

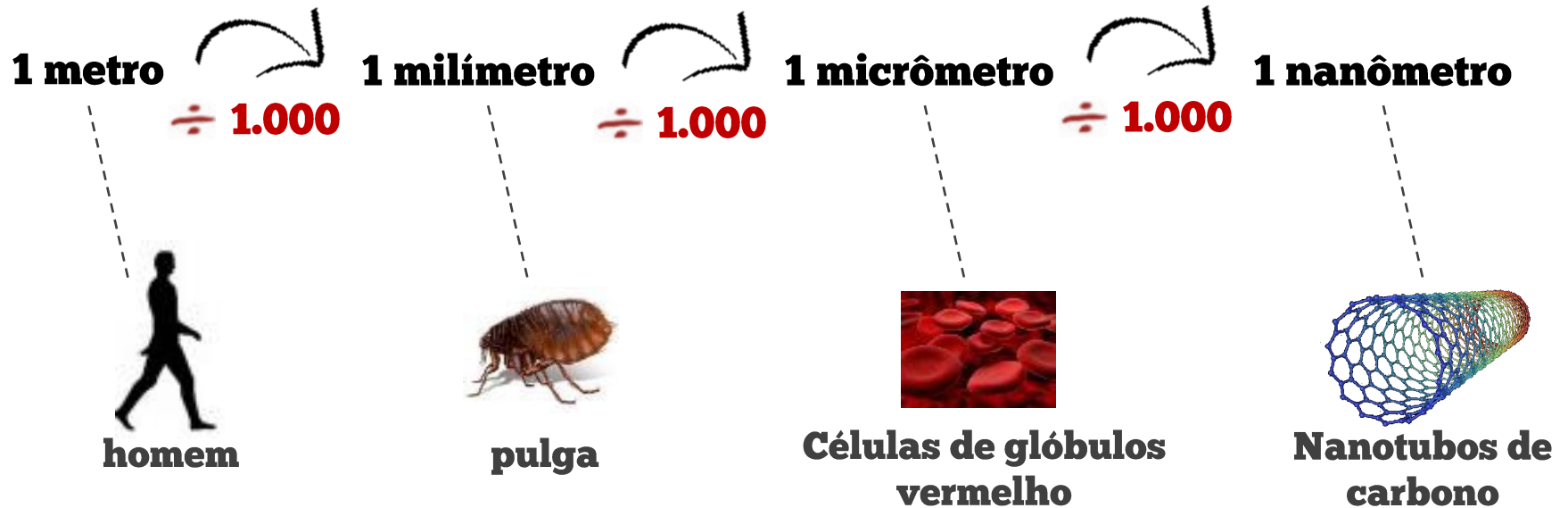


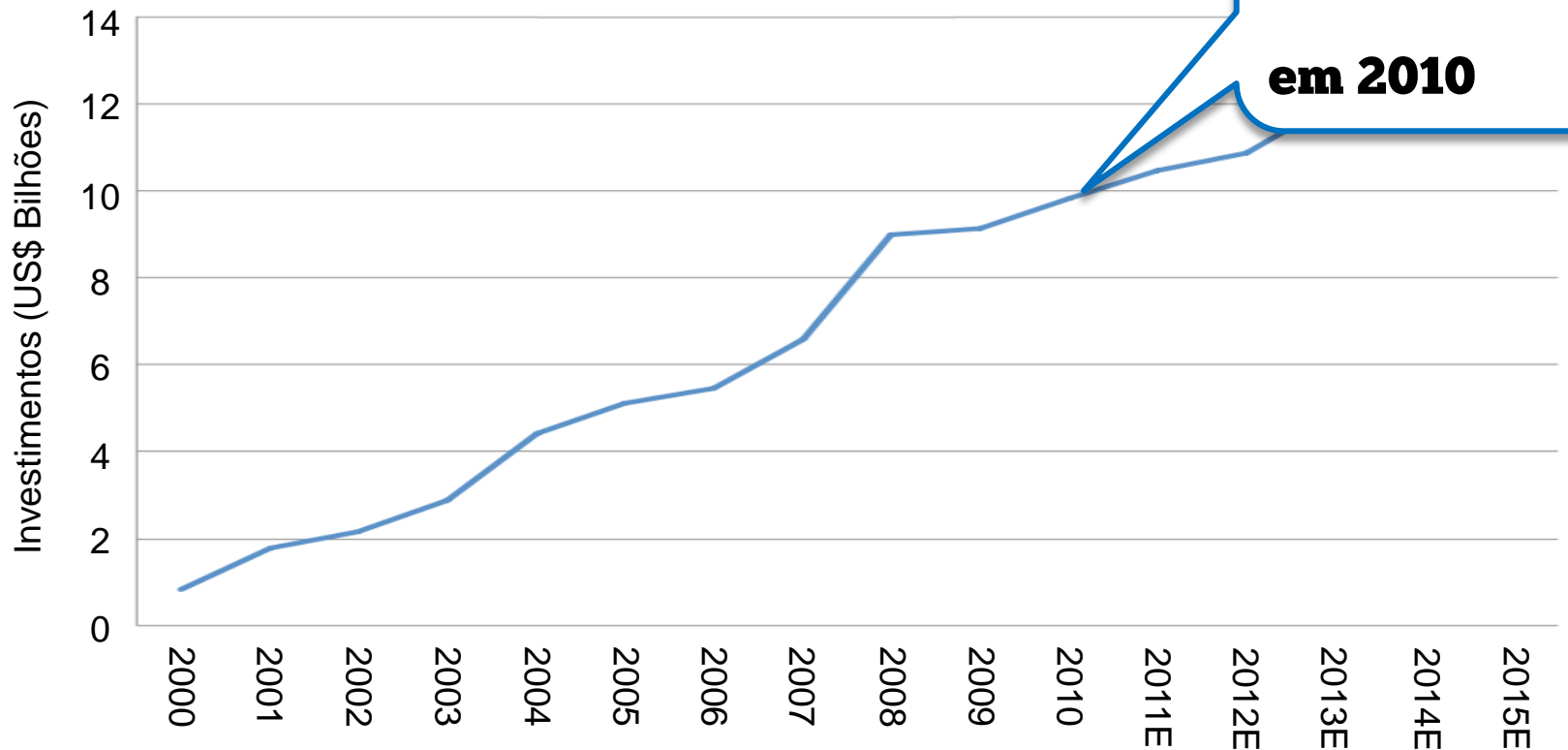
**Composites poliméricos  
com nanotubos de  
carbono e grafeno**

