

**O fantástico mundo sustentável dos compósitos avançados**

**Luis Felipe de Paula Santos**

*Palestra apresentada CONGRESSO INTERNACIONAL SAMPE BRASIL,  
9., 2023, São Paulo. 22 slides*

A série "Comunicação Técnica" compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública. REPRODUÇÃO PORIBIDA

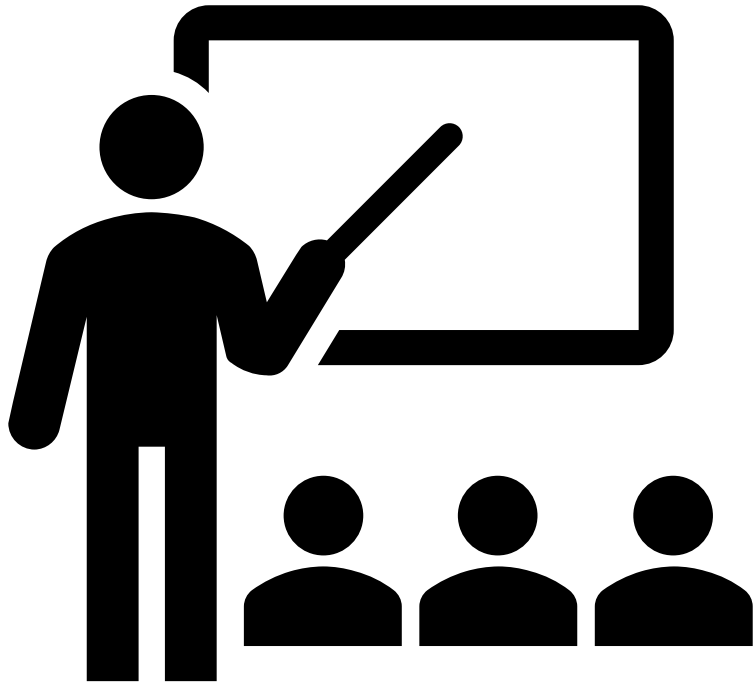
---

# O FANTÁSTICO MUNDO SUSTENTÁVEL DOS COMPÓSITOS AVANÇADOS

Dr. Luis Felipe de Paula Santos

DATA: 17/08/2023

# SUMÁRIO DA APRESENTAÇÃO



Apresentação  
do LEL



Compósitos  
avançados



Compósitos  
termoplásticos



Projeto Rota  
2030



Agradecimentos



# O QUE É O IPT?

EXISTIMOS PARA PROVER SOLUÇÕES  
TECNOLÓGICAS PARA A INDÚSTRIA,  
OS GOVERNOS E A SOCIEDADE,  
HABILITANDO-OS A SUPERAR  
OS DESAFIOS DA NOSSA ÉPOCA

## RECEITAS

Venda de projetos e serviços por meio da Fundação de Apoio ao IPT (FIPT)

Dotação orçamentária do Governo do Estado de São Paulo



Venda de projetos e serviços para os setores público e privado

## IPT EM NÚMEROS (2022)



123 ANOS DE  
CONTRIBUIÇÕES PARA  
A SOCIEDADE



> 1000  
FUNCIONÁRIOS E  
COLABORADORES



41% DE RECEITA EM  
PROJETOS DE  
INOVAÇÃO



> 1830  
CLIENTES  
ATENDIDOS



CLIENTES SATISFEITOS  
NPS 84  
(ZONA DE EXCELÊNCIA)



> 19.900  
DOCUMENTOS  
TÉCNICOS EMITIDOS



> 2000 PROCEDIMENTOS  
DE ENSAIOS E ANÁLISES  
NO PORTFÓLIO

# SOBRE O IPT

## BIONANOMANUFATURA

Processos, Química, EPIs, Biotecnologia, Nanotecnologia, Microfabricação

## CIDADES, INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE

Ordenamento territorial, Sustentabilidade, Riscos, Obras civis

## ENERGIA

Geração, Infraestrutura, Eficiência, Energias limpas

## HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES

Conforto, Desempenho, Segurança, Materiais, Sustentabilidade

## MATERIAIS AVANÇADOS

Metálicos, Poliméricos, Compósitos, Celulósicos, Corrosão

## TECNOLOGIAS DIGITAIS

IoT, Sistemas Embarcados, Sistemas de Transportes, IA, Analytics

## TECNOLOGIAS REGULATÓRIAS E METROLÓGICAS

Mecânica, Elétrica, Vazão, Aerodinâmica, Química





# LABORATÓRIO DE ESTRUTURAS LEVES (LEL)



Parque Tecnológico de São José dos Campos

120 km distante do IPT/SP



## LABORATÓRIO DE ESTRUTURAS LEVES

- Tecnologias para mobilidade
- Materiais nanoestruturados
- Compósitos estruturais
- Tecnologias avançadas

## EQUIPE

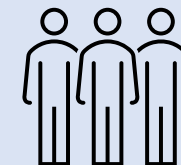
24 Pessoas

8 Doutores

5 Mestres

10 Graduados

1 Técnico



# LABORATÓRIO DE ESTRUTURAS LEVES (LEL)



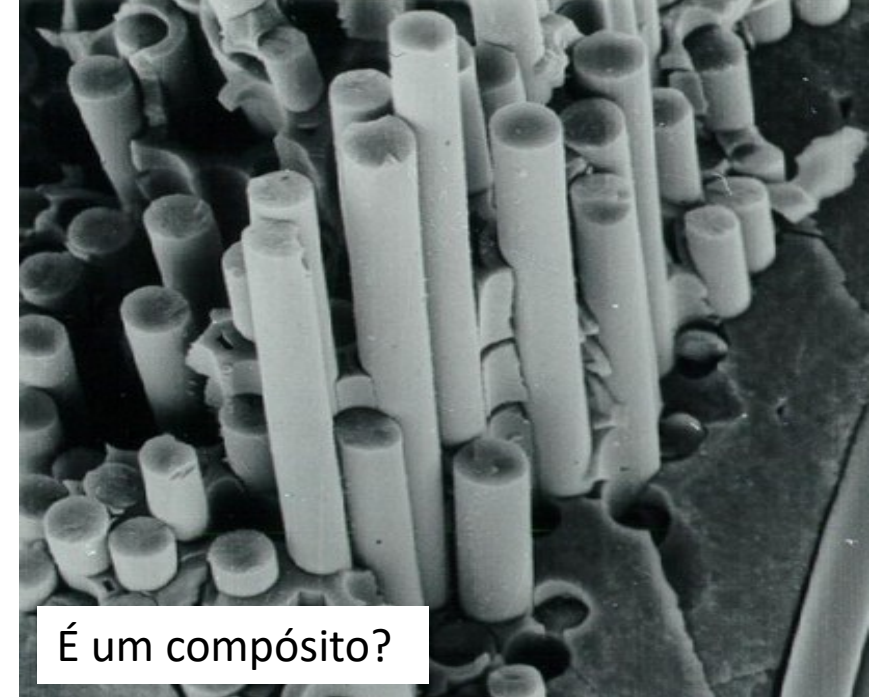
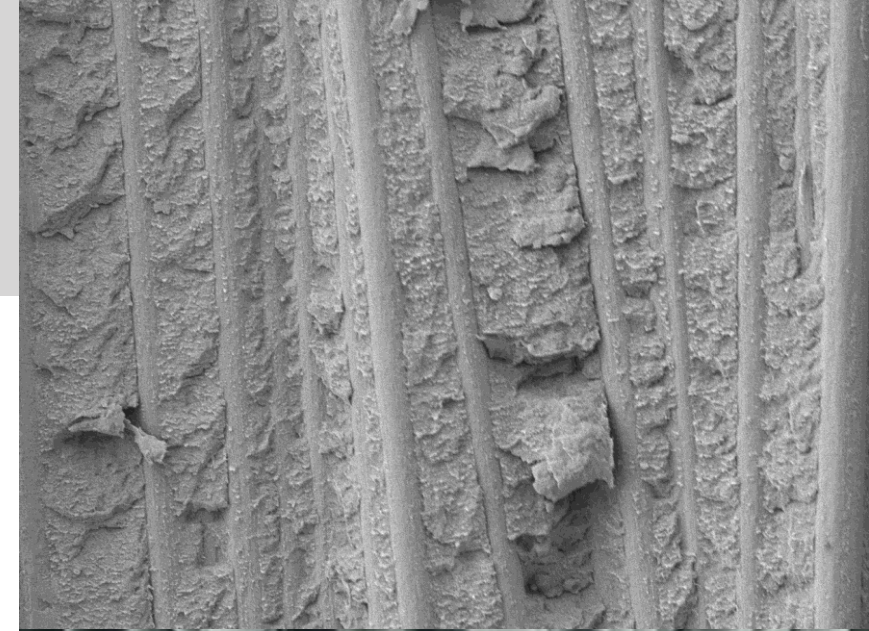
# COMPÓSITOS

