

# Aumento da Resistência ao Impacto de Compósitos Termoplásticos Estruturais Através da Utilização de Tecidos de Tapes Unidirecionais e Laminados.

Alexsandro Oliveira

Engenheiro de Desenvolvimento  
BU Automotive



## ■ 1ª PARTE

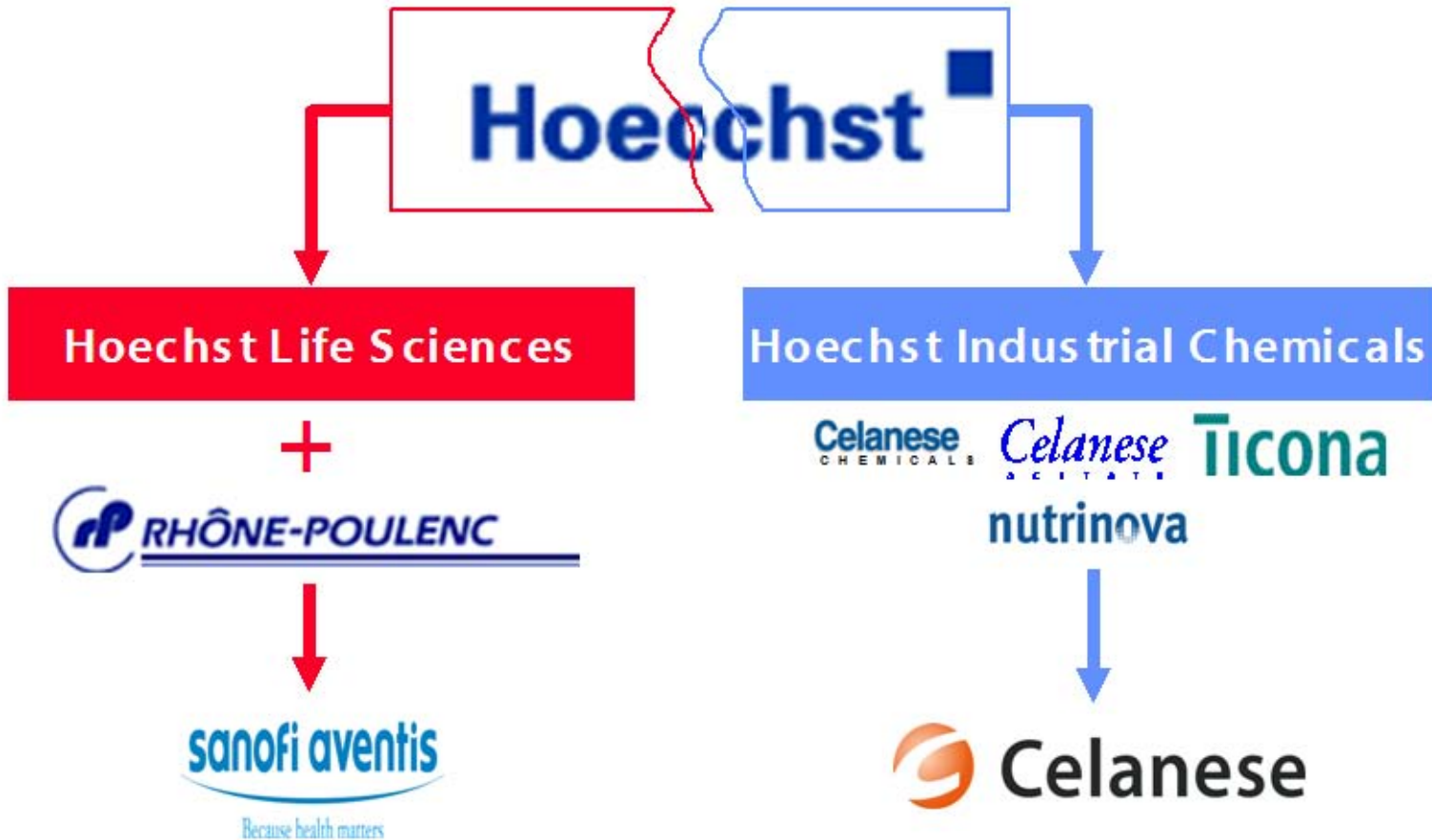
- Ticona Overview
- Portfólio
  - Compósitos
    - Celstran® LFRT (**L**ong **F**iber **R**einforced **T**hermoplastic)
    - Celstran® CFR-TP (**C**ontinuous **F**iber **R**einforced **T**hermo**P**lastics)

## ■ 2ª PARTE

- Aumento da Resistência ao Impacto de Compósitos Termoplásticos Estruturais Através da Utilização de Tecidos de Tapes Unidirecionais e Laminados
  - Introdução
  - Objetivos
  - Materiais
  - Métodos
  - Resultados e Discussão
  - Conclusão
  - Agradecimentos

# Ticona Overview

1961, como um empreendimento em conjunto da Celanese USA e a Hoechst AG



# Ticona Overview

## Presença Global



# Ticona Overview

- **Setor / Posicionamento:**

Fornecedora líder de plásticos de engenharia;

Líder de mercado mundial de mercado em Hostaform®/Celcon®POM, GUR® PE-UHMW e Vectra® / Zenite® (LCP)