# Missão



*Colocar a **nanotecnologia** a serviço do **desenvolvimento tecnológico e sustentável**, fornecendo produtos e serviços em **plásticos e borrachas** com **nanomateriais de carbono**.*



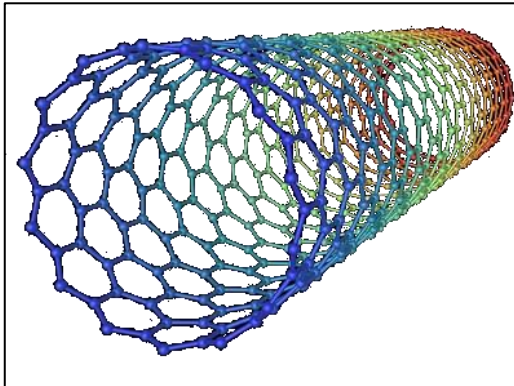


**10 bilhões  
de dólares  
em 2010**

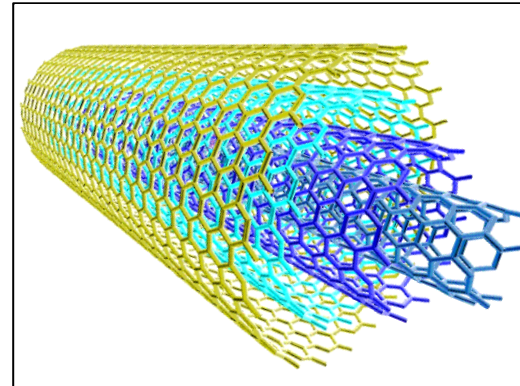
Investimentos internacionais governamentais entre 2000 e 2015.

Fonte: Científica, 2012.

Nanotubos de carbono (CNT) são materiais que podem ser entendidos por folhas de carbono que se enrolam na forma de um cilindro.