**Compósito = matriz + reforço + interface**



São materiais obtidos pela mistura ou combinação racional de dois ou mais materiais constituintes, **reforço** e **matriz**, diferindo em composição química e/ou formato, que sejam essencialmente insolúveis entre si e que apresentem **interface** entre os componentes

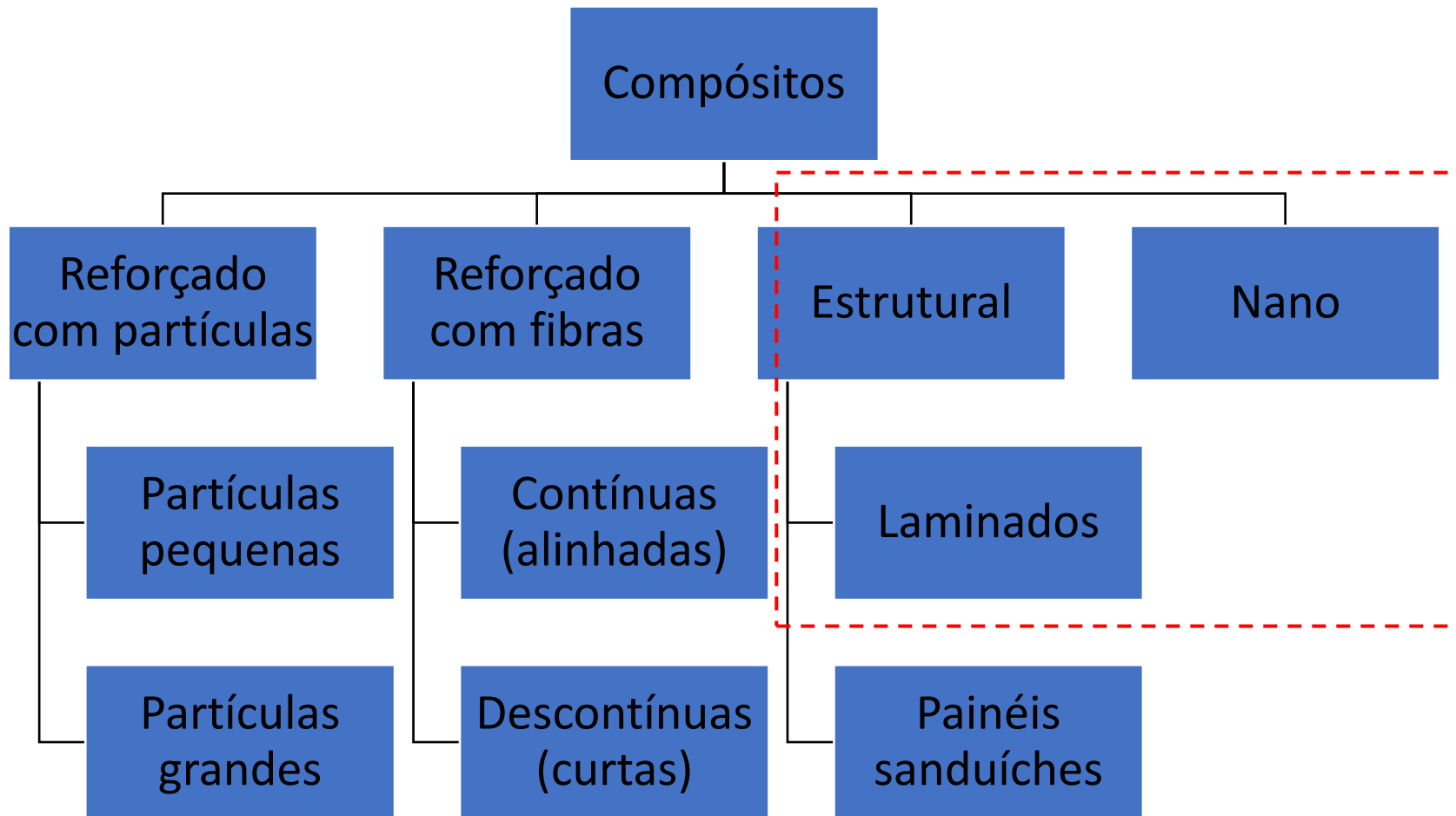
Fonte: Rezende, M. C.; Costa, M. L.; Botelho, E. C. Compósitos Estruturais – Tecnologia e Prática. 2011.



É um compósito?