- **Vendas em 2011:**

US\$ 1.298 billion

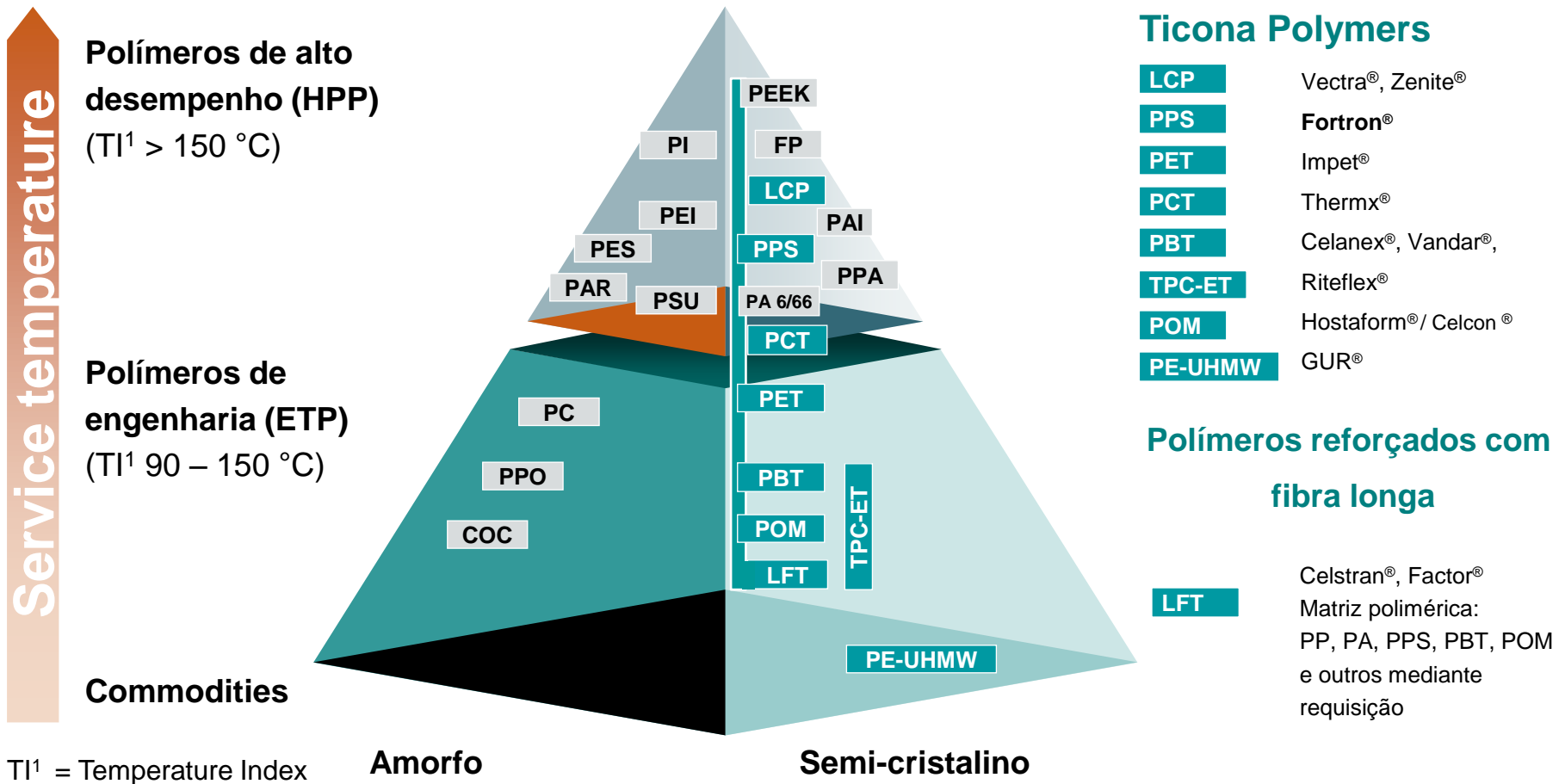
- **Principais Mercados:**

Europa, Américas, Ásia/Pacífico.

- **Principais Segmentos:**

Participação estratégica nos setores tecnológicos (automotivo, eletroeletrônico, telecomunicações, médico, aplicações industriais e eletrodomésticos).

## Ticona é líder polímeros de engenharia e alto desempenho



TI<sup>1</sup> = Temperature Index

# Compósitos

## Definição

Material multifásico, artificial ou natural, que exiba uma proporção significativa de ambas fases constituintes, de tal modo que é obtida uma melhor combinação de propriedades

**A sinergia é imprescindível.**

## Compósitos poliméricos

Matriz termorrígida + reforço fibroso

**Matriz termoplástica + reforço de fibra curta  
carga mineral  
etc.**



**COMPÓSITO**

# Compósitos

Termoplásticos reforçados com fibras longas

LFRT – Long Fiber Reinforced Thermoplastics

Termoplásticos conseguem tornar-se matrizes para compósitos

=

—

**COMPÓSITO**

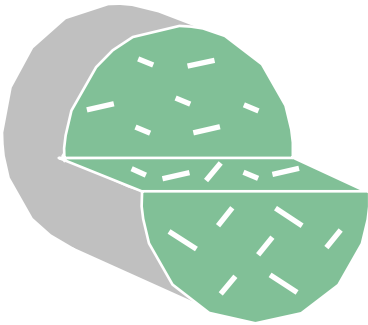


Propriedade	Unidade	PP sGF30	Celstran PP GF30-02	Diferença em propriedades
Densidade	g/cm <sup>3</sup>	1,21	1,21	=
Res. Tração	MPa	85	140	≈ 65 %
Módulo Elasticidade	GPa	6,5	9,8	≈ 51%
Res. Impacto Charpy c/ entalhe	kJ/m <sup>2</sup>	6	31	≈ 500%

