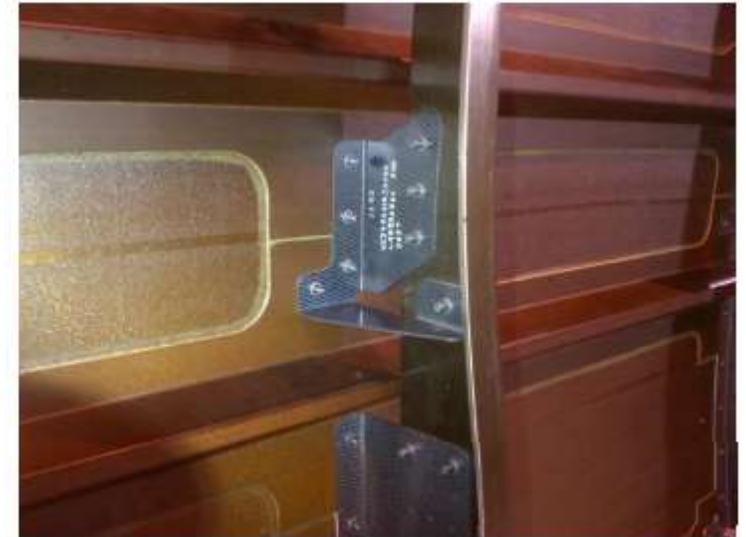
## Fabricação na Premium Aerotec GmbH.



# Airbus A350 XWB – Clipe que fixa os Frames à Fuselagem



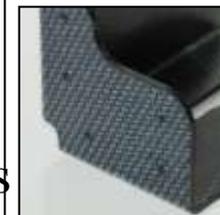
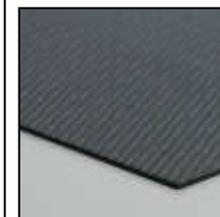
- Airbus A350



# Tenax<sup>®</sup>-E TPCL PEEK-HTA40

## Laminados

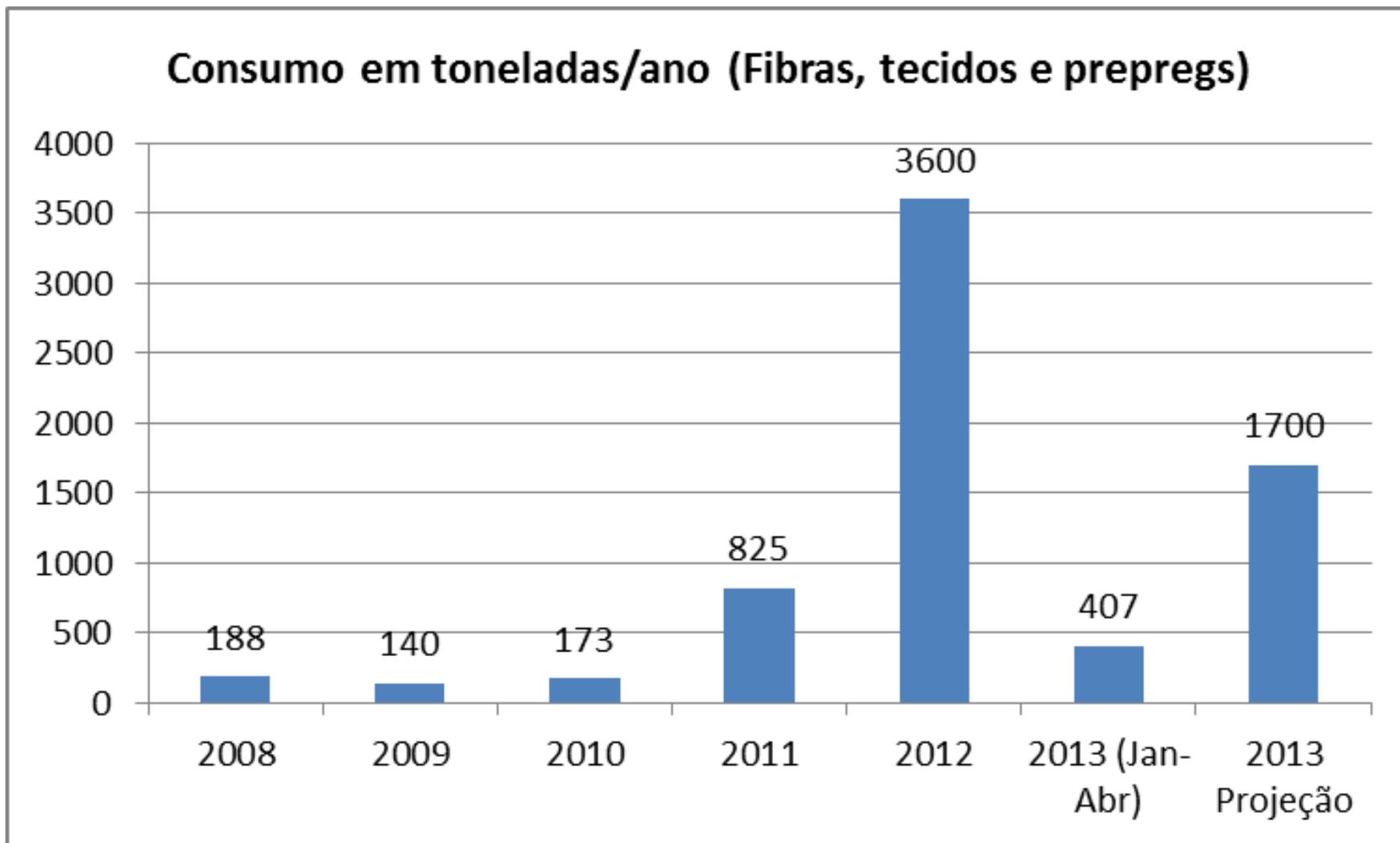
Espessura nominal [mm]	Numero de camadas	Empilhamento das camadas	Codigo de empilhamento	Material na superficie	Codigo de superf.
1.86	6	[(0,90)/(+45,-45)/(0,90)]	A	None (bare)	B
1.94	6	[(0,90)/(+45,-45)/(0,90)]	A	PEEK/Glass layer on 1 side	1G
...	...	...	...	...	...



- Tamanho do laminado: 800mm (urdume) x 1200 mm (0.96 m<sup>2</sup>)
- Espessura: De 1.24mm a 4.96 mm (4 a 16 camadas)
- Camadas de Vidro/PEEK & Bronze/PEEK podem ser adicionadas em um ou dois lados

## MERCADO BRASILEIRO DE FIBRA DE CARBONO

## MERCADO BRASILEIRO DE FIBRA DE CARBONO



Fonte: Aliceweb

---

Obrigado!

**Tenax**<sup>®</sup> CARBON FIBERS  

---

**REINFORCING EXCELLENCE**

Rodrigo Cesar Berardine

[rberardine@tohotenax-us.com](mailto:rberardine@tohotenax-us.com)

(11) 98706-1766

(11) 5070-3862

## Oxidação



\* [http://www.despatch.com/carbon\\_fiber.aspx#&panel1-5](http://www.despatch.com/carbon_fiber.aspx#&panel1-5) – Acessado em 28/5/2013