# COMPÓSITOS AVANÇADOS



# COMPÓSITOS AVANÇADO

Elevada resistência e rigidez



Baixa massa específica



Excelente resistência a fadiga



Heterogeneidade favorece o *design* de estruturas, porém é um elo fraco

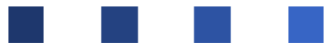
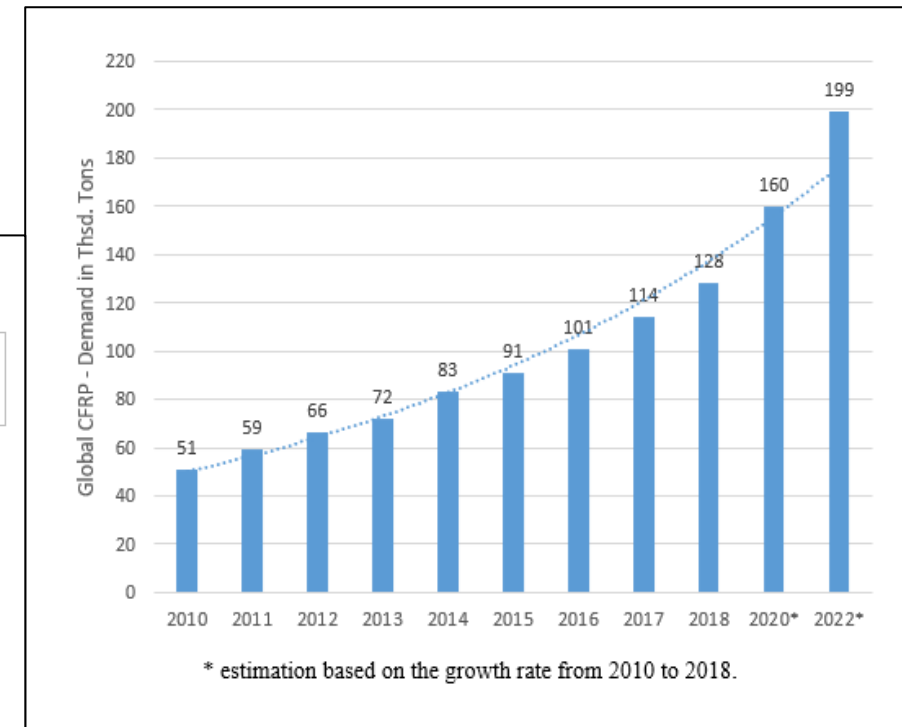
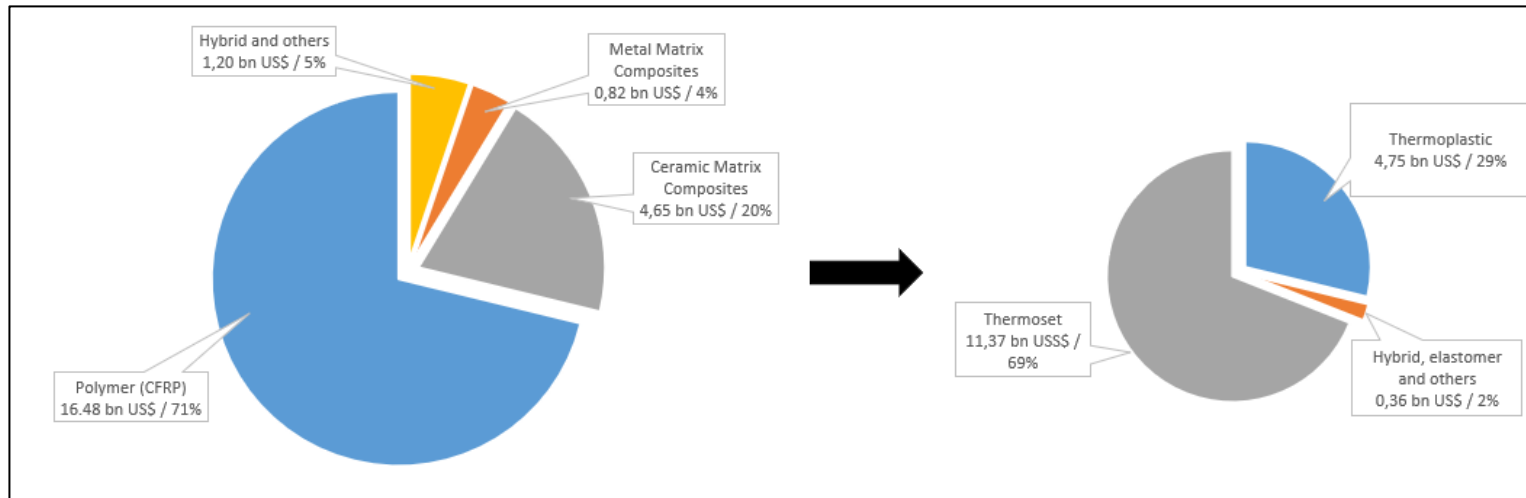


Fonte: Vasiliev, V. V.; Morozov, E. V. Optimal composites structures. Advanced Mechanics of Composite Materials. 2013.

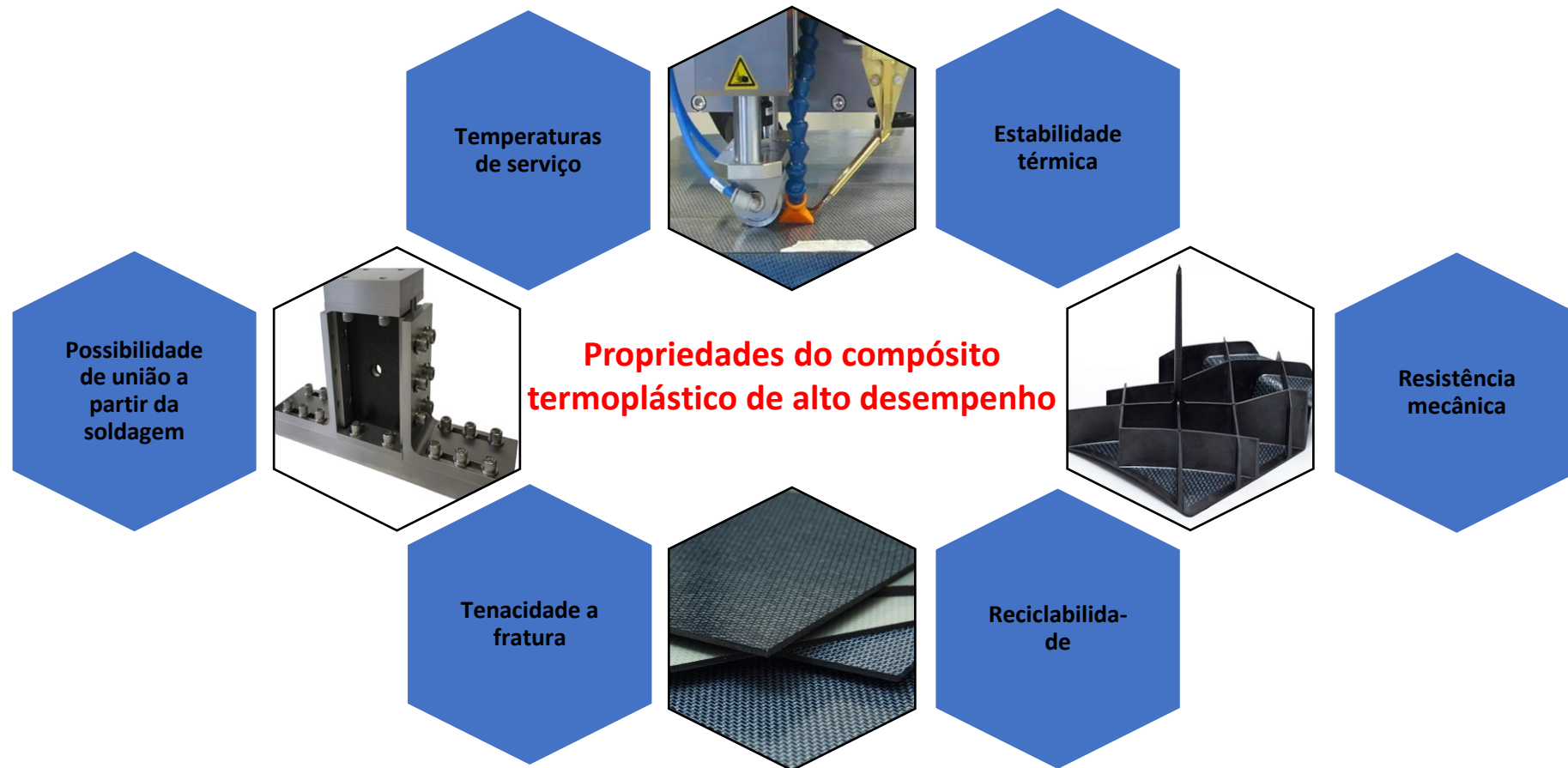
# COMPÓSITOS TERMOPLÁSTICOS

**Matriz termoplástica** – capacidade de amolecer e fluir, quando submetidos a aumentos de temperatura e pressão e se solidificam quando resfriados (transformação reversível).