- Metodologia ASTM
- Propriedades típicas de PP sGF30

## Celstran® LFRT (Long Fiber Reinforced Thermoplastic)

### Fibra Longa x Fibra Curta

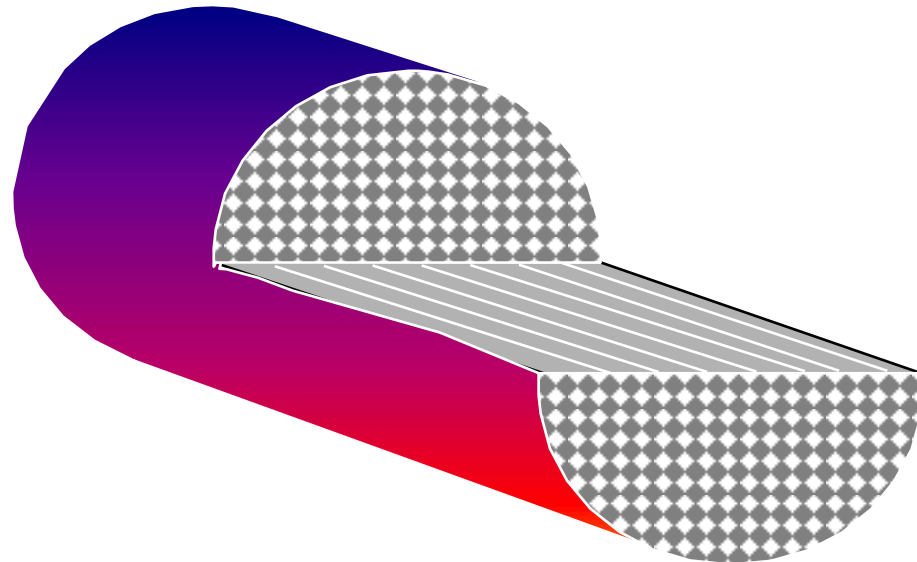


#### Típico Grânulo de Fibra Curta

- Distribuição Aleatória
- Comprimento < 2 mm

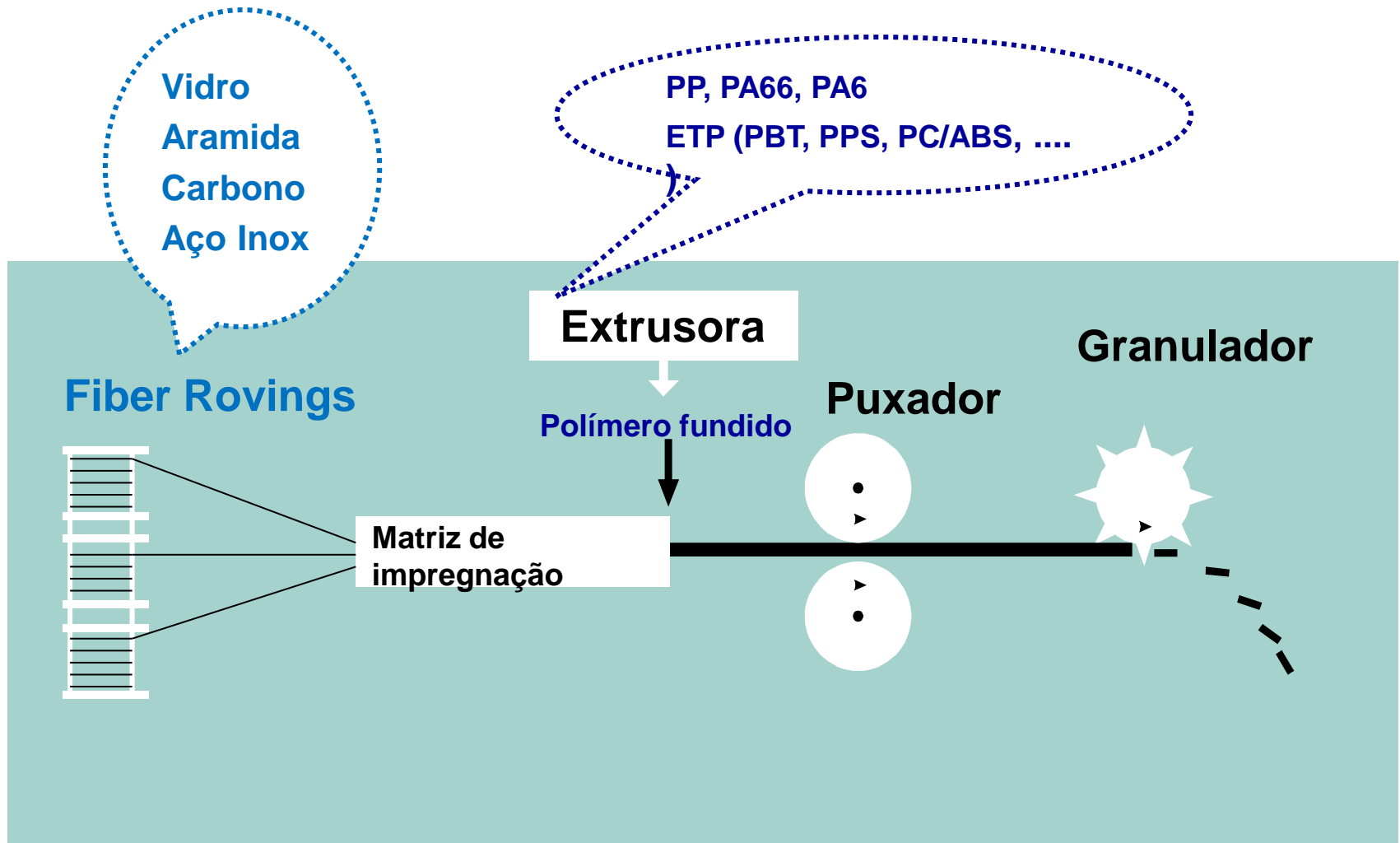
#### Celstran® Grânulo de Fibra Longa

- Fibras Orientadas
- 11 mm de Comprimento



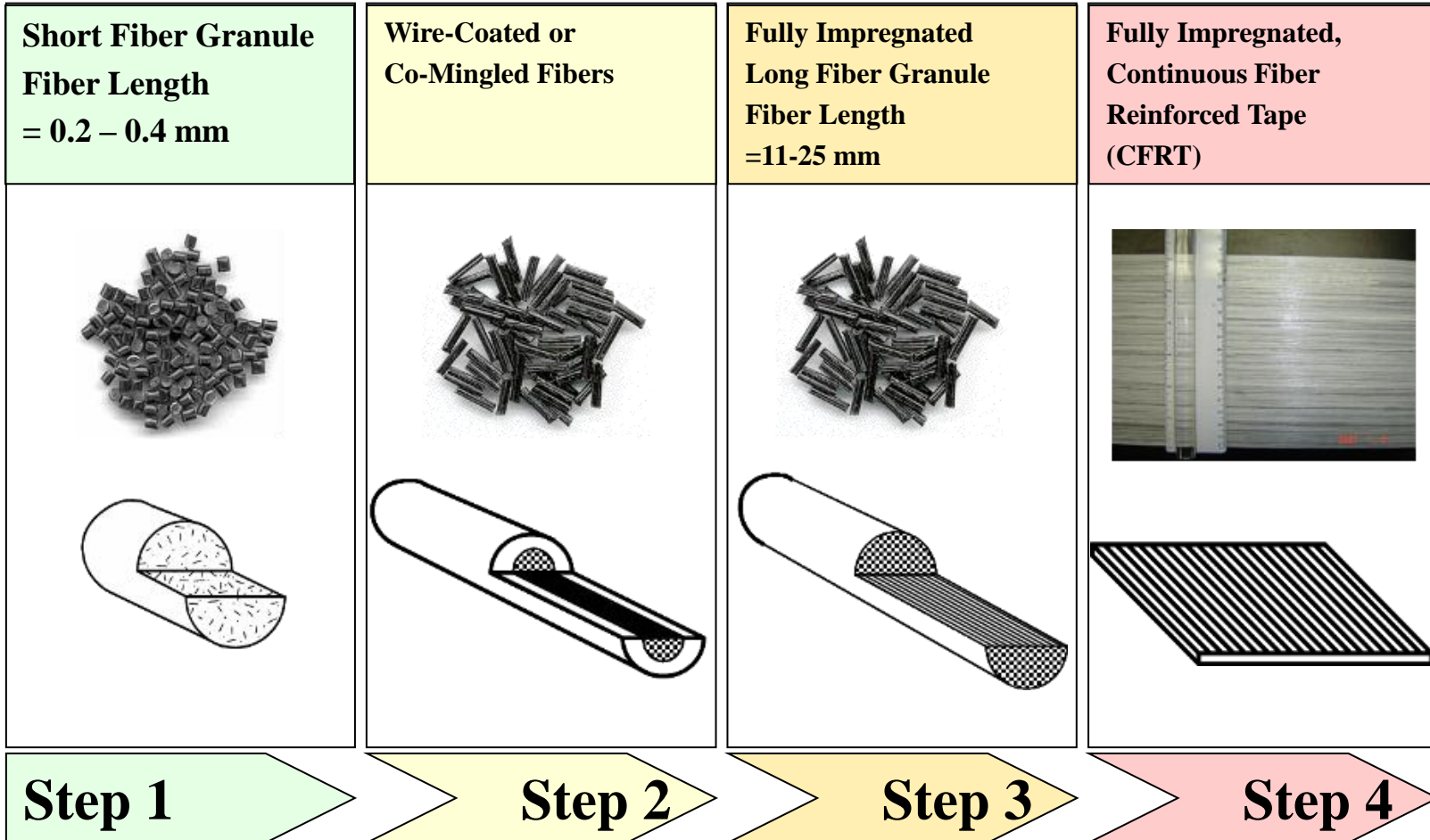
# Compósitos

## Celstran® LFRT (Long Fiber Reinforced Thermoplastic)



# Compósitos

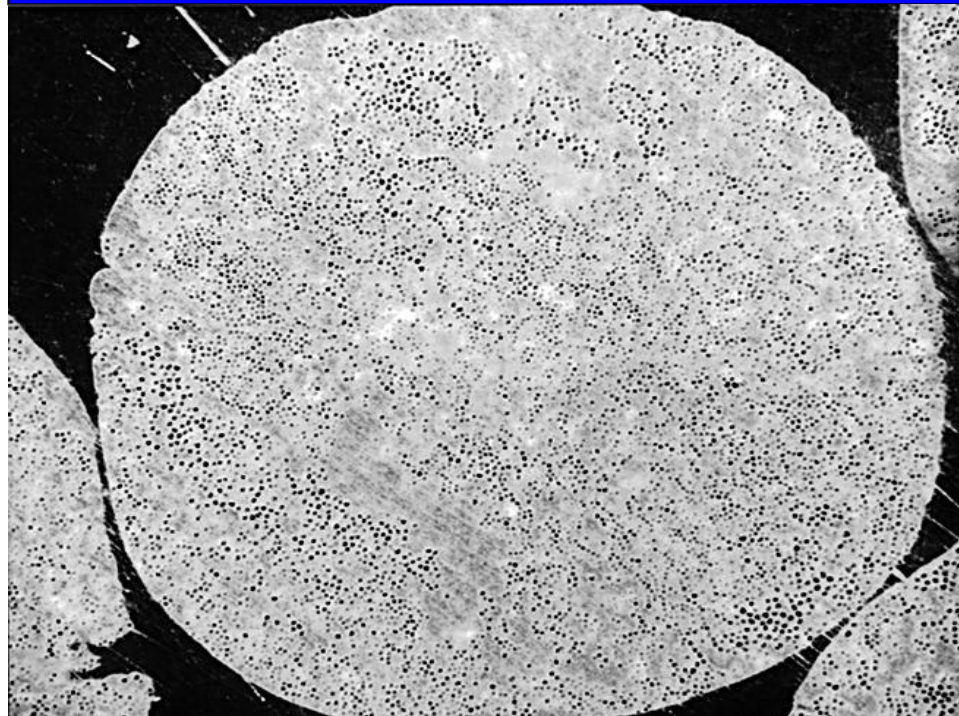
## Celstran® LFRT (Long Fiber Reinforced Thermoplastic)