Nanotubos de carbono de  
parede simples



Nanotubos de carbono de  
paredes múltiplas

# Propriedades dos nanotubos de carbono

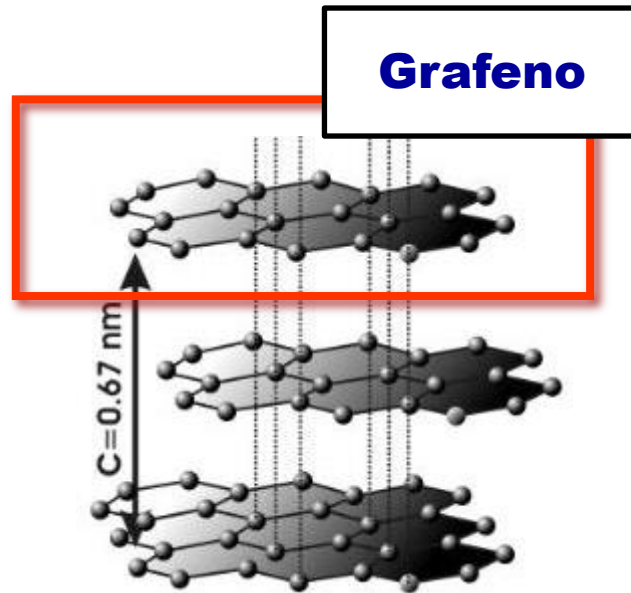
Módulo de Young entre 270 e 950 GPa

Resistência à tração entre 11 e 63 GPa

Condutividade térmica entre 200 e 3000 W/mK

Elevada área superficial

Grafeno são folhas planas de átomos de carbono



# Propriedades do grafeno

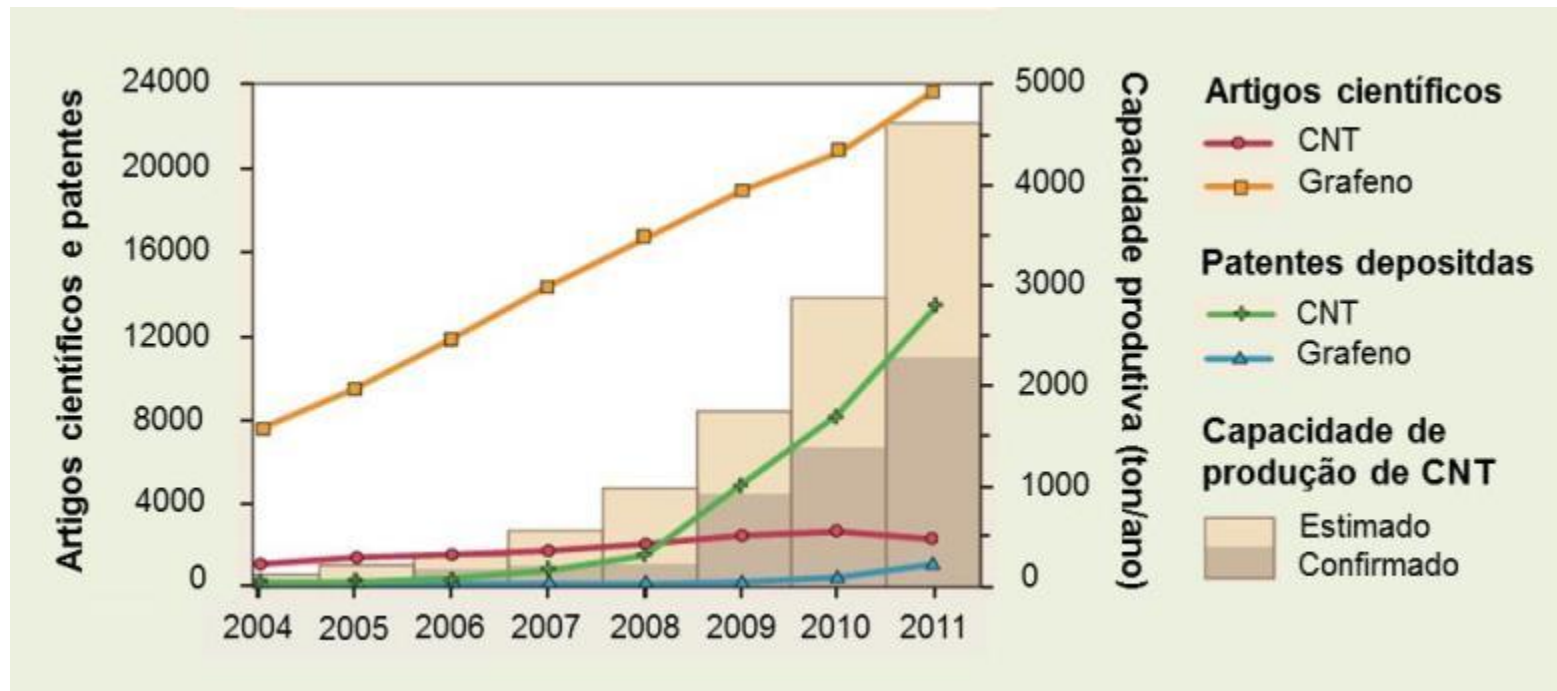
Módulo de Young ~ 1 TPa

Resistência à tração ~ 130 GPa

Condutividade térmica ~ 3000 W/mK

Elevada área superficial





## Nanomateriais

Estruturas em  
nanoescala não  
processadas

Nanotubos de  
carbono, grafeno, etc.

## Nanointermediários

Produtos  
intermediários com  
componentes em  
nanoescala

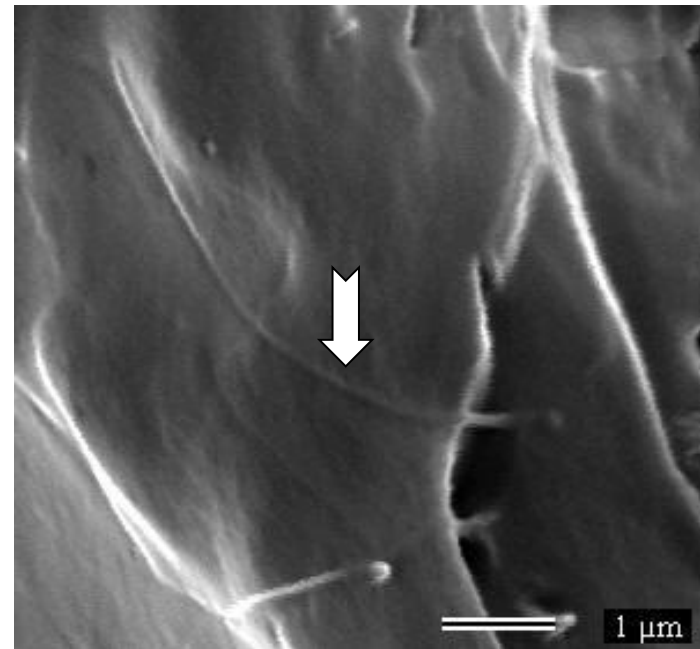
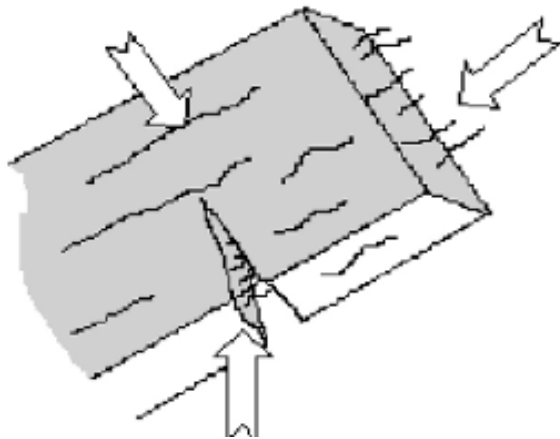
Composites,  
suspensões, etc.