↓  
Amorfo x Semi cristalino

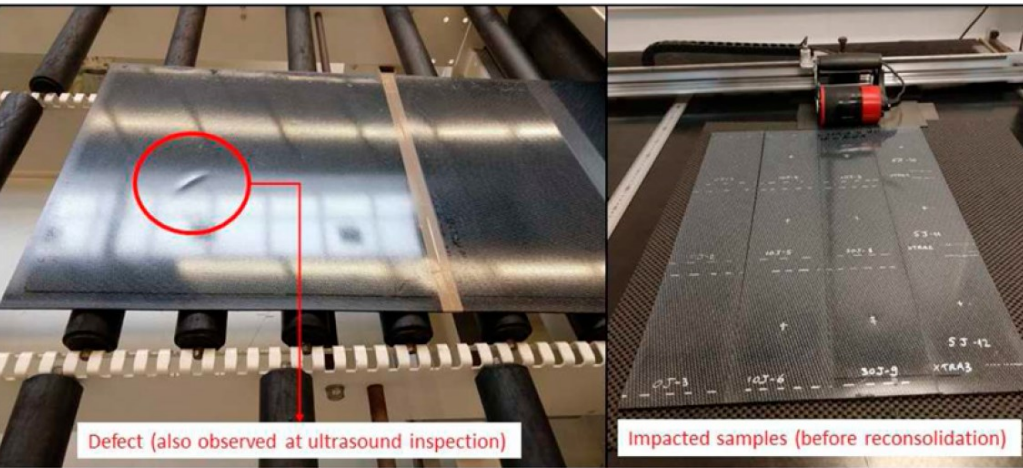


# COMPÓSITOS TERMOPLÁSTICOS



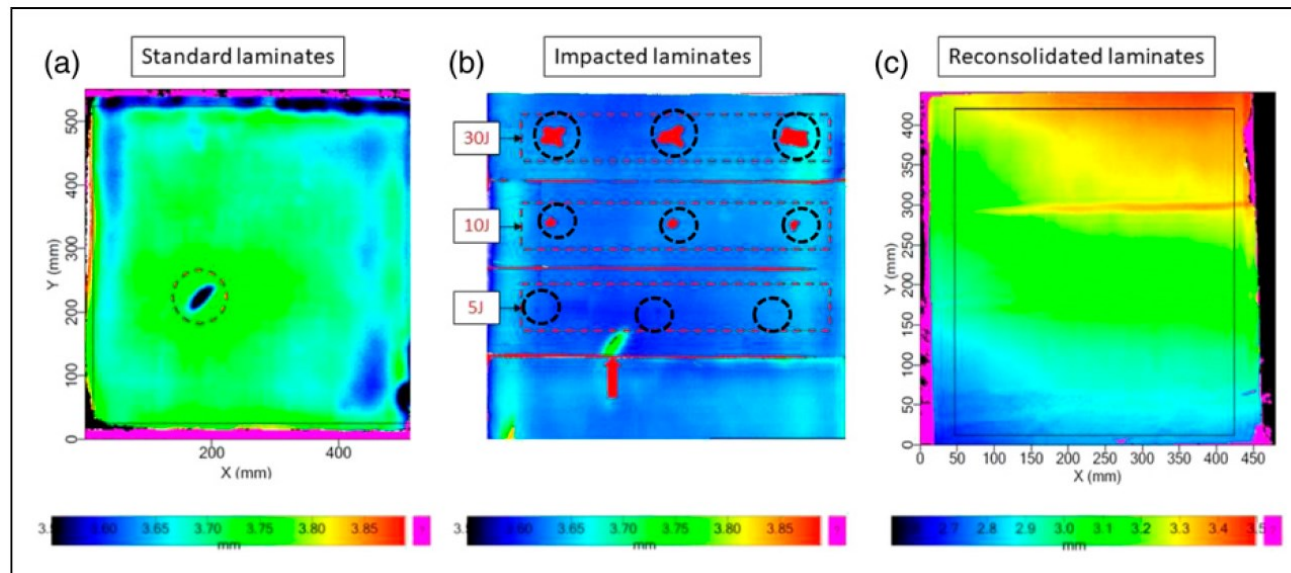


# COMPÓSITOS TERMOPLÁSTICOS



**Table 2.** Data obtained through thermal analyzes of TGA, DSC, DMA, and TMA.

	PAEK/CF	PAEK/CF-Re
Melt temperature ( $T_{m1}$ )	304°C	306°C
Melt temperature ( $T_{m2}$ )	309°C	311°C
Crystallization temperature	243°C	248°C
$X_c$ (%)	16.65%	18.62%
$T_g$ (by $\tan \delta$ )	162°C	162°C
$T_g$ (by TMA analysis)	162.8°C	163.6°C
$E'$ (on 30°C)	$3.19 \times 10^9$ Pa	$3.41 \times 10^9$ Pa
$\tan \delta$ (on $T_g$ )	0.049	0.055
$\alpha$ (60–120°C)	$6.18 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$6.17 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
$\alpha$ (170–190°C)	$1.49 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$1.48 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$



Reconsolidation effect on impact, compression after impact and thermal properties of poly (aryl ether ketone) composites for aeronautical applications. **Journal of Thermoplastic Composite Materials.**