Celstran® LFRT (Long Fiber Reinforced Thermoplastic)

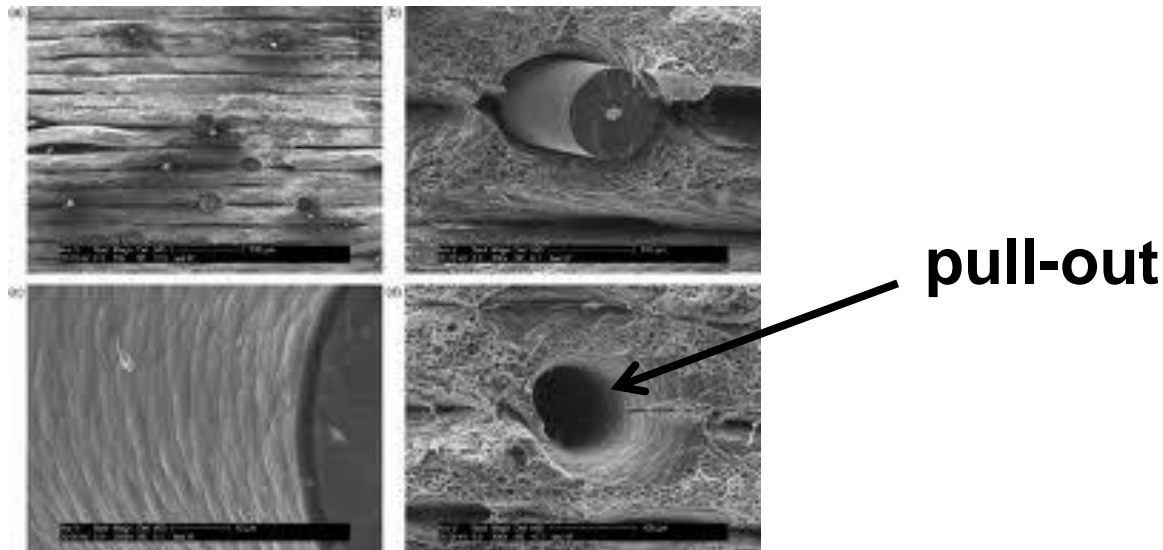
## Grânulo de Celstran PP GF50

Seção Transversal de um grânulo de  
Celstran PP - GF50



## Interação fibra x matriz

**Interação fibra matriz** – quanto melhor a compatibilidade entre a fibra e a matriz melhor será a resistência do compósito. A transferência de tensões da matriz para o reforço depende desta interface. Pobre interação fibra matriz causa uma falha chamada “pull-out”



## Importância do comprimento crítico

**Comprimento crítico** – é o comprimento necessário para que exista um aumento efetivo da resistência do compósito. Se o comprimento da fibra for inferior ao crítico não haverá uma transmissão de carga da matriz para a fibra, neste caso a falha do compósito será dominada pela resistência da matriz ou da interface, prevalecendo quem tiver o menor valor.

$$L_{crit.} = \frac{df * \sigma}{2 * \tau}$$

Onde:

$L_{crit.}$  = comprimento crítico da fibra

$df$  = diâmetro da fibra

$\sigma$  = resist. tração da fibra

$T$  = resist. ao cisalhamento interface fibra x polímero:

### Comprimento crítico

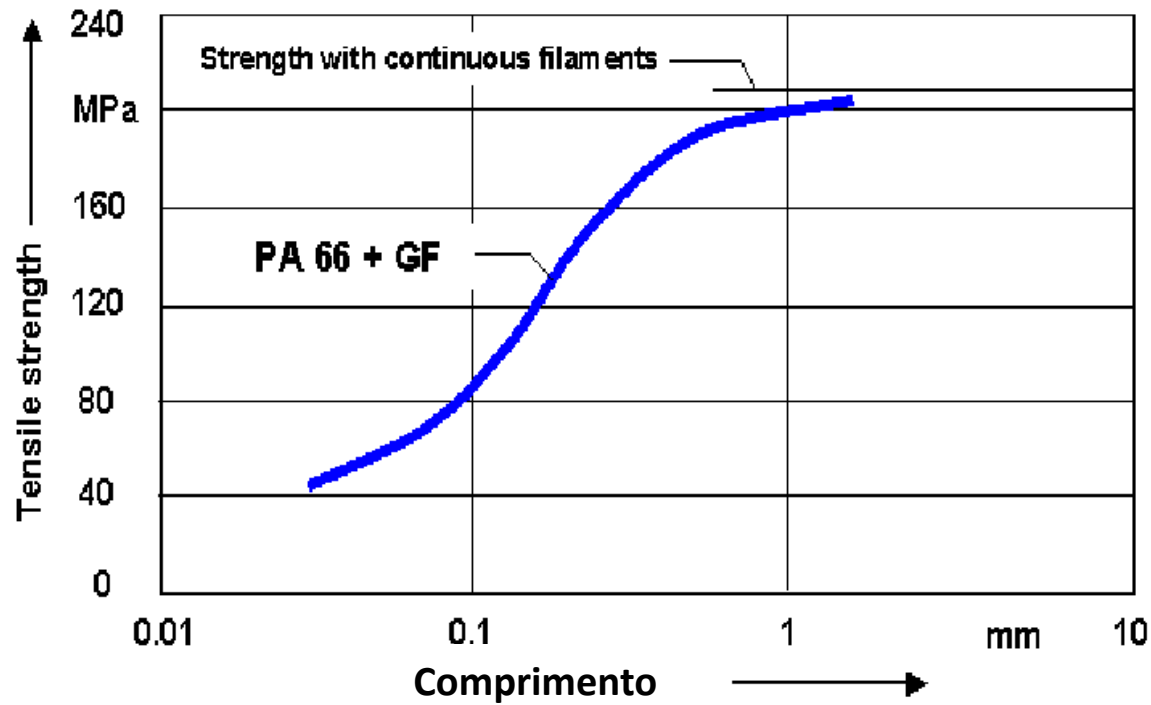
**PP:** entre 1 ao 3 mm

**PA:** apr. 0,8 mm

**Abaixo** -> Pull-Out

**Acima**- > boa adesão entre fibra e matriz. As fibras devem ser destruídas para ocorrer a quebra da peça. Aprox 50% das fibras existentes na peça devem ter comprimento acima do crítico.