## Nanoaplicações

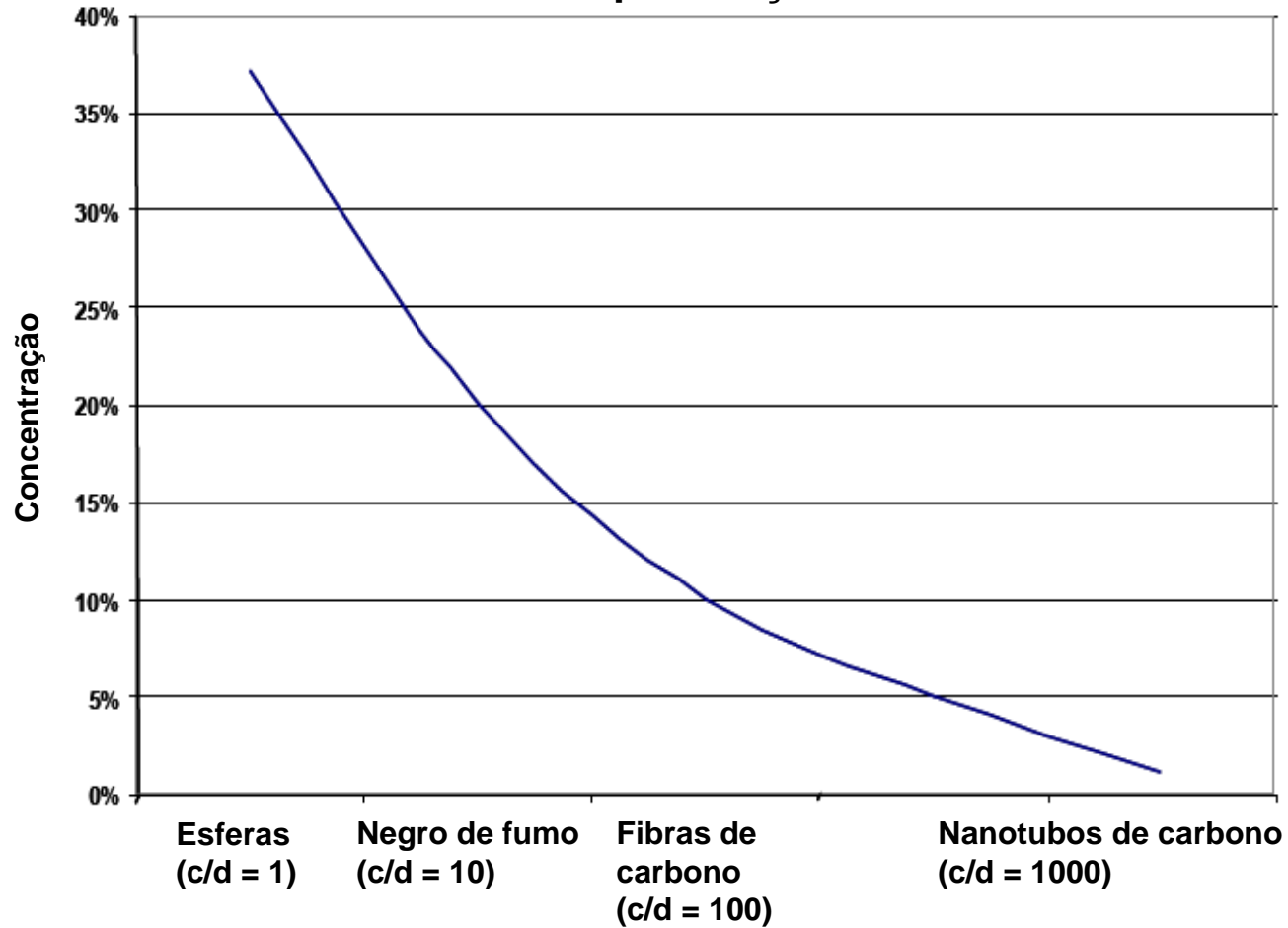
Bens de  
consumo  
incorporando  
nanotecnologias

Peças estruturais, adesivos,  
revestimentos, etc.