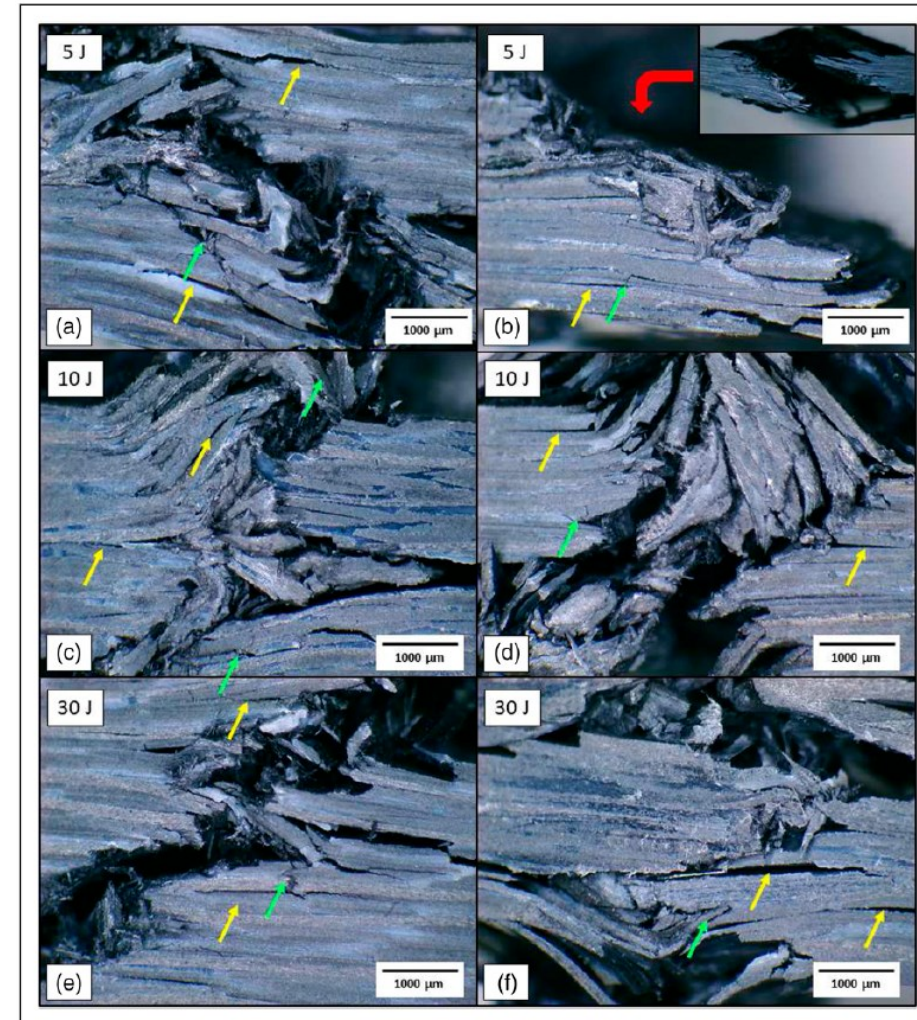


# COMPÓSITOS TERMOPLÁSTICOS

Condition	Compression Strength (MPa)
Base laminate	493.32 ± 14.93
After Impact-5J	459.01 ± 30.25
After Impact-10J	349.06 ± 6.47
After Impact-30J	279.75 ± 3.07
After impact (5J) and reconsolidation	494.61 ± 12.6
After impact (10J) and reconsolidation	416.59 ± 29.85
After impact (30J) and reconsolidation	360.55 ± 32.01

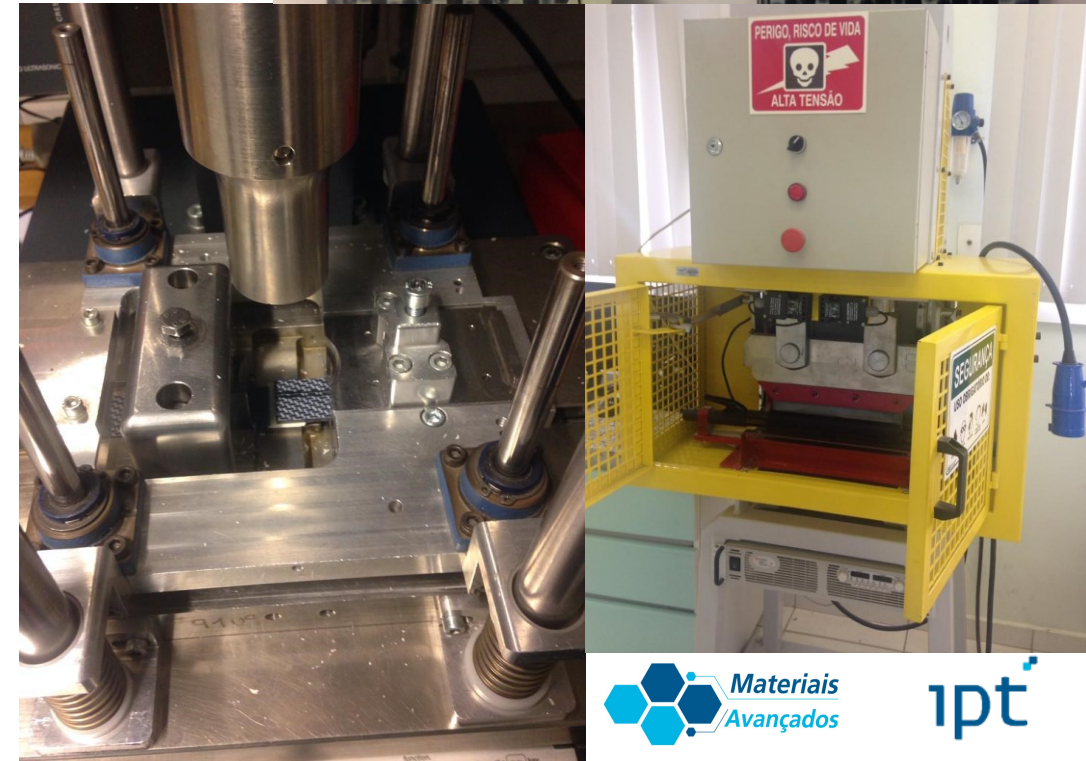
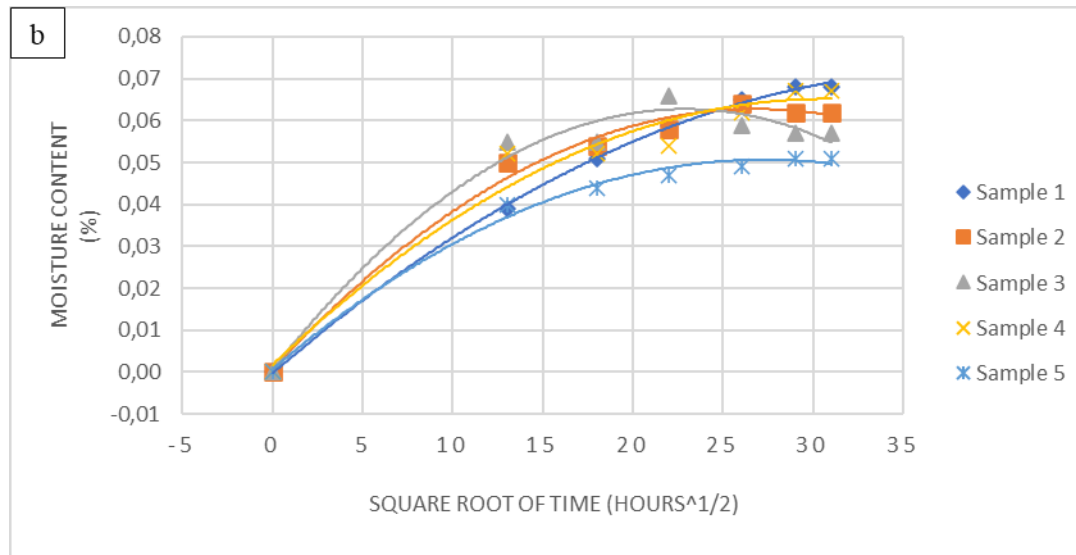
## Conclusões:

- As propriedades térmicas não foram afetadas;
- A reconsolidação não afetou as propriedades mecânicas;
- Em alguns casos, observaram-se ganhos quando a reconsolidação foi feita.



# COMPÓSITOS TERMOPLÁSTICOS

Test	Conditioning	Ultrasonic		Resistance	
		Ultimate stress average (MPa)	Standart deviation (MPa)	Ultimate stress average (MPa)	Standart deviation (MPa)
<i>Lap Shear</i>	Unconditioned	30.29	3.96	27.19	2.12
	UV	35.43	1.81	29.03	1.84
	Hygrothermal	30.86	0.80	27.80	0.96

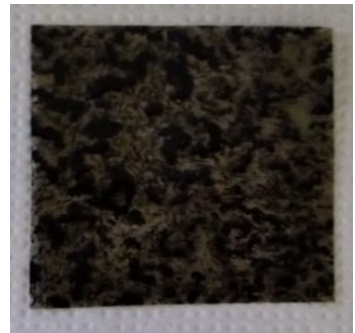
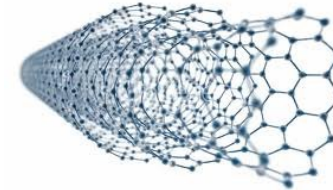
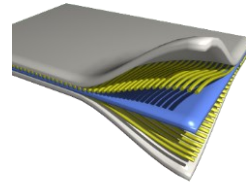


Influence of environmental effect on thermal and mechanical properties of welded PPS/Carbon fiber laminates. **Journal of Thermoplastic Composite Materials.**





# COMPÓSITOS NANOESTRUTURADOS



Dispersão inadequada



Dispersão adequada

Material multifuncional – não possui somente a função de ter elevada resistência, mas também agregue melhorias térmicas, elétricas, magnéticas, entre outras.