## Importância do comprimento crítico



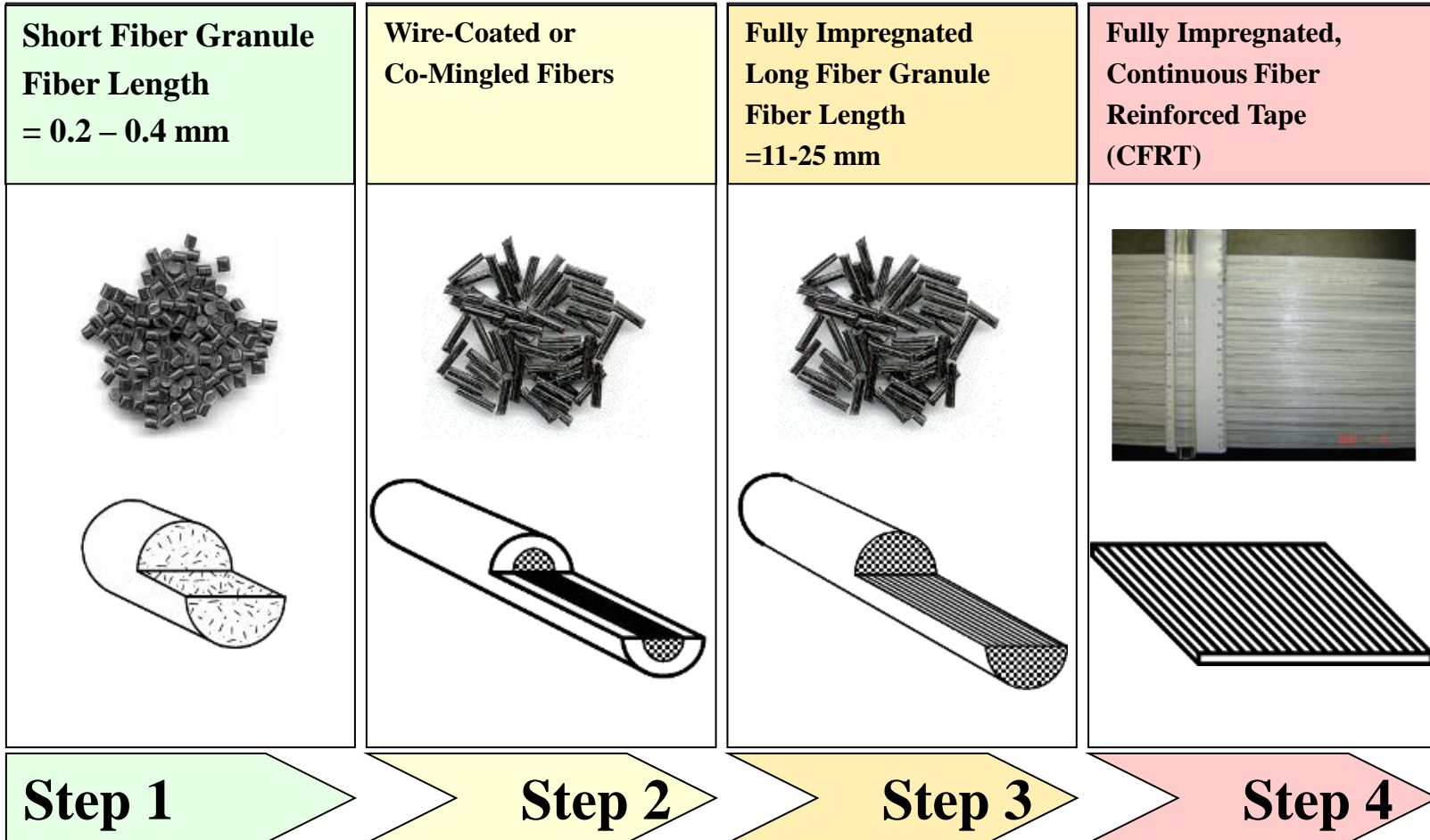
Para PA's

L min = 0,8 mm



# Compósitos

## Celstran® LFRT (Long Fiber Reinforced Thermoplastic)



## Celstran® CFR-TP (Continuous Fiber Reinforced TermoPlastics)

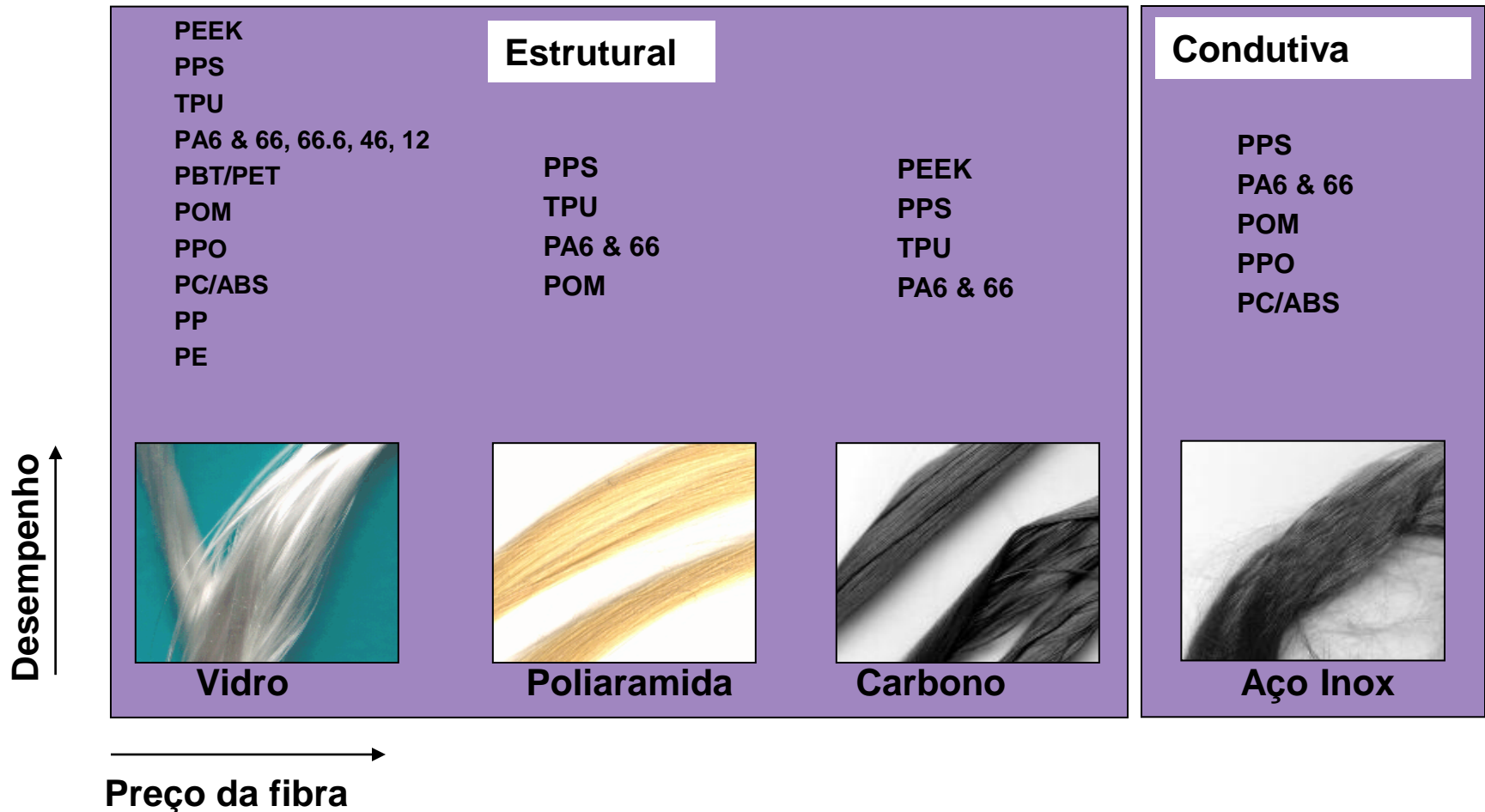


### Unidirectional Fiber Reinforced Tapes

- 4" (≈ 100 mm)
- 6" (≈ 150 mm)
- 8" (≈ 200 mm)
- 10" (≈ 250 mm)
- Custom

# Compósitos

**Celstran® CFR-TP (Conutinuous Fiber Reinforced ThermoPlastics)**  
**Celstran® LFRT (Long Fiber Reinforced Thermoplastic)**

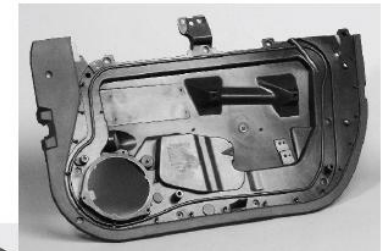


# Compósitos

## Celstran® LFRT (Long Fiber Reinforced Thermoplastic)



**FEM – Front End Module**  
**Celstran LFT**



**Celstran PP-GF30**

**Carrier Plate/Door Module**

# Compósitos

## Celstran® CFR-TP (Continuous Fiber Reinforced ThermoPlastics)



PP-LGF20

oXeon TeXtreme

FIBERFORGE

Ticona Celstran®  
PP-GF40 + neat  
PP

Ticona Celstran®  
CFR-TP PP-GF70

Tailored Blank  
Ticona Celstran®  
CFR-TP PP-GF70



Material: Celstran PP-GF70 Tape

- Pressão de ruptura de até 520 bar com 5 mm de espessura

# Aumento da Resistência ao Impacto de Compósitos Termoplásticos Estruturais Através da Utilização de Tecidos de Tapes Unidirecionais e Laminados.