## Reforço mecânico

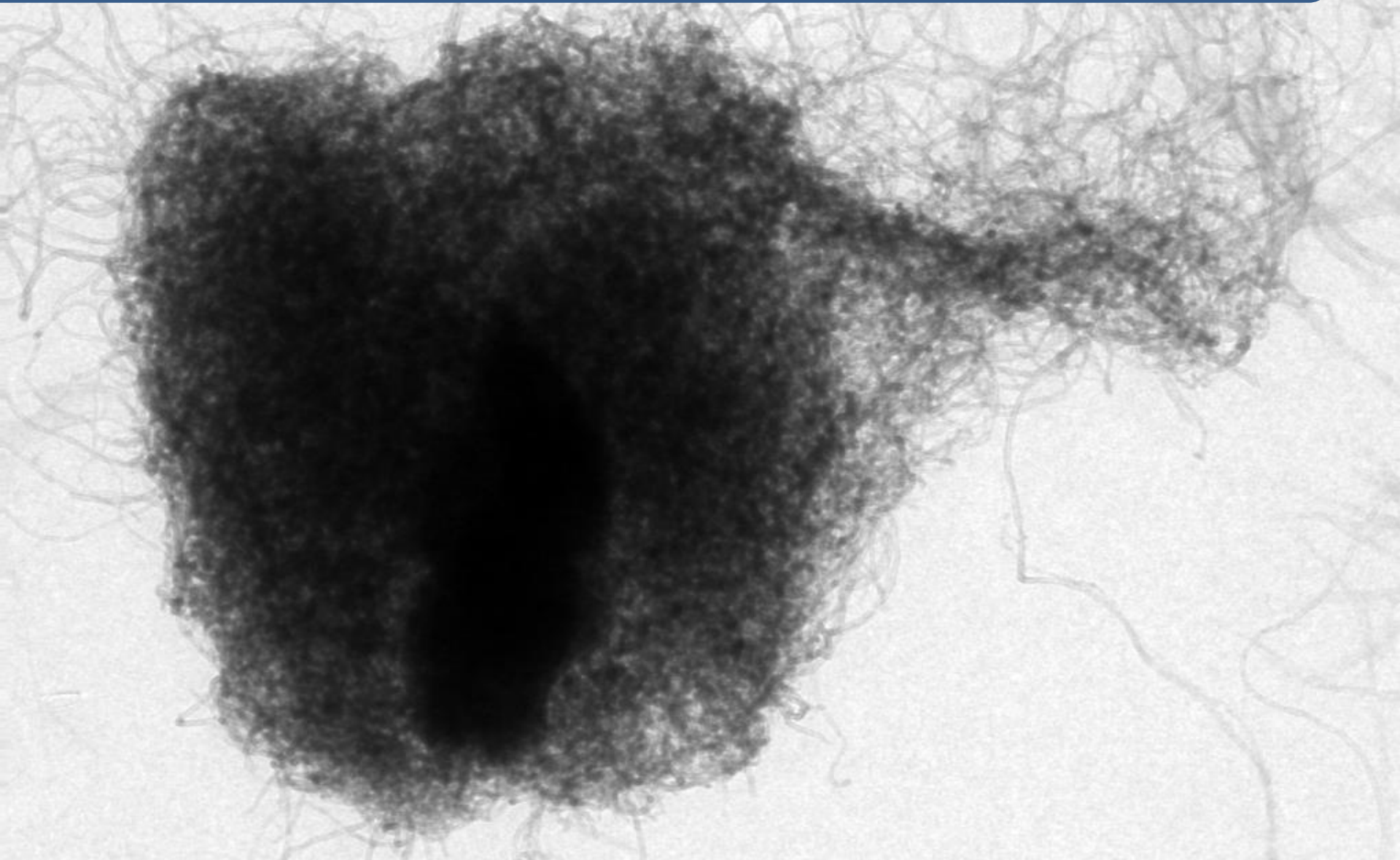


## Limiar de percolação teórico



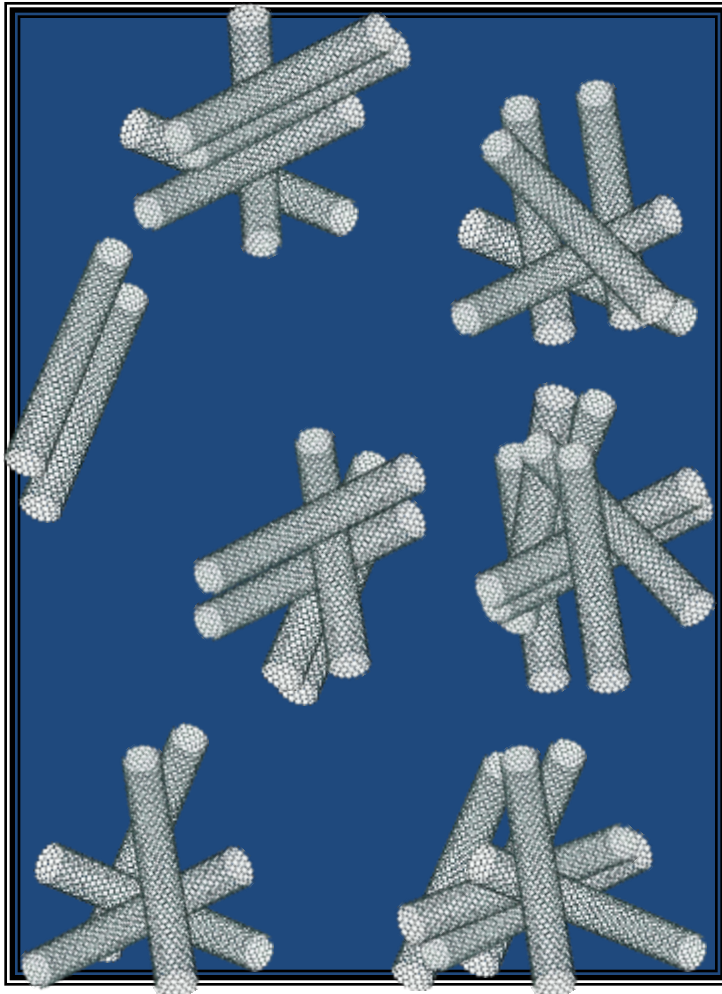
FONTE: Collins e Hagerstrom: <http://www.fibrils.com/PDFs/Perf%20Composites%20paper%202002-04-11.pdf>. (modificado).

Desafio: dispersão dos nanomateriais de carbono



## **Dispersão deficiente:**

- composite isolante ou condutividade elétrica baixa,
- propriedades mecânicas similares ao polímero puro ou inferiores.



## **Dispersão eficiente:**

- percolação elétrica,
- desempenho mecânico otimizado.