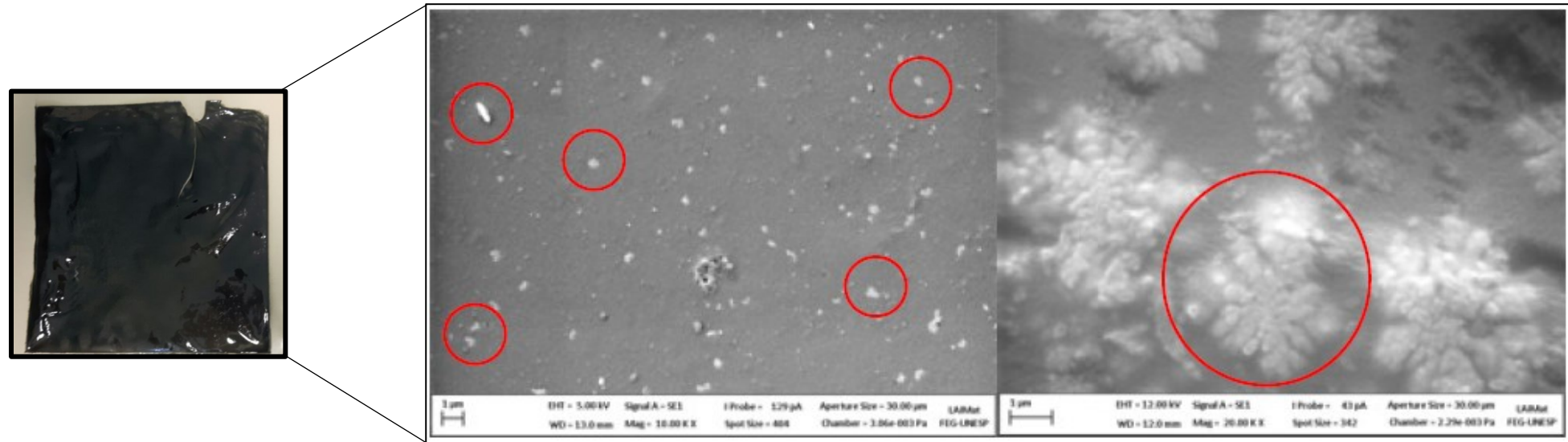


Otimização do sistema final

Redução do peso

Redução da emissão de CO<sub>2</sub>

# COMPÓSITOS NANOESTRUTURADOS



Material	E (GPa)	Standard deviation
PEI/CF	27.31	0.30
PEI/CF/MWCNT – 0.25%	36.28	0.45
PEI/CF/MWCNT – 0.50%	34.42	0.64
PEI/CF/MWCNT – 0.75%	34.25	0.37
PEI/CF/MWCNT – 1.00%	27.57	0.25

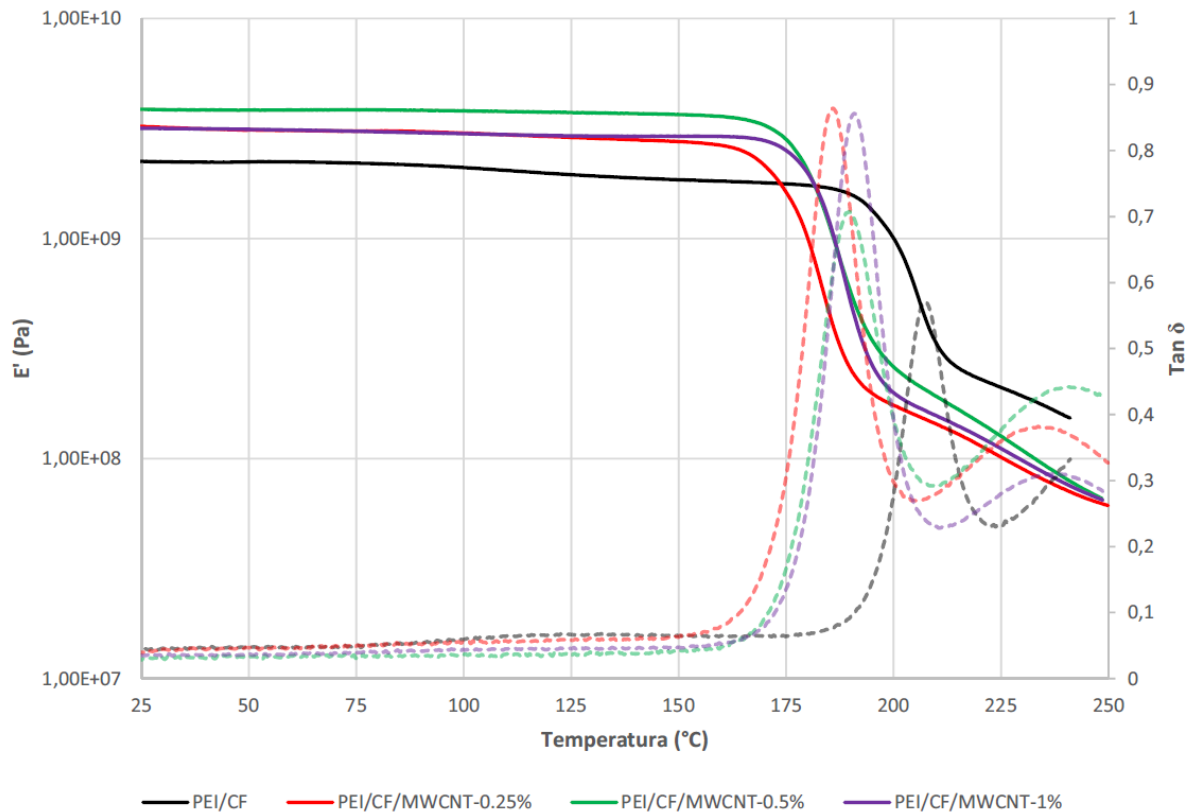


Excitação por impulso



Influence of carboxylated multi-walled carbon nanotube on the thermostability, and viscoelastic properties of poly (ether imide)/ carbon fiber laminates. **Diamond and related materials.**

# COMPÓSITOS NANOESTRUTURADOS



Storage modulus, Tan  $\delta$  and  $T_g$  values for PEI/CF and PEI/CF/MWCNT composites.