Alexsandro Oliveira

Engenheiro de Desenvolvimento  
BU Automotive



# Sumário

- Introdução
- Objetivos
- Materiais
- Métodos
- Resultados e Discussão
- Conclusão
- Agradecimentos

# Introdução

- Existem duas razões principais pelas quais compósitos termoplásticos são menos rígidos/resistentes do que os compósitos termorrígidos
  - Termoplásticos, por definição, não fazem ligações cruzadas (reticulação)
  - Compósitos termoplásticos não atingem altas frações volumétricas de fibra ( $\%V_f$ )
- Compostos termoplásticos atingem, usualmente,  $\%V_f$  inferiores a 50%
- Como as propriedades mecânicas são governadas (principalmente) pelo reforço, baixo  $\%V_f$  significa dificuldade em atingir resistência/rigidez em níveis comparáveis com compósitos de matriz polimérica termorrígida



# Introdução

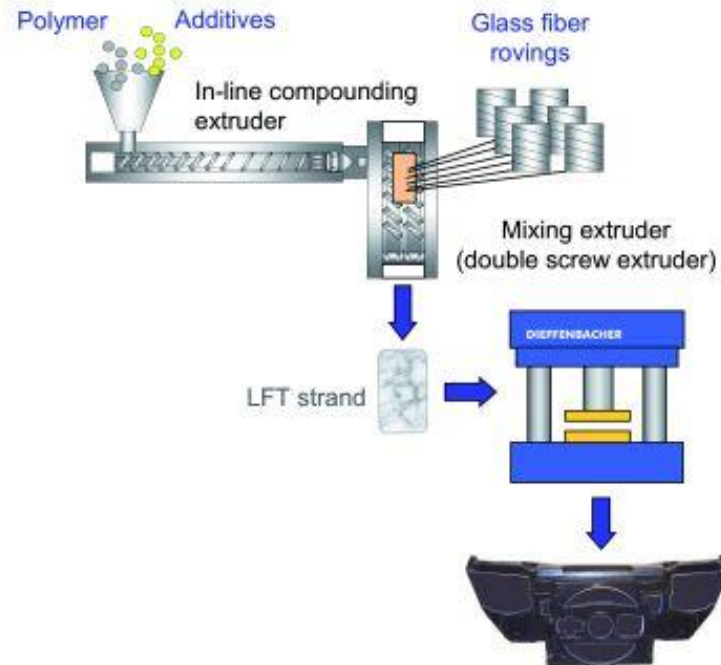
- Termoplásticos são usualmente fornecidos pré-polimerizados, ou seja, a viscosidade dos termoplásticos é muito alta (salvo exceções)
- São requeridas altas temperaturas e pressões para que o material escoe e assuma a forma desejada, devido sua longa cadeia
- Dificuldades em obter boa molhabilidade da fibra pela matriz, em consequência pobre interação fibra matriz

# Introdução

- Para resolver os problemas mencionados, a indústria de termoplásticos tomou emprestado algumas tecnologias de processamento utilizadas na indústria de compósitos
- Preservar o comprimento das fibras e melhorar a molhabilidade da fibra pela matriz termoplástica
- Produção de pellets longos através do processo de pultrusão, onde o comprimento da fibra é mantido ([LFT – Long Fiber Reinforced](#)) para serem utilizados no processo de injeção de termoplásticos
  - Restrições na alimentação, quebra das fibras durante o processo

# Introdução

- D-LFT (**D**irect – **L**ong **F**iber **R**einforced): composto de matriz polimérica é combinado com a fibra no momento da moldagem.



**D-LFT – extrusion + compression**

# Objetivo

Avaliar o desempenho de compósitos termoplásticos produzidos através do processo de D-LFT e a influência da utilização de tapes e tecidos produzidos com fibras unidirecionais em sua resistência ao impacto

- **D-LFT**
  - PP C711-70 RNA, Dow Chemical;
  - Aditivos AddVance 453, Addcomp Holland BV
  - Fibra de vidro JM 490 2400 tex glass, Johns Manville
  
- **Tape Unidirecional**
  - Tapes unidirecionais PP-GF70, Celstran® CFR-TP PP-GF70, Ticona Polymers
  
- **Tecido**
  - TeXtreme (e= 0,5 mm) tipo tela produzido com o tape unidirecional não consolidado (NC) nas configurações (0/90) e (-45/+45), Oxeon AB
  
- **Laminados consolidados (LC)**
  - 2D (0/90) com espessuras de 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 mm
  - Quasi-isotropicos (0/90/+45/-45)<sub>s</sub> com 8 camadas, FiberForge

# Métodos

- Na primeira parte do estudo foram produzidas placas de 400 x 400 mm por termocompressão
- A configuração de montagem das placas foi alterada de forma que 11 diferentes compósitos foram obtidos (Tabela 1)
- Foram extraídas das placas corpos de prova para realização de ensaios de impacto
  - DIN/ISO 6603-2: Determination of Multiaxial Impact Behavior of Rigid Plastics—Part 2: Instrumented Puncture Test
  - ISO 7765-2 for Film & Sheeting: Determination of Impact Resistance by Free-Falling Dart Method – Part 2: Instrumented Puncture Test

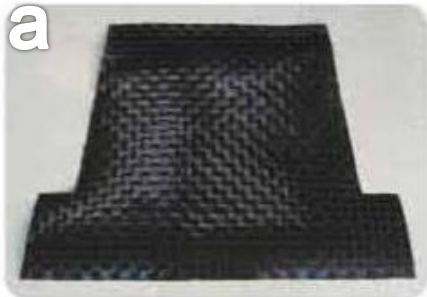
**Tabela 1 – Amostras produzidas para ensaio de impacto**

Amostra	Material utilizado	Espessura (mm)	N. Camadas	Orientação da fibra
V1	Tecido NC	2,0	4	(0/90)
V2	Laminado consolidado	2,0	1	(0/90) <sub>s</sub>
V3	D-LFT puro	2,0	n/a	D-LFT
V4	D-LFT puro	2,5	n/a	D-LFT
V5	D-LFT puro	3,0	n/a	D-LFT
V6	Híbrido: Tecido NC + D-LFT	0,5 + 2,5	1	(0/90) + D-LFT
V7	Híbrido: LC + D-LFT	0,5 + 2,5	1	(0/90) + D-LFT
V8	Híbrido: Tecido NC + D-LFT	1,0 + 2,0	2	2 × (0/90) + D-LFT
V9	Híbrido: LC + D-LFT	1,0 + 2,0	1	(0/90) <sub>s</sub> + D-LFT
V10	Híbrido: Tecido NC + LC + D-LFT	2 × 0,5 + 2,0	1 + 1	(0/90) + (0/90) + D-LFT
V11	Híbrido: LC + Tecido NC + D-LFT	2 × 0,5 + 2,0	1 + 1	(0/90) + (0/90) + D-LFT