**Modificação química dos  
nanomateriais**



**Processo de incorporação dos  
nanomateriais**

grupo de  
materiais  
poliméricos



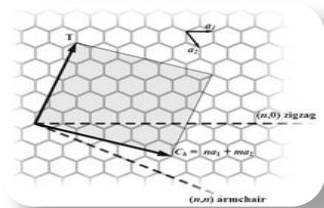
IPOL  
nanotecnologia







CTNANOTUBOS



**Pesquisa e  
Desenvolvimento**



**Produção piloto**



**Transferência de  
tecnologia**



**Prestação de  
serviços**

**Mais de 5 mil toneladas de MWCNT produzidas mundialmente por ano**



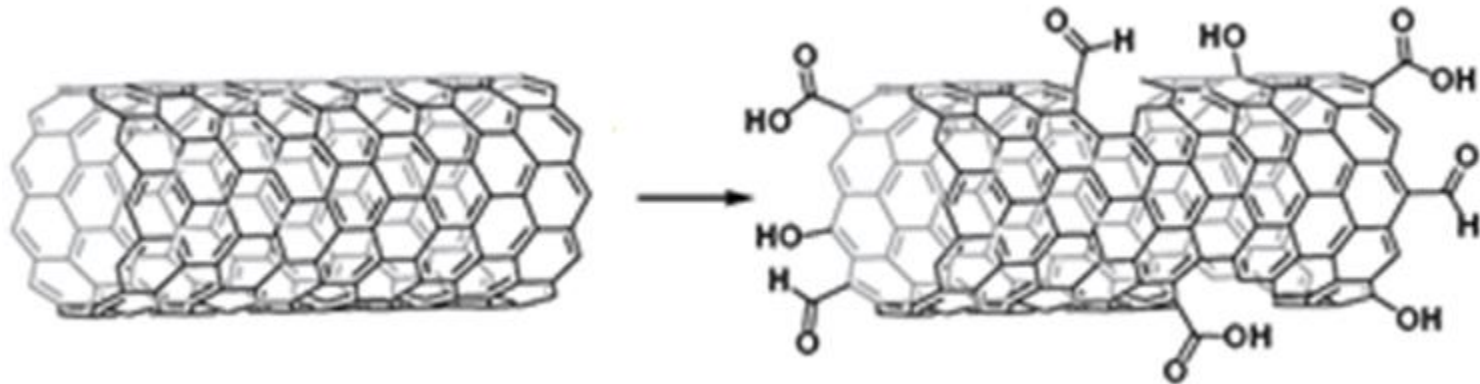
[CheapTubes.com](http://CheapTubes.com)

**Capacidade de produção na UFMG: 20g/dia/forno**



**Laboratório de Nanomateriais (DF/UFMG)**

**Capacidade de modificação química: 12g/dia**



**Capacidade de modificação química: 12g/dia**

**Redução do consumo de ácidos em 70 vezes**

**Redução do tempo de processamento**

**Obtenção de um alto grau de modificação química**

**Possibilidade de modulação do grau de modificação química**



**Agitação mecânica**



**Dispersão ineficaz**

**Mistura de CNT  
no polímero  
por técnicas  
específicas**

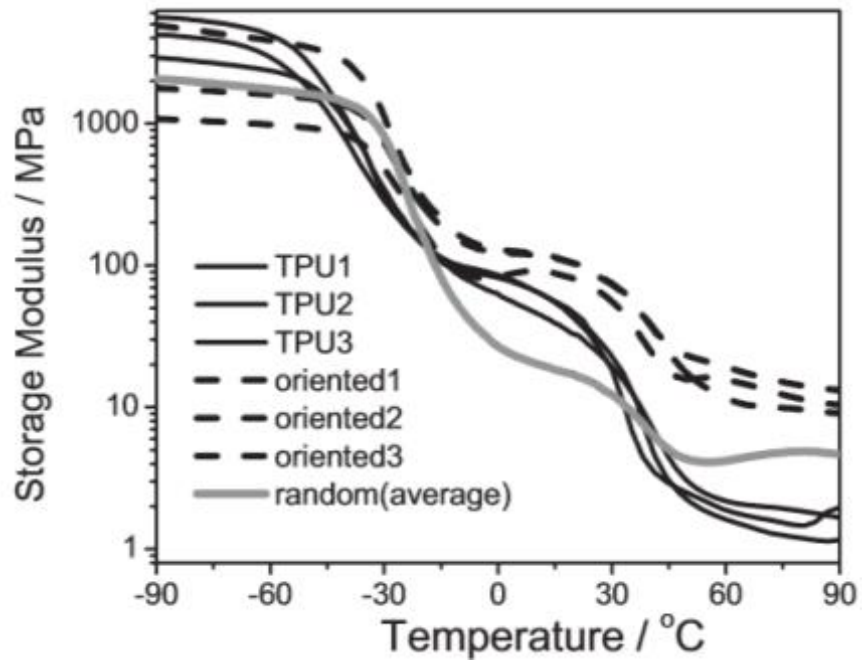


***Masterbatch***



**Diluição por  
agitação mecânica**





↑ **1000%** - módulo de estocagem a 70°C

**PU termorrígido**



**CNT**

(sem e com modificação química)