Material	E' (GPa) at 30 °C	E'' increase compared to the PEI/CF	Tan $\delta$ peak	$T_g$ (°C)
PEI/CF	1.57	–	0.765	210
PEI/CF/MWCNT – 0.25%	3.98	153.51%	0.805	187
PEI/CF/MWCNT – 0.50%	3.85	142.22%	0.706	189
PEI/CF/MWCNT – 1.00%	3.15	100.63%	0.855	190

## Termoestabilidade

PEI/CF –  $T_i = 400^\circ\text{C}$

PEI/CF/MWNT-0,25% -  $T_i = 458^\circ\text{C}$

PEI/CF/MWNT-0,5% -  $T_i = 467^\circ\text{C}$

PEI/CF/MWNT-0,1% -  $T_i = 460^\circ\text{C}$

Influence of environmental effect on thermal and mechanical properties of welded PPS/Carbon fiber laminates. **Journal of Thermoplastic Composite Materials.**



# COMPÓSITOS NANOESTRUTURADOS

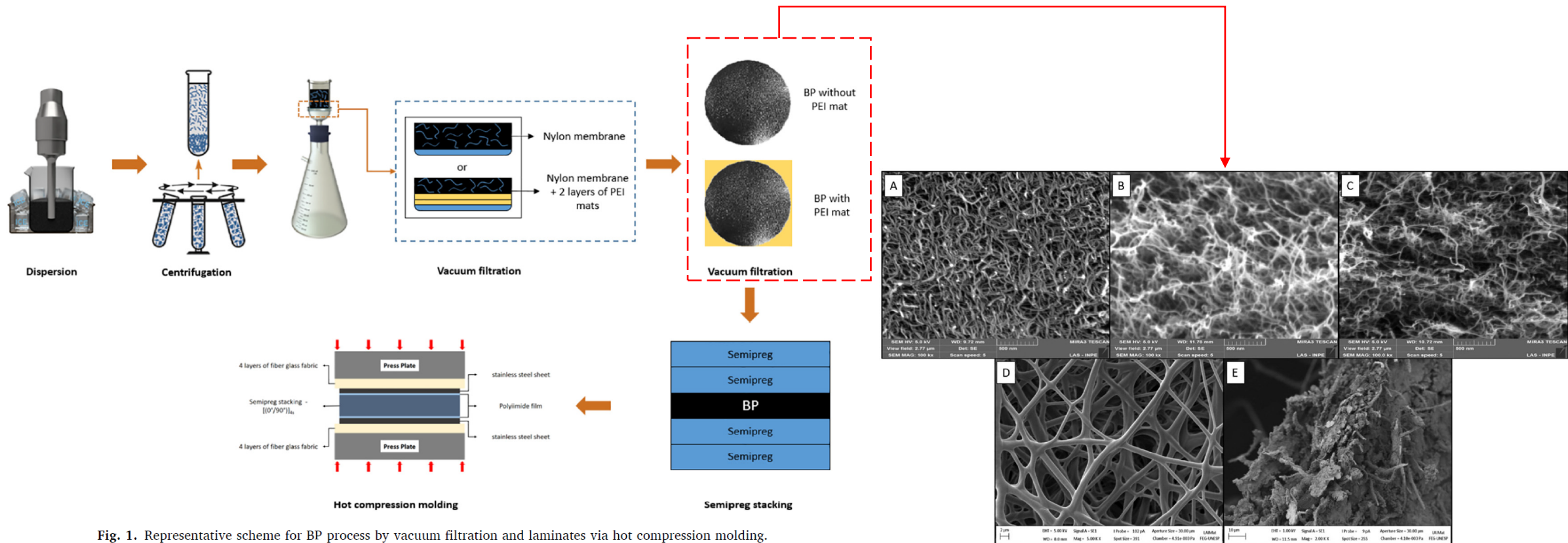
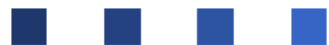
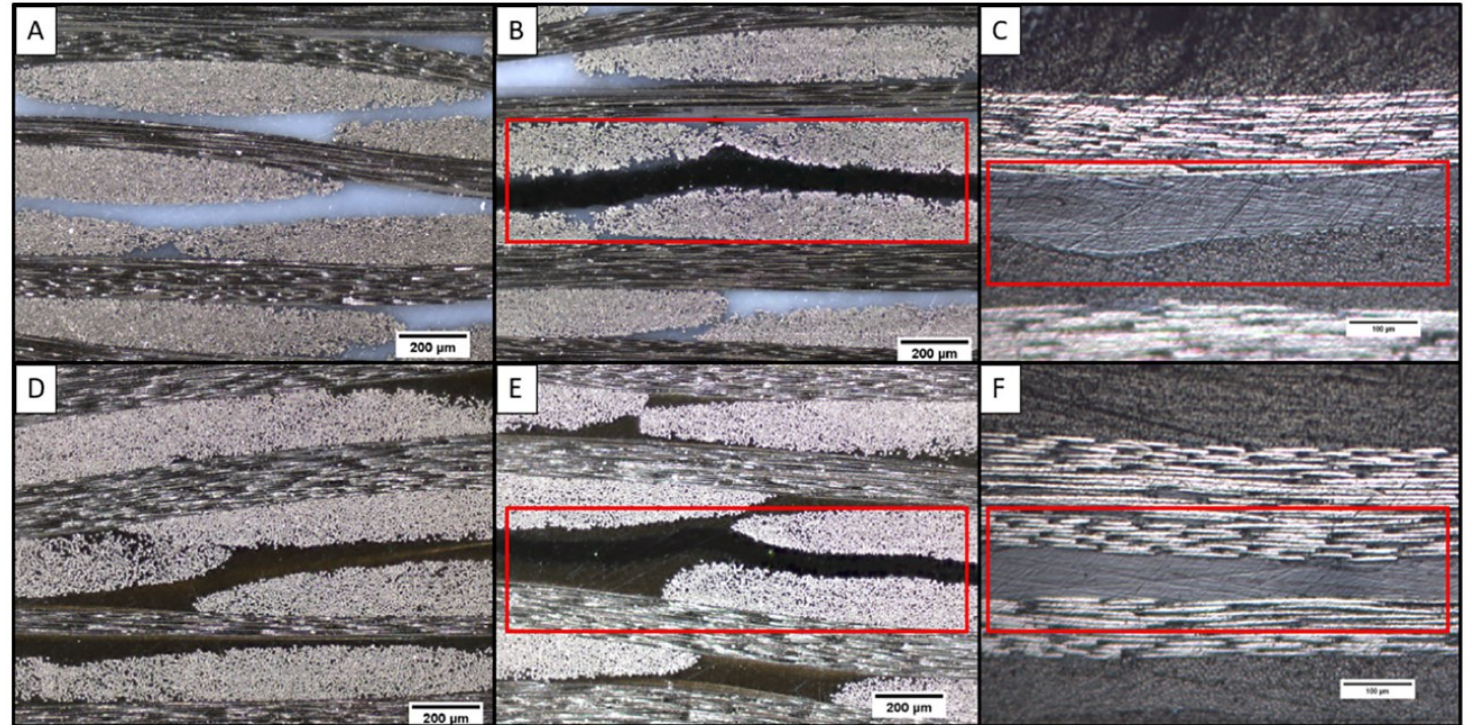
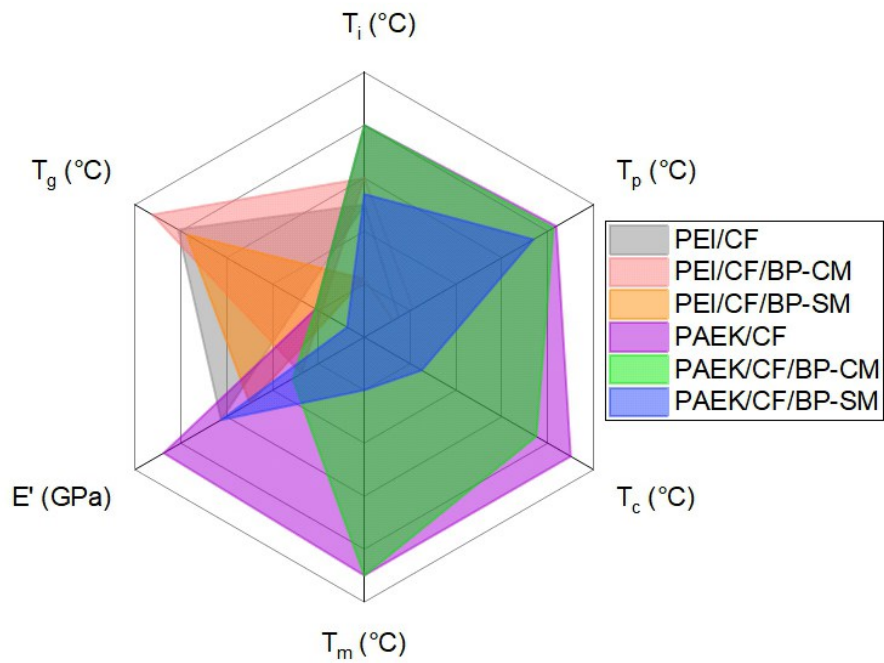