# Métodos

- Na segunda parte uma peça complexa foi moldada



**Tecido NC  
(Oxeon)**



**Laminado  
(FiberForge)**



**D-LFT**

**Figura 1 – (a) Tecido NC; (b) Laminado;  
(c) D-LFT**



**Figura 2 - Peça após desmoldagem.  
a- face voltada para a estrada.  
b- face voltada para o interior do veículo**



# Resultados e Discussão

## 1ª Parte do estudo

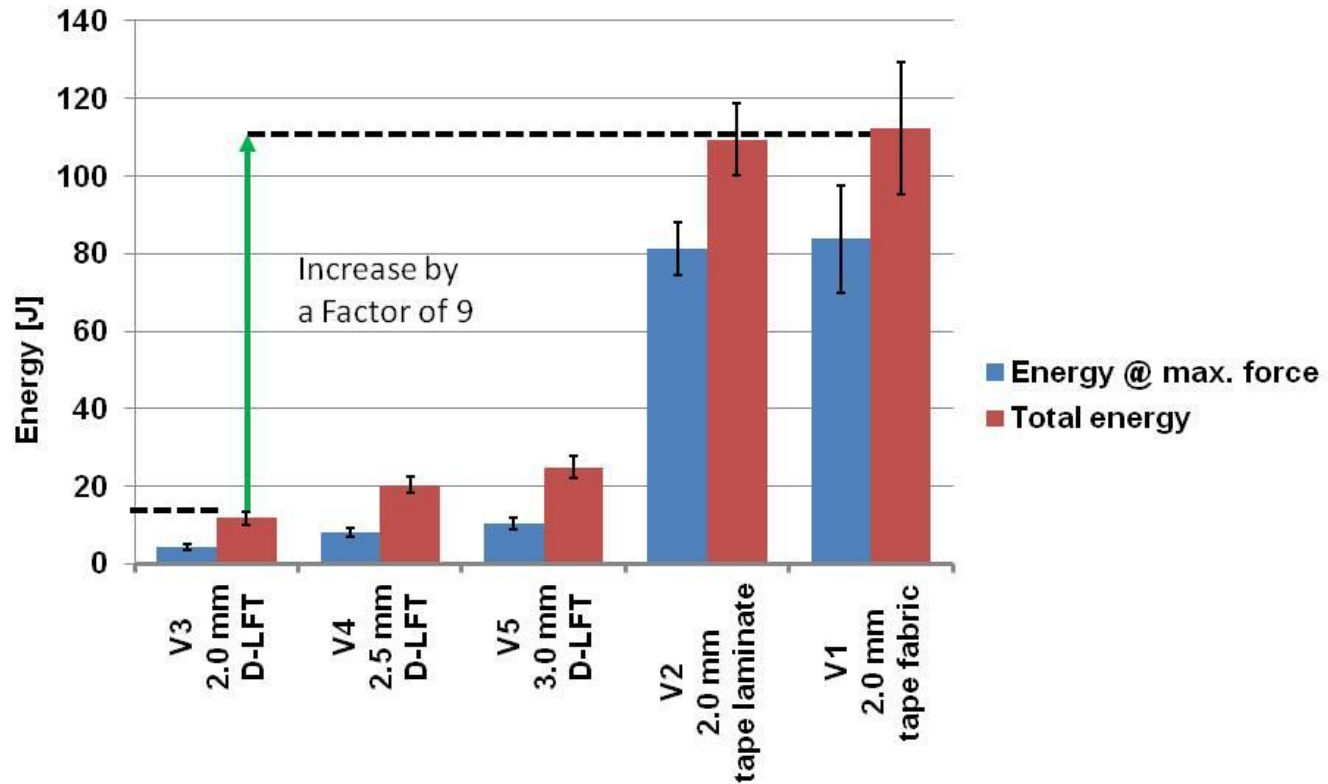


Figura 3 - Energia de impacto do D-LFT puro (a 2,0, 2,5, e 3,0 mm de espessura) vs laminados consolidados e Tecidos NC (ambos a 2,0 mm de espessura) mostram uma melhora significativa na resistência ao impacto com a utilização de reforços produzidos com tapes UD e %V<sub>f</sub> maiores

# Resultados e Discussão

## 2ª Parte do estudo

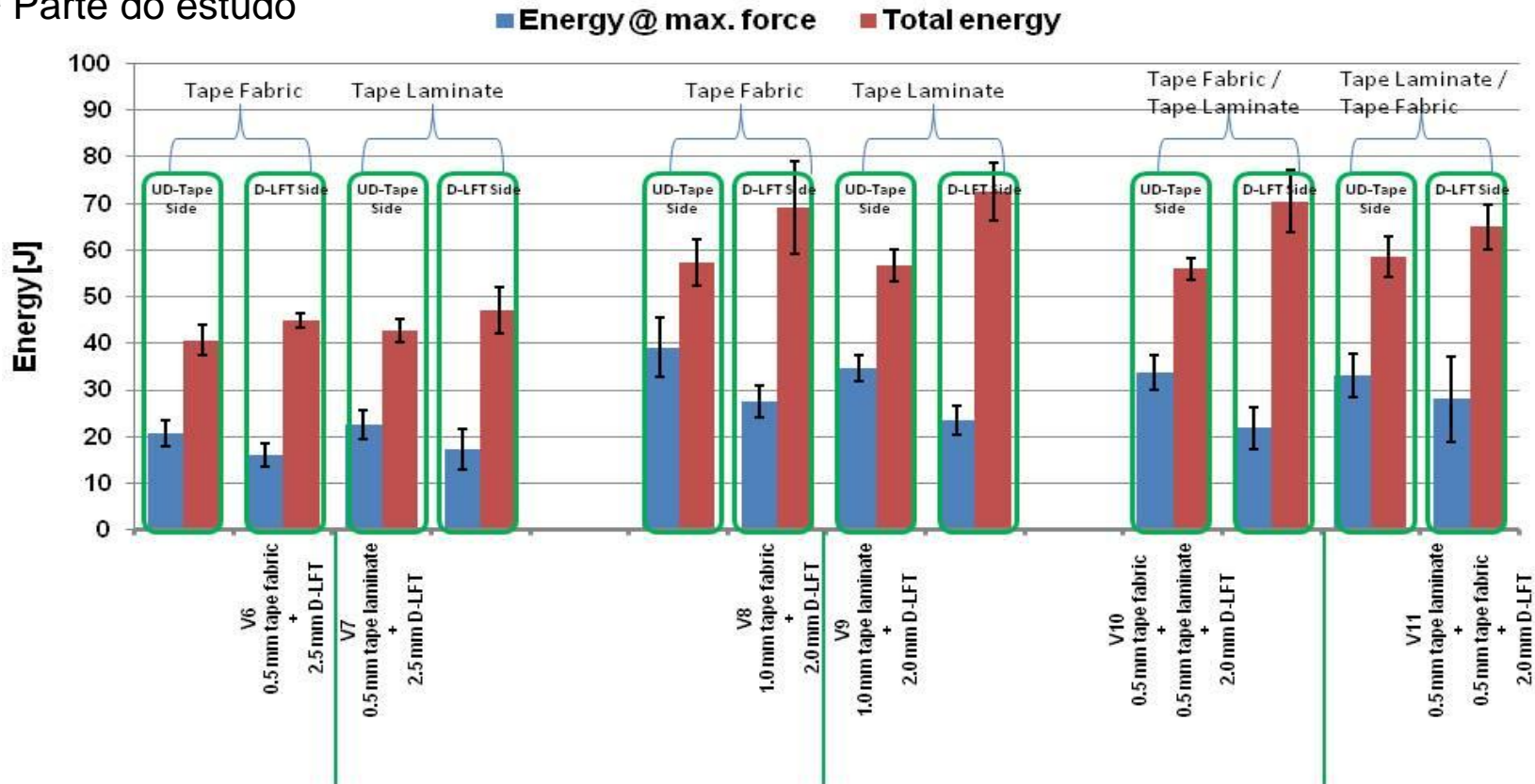


Figura 3 – Valores de resistência ao impacto das várias configurações híbridas a partir do impacto na face do D-LFT e Tape-UD (tecidos NC, laminados ou ambos)