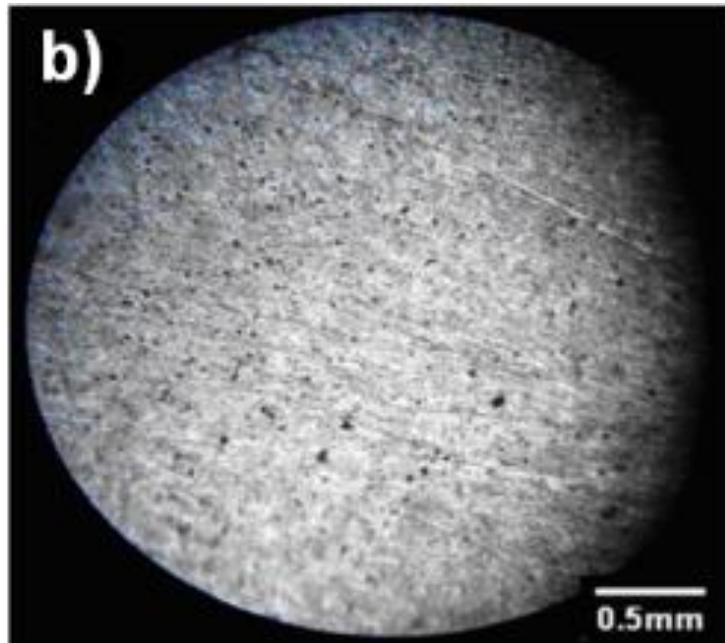
***Masterbatch***

5% m/m

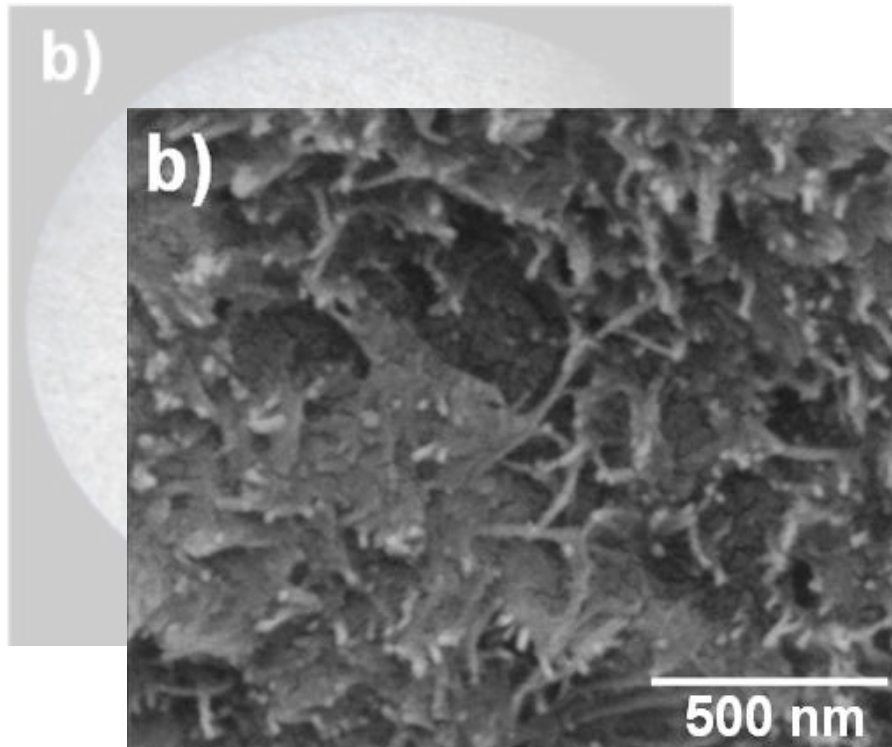


**Composite final**

0,5% m/m

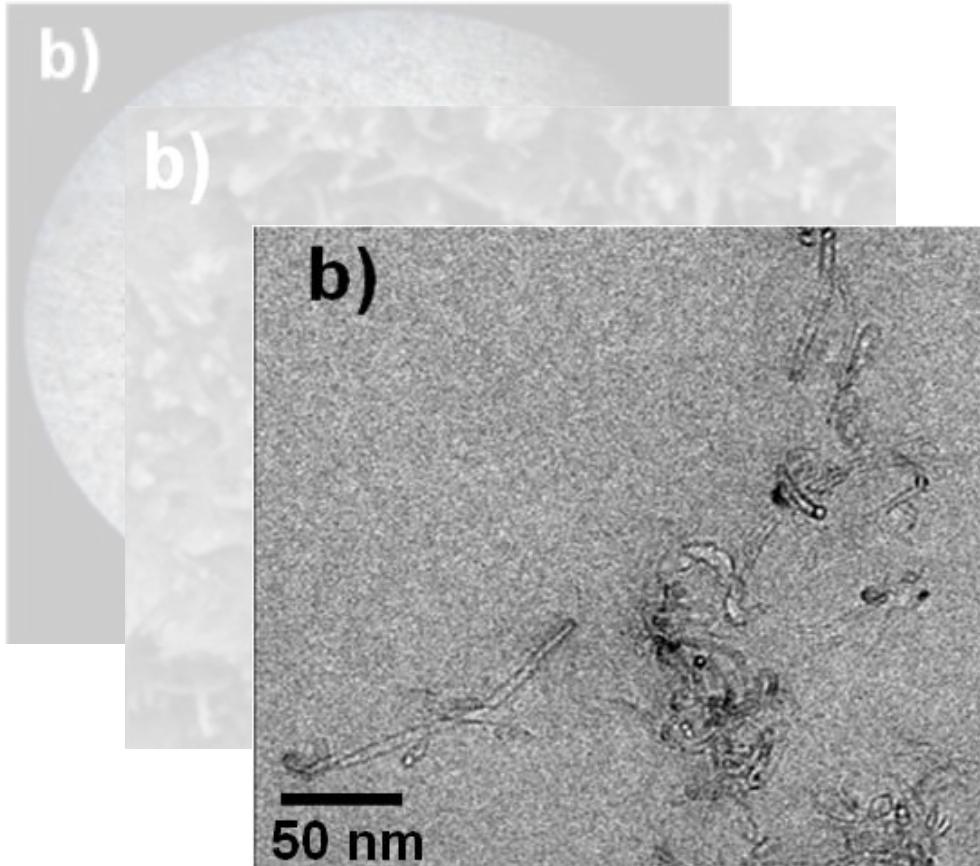


## Microscopia ótica



**Microscopia ótica**

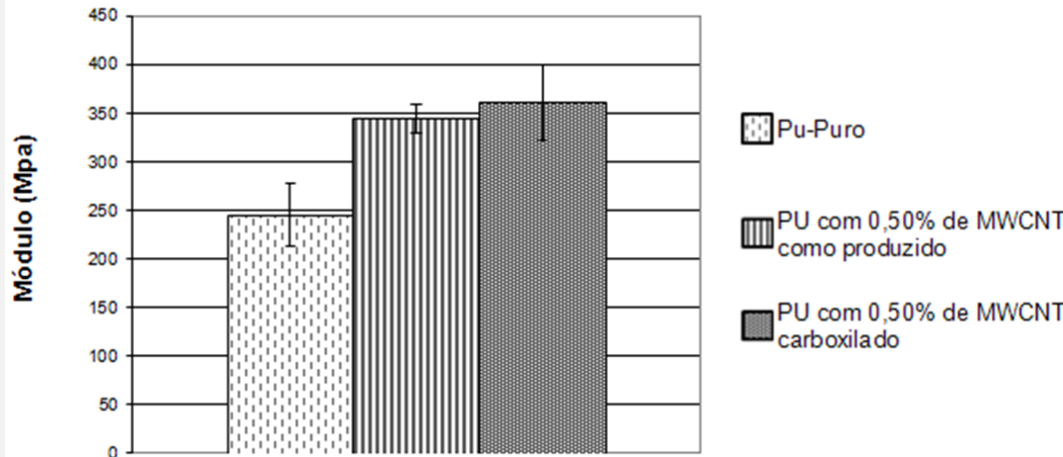
**Microscopia Eletrônica  
de Varredura**