Fig. 1. Representative scheme for BP process by vacuum filtration and laminates via hot compression molding.



The influence of carbon nanotube buckypaper/poly (ether imide) mats on their thermal properties of poly (ether imide) and poly (aryl ether ketone) carbon fiber laminates. **Diamond and related materials.**

# COMPÓSITOS NANOESTRUTURADOS



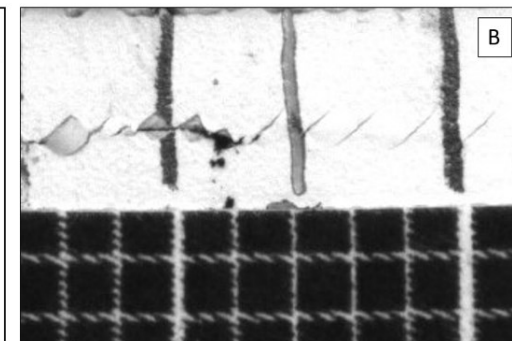
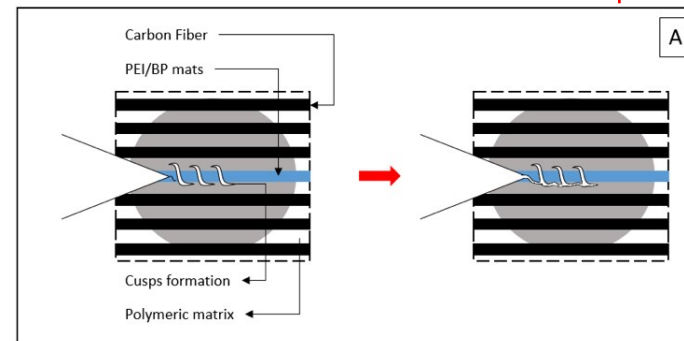
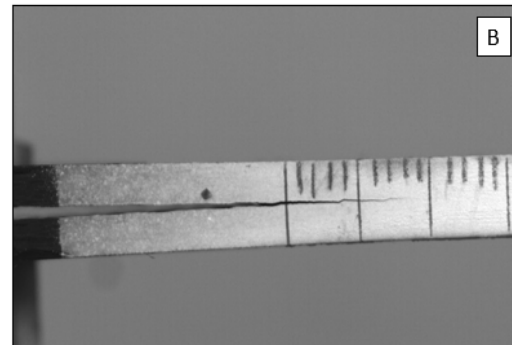
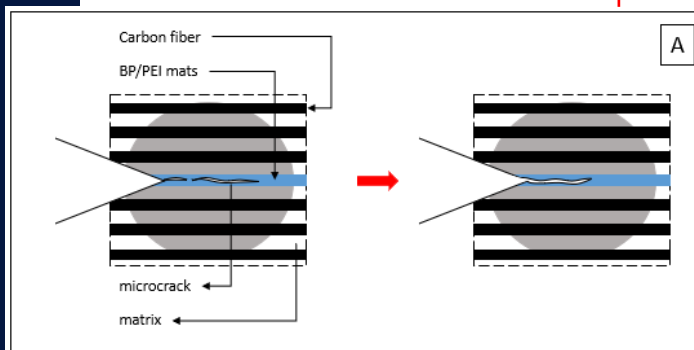
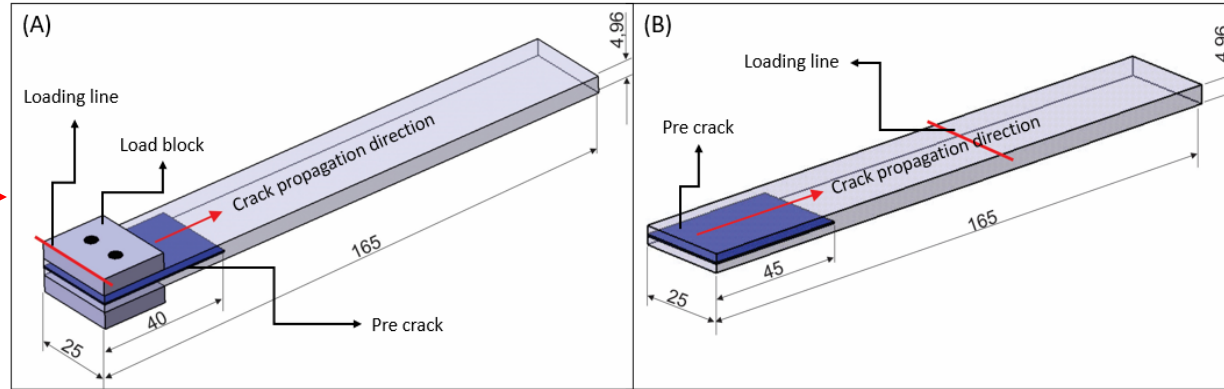
$T_i$  = temperatura inicial de decomposição  
 $T_p$  = temperatura máxima de decomposição  
 $T_m$  = temperatura de fusão

$T_g$  = temperatura de transição de vítrea  
 $T_c$  = temperatura de cristalização  
 $E'$  = módulo de armazenamento





# COMPÓSITOS NANOESTRUTURADOS



Does carbon nanotube buckypaper affect mode-I and mode-II interlaminar fracture toughness under quasi-static loading? **Under review**



# PROJETO COMP2F



- Tornar as ferramentarias mais competitivas;
- Utilização de novos materiais buscando eficiência energética e desempenho estrutural;
- Desenvolvimento de ferramentais para materiais compósitos ainda é caminho crítico;
- Viabilização de peças estruturais em compósitos, com espessuras elevadas.

## Desenvolvimento de competências para projeto e manufatura de ferramentais para peças em compósitos



# Obrigado!

- Dr. Luis Felipe de Paula Santos
  - [luissantos@ipt.br](mailto:luissantos@ipt.br)

 [linkedin.com/school/iptsp/](https://www.linkedin.com/school/iptsp/)

 [instagram.com/ipt\\_oficial/](https://www.instagram.com/ipt_oficial/)

 [youtube.com/@IPTbr/](https://www.youtube.com/@IPTbr/)

[www.ipt.br](http://www.ipt.br)

 **ipt**  
INSTITUTO DE  
PESQUISAS  
TECNOLÓGICAS

 **Materials  
Avançados**