# Resultados e Discussão

2ª Parte do estudo



**Figura 2 - Peça após desmoldagem.**  
**a- face voltada para a estrada.**  
**b- face voltada para o interior do veículo**



# Resultados e Discussão

## 2ª Parte do estudo

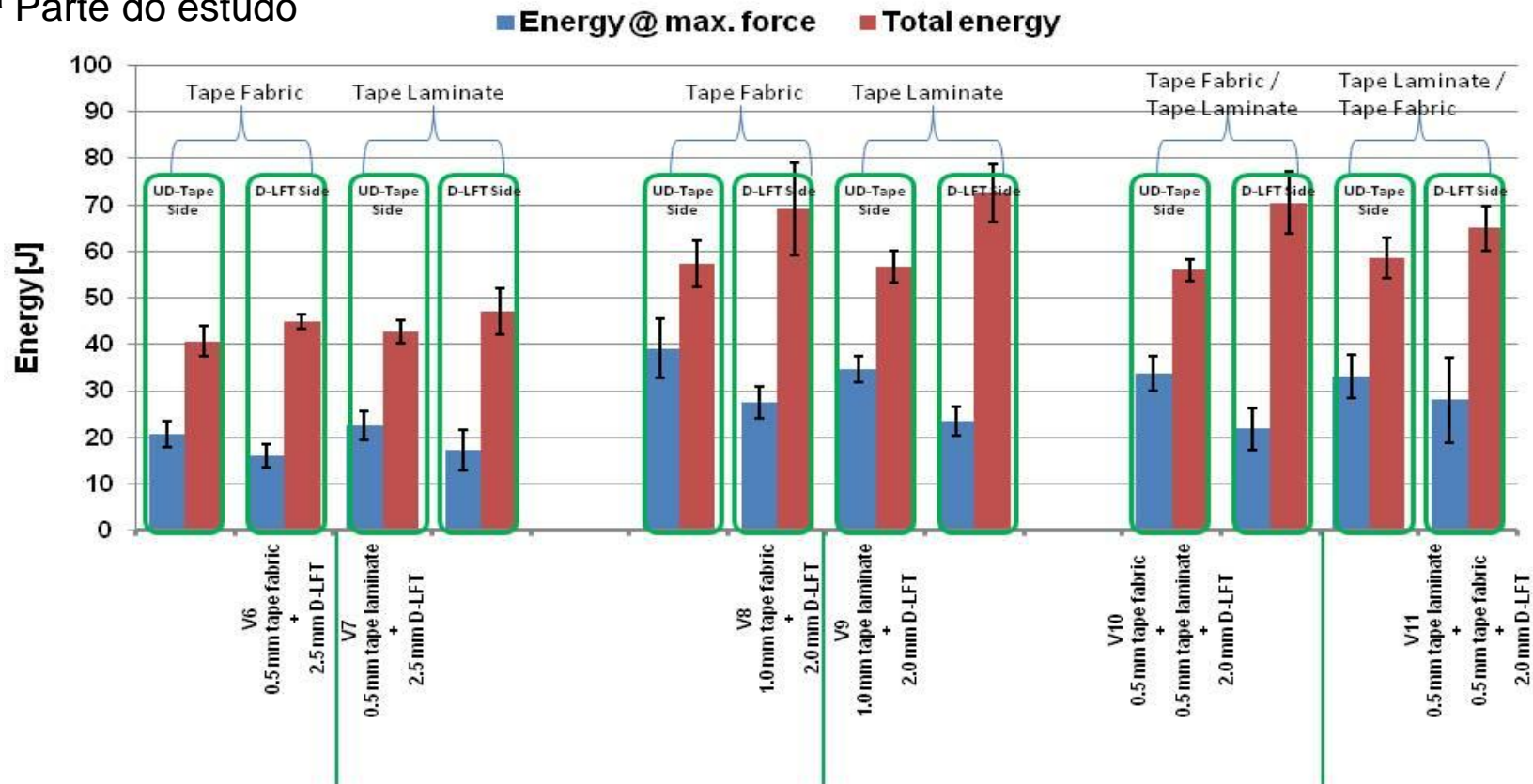


Figura 3 – Valores de resistência ao impacto das várias configurações híbridas a partir do impacto na face do D-LFT e Tape-UD (tecidos NC, laminados ou ambos)



# Conclusão

- Os compósitos produzidos com os Tapes UD apresentaram melhor resistência ao impacto, quando comparados com os compósitos D-LFT, de até 9 vezes
- Isto se deve ao  $\%V_f$ , comprimento da fibra e orientação da fibra do compósitos produzidos com os Tapes UD
- Uma vez que o lado D-LFT é menos rígido/resistência, ele quebra mais cedo e de forma mais completa (menor energia na força máxima), colocando o lado da fita da amostra em tensão (maior energia total).
- O lado produzido com Tapes UD tem maior rigidez/resistência, sendo necessário mais energia para danificar esse lado de cada peça (energia a força máxima) vs o lado D-LFT.
- Embora o lado do Tape UD seja destruído, mais energia é necessária para quebrá-lo (maior energia na força máxima), o que resulta em menos energia cinética disponível quando o pêndulo rompe e atinge o lado mais fraco D-LFT (total de energia mais baixa).

# Conclusão

- Os tecidos e laminados produzidos com os Tapes UD não apresentaram diferença significativa entre eles
- Laminados e tecidos produzidos com os Tapes UD podem ser utilizados para aumentar de forma significativa a resistência de peças sem alterar a espessura da mesma

# Agradecimientos

**FIBERFORGE**™  
Lightweighting Your World®  
<http://www.fiberforge.com/>

**oxeon**  
TeXtreme®  
*Spread Tow Fabrics for ultra light composites*  
<http://www.oxeon.se/>

 **Fraunhofer**  
ICT  
<http://www.ict.fraunhofer.de/en.html>

**If Da Vinci Had Celstran® Thermoplastic Composites,  
The Wright Brothers Might Only Be Known For Their Bicycles.**





# Aumento da Resistência ao Impacto de Compósitos Termoplásticos Estruturais Através da Utilização de Tecidos de Tapes Unidirecionais e Laminados.

**Alexsandro Oliveira**

E-mail: [alexsandro.oliveira@ticona.com.br](mailto:alexsandro.oliveira@ticona.com.br)

Cel: 11 98372 5862

Tel.: 11 3147 3374



Information is current as of **(12.04.2012)** and is subject to change without notice.

The information contained in this publication should not be construed as a promise or guarantee of specific properties of our products.

Any determination of the suitability of a particular material and part design for any use contemplated by the user is the sole responsibility of the user. We strongly recommend that users seek and adhere to the manufacturer's current instructions for handling each material they use.

Any existing intellectual property rights must be observed.

© 2012 Ticona. Except as otherwise noted, trademarks are owned by Ticona or its affiliates.