**Microscopia ótica**

**Microscopia Eletrônica  
de Varredura**

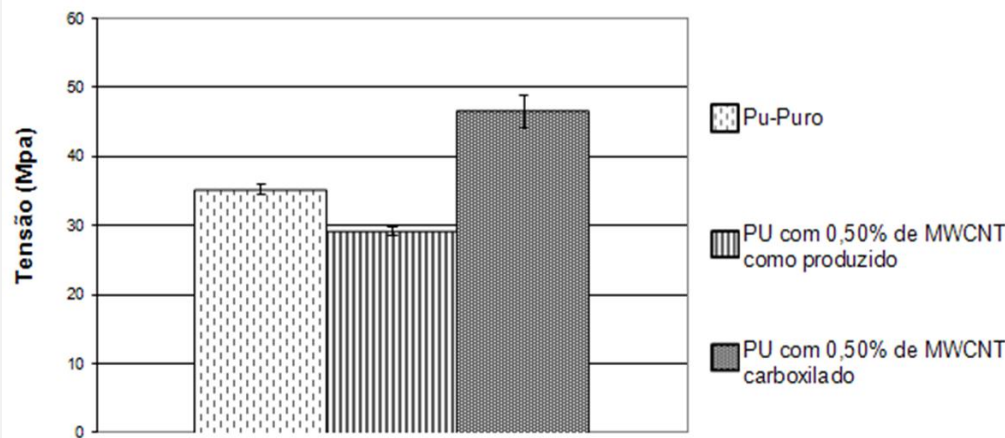
**Microscopia Eletrônica  
de Transmissão**



## Módulo de elasticidade:

↑ **47%** - **CNT modificado**

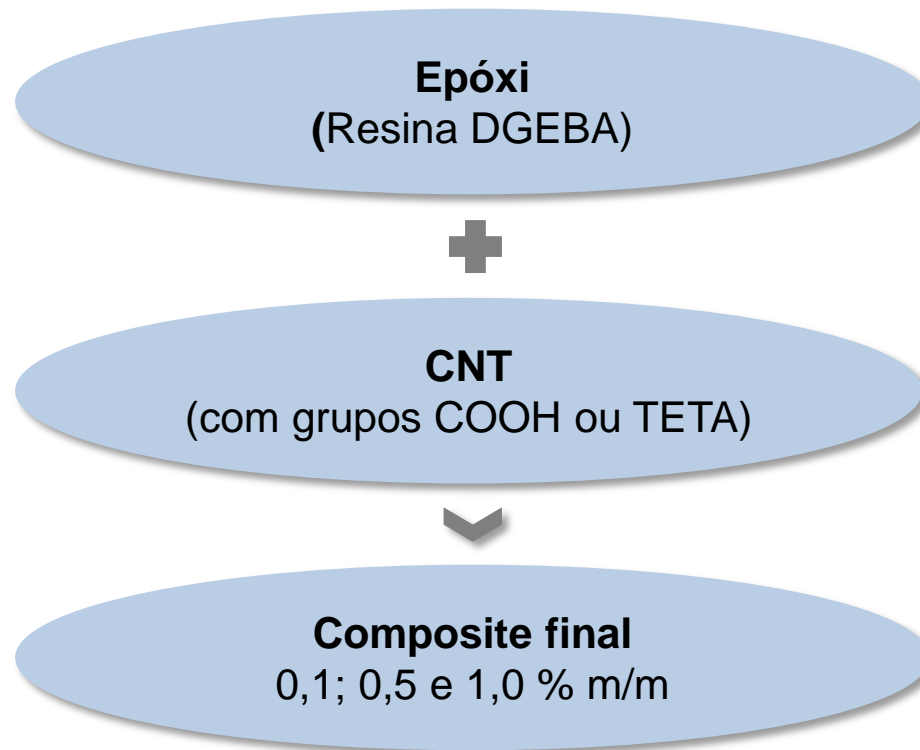
↑ **40%** - **CNT não modificado**



## Tensão na ruptura:

↑ **32%** - **CNT modificado**

↓ **17%** - **CNT não modificado**



## Transição vítrea

Amostras	% em massa de MWCNT	T <sub>g</sub> / °C	ΔT <sub>g</sub> / °C
Epóxi	0,0	124,0 ± 1,0	0,0
Epóxi/ MWCNT- COOH	0,1	138,8 ± 2,5	+ 14,8
	0,5	134,4 ± 2,8	+ 10,4
	1,0	134,8 ± 3,6	+ 10,8
Epóxi/ MWCNT-TETA	0,1	134,4 ± 2,6	+ 10,4
	0,5	143,3 ± 1,0	+ 19,3
	1,0	126,7 ± 2,7	+ 2,7



## Transição vítrea

Amostras	% em massa de MWCNT	T <sub>g</sub> / °C	ΔT <sub>g</sub> / °C
Epóxi	0,0	124,0 ± 1,0	0,0
Epóxi/ MWCNT- COOH	0,1	138,8 ± 2,5	+ 14,8
	0,5	134,4 ± 2,8	+ 10,4
	1,0	134,8 ± 3,6	+ 10,8
Epóxi/ MWCNT-TETA	0,1	134,4 ± 2,6	+ 10,4
	0,5	143,3 ± 1,0	+ 19,3
	1,0	126,7 ± 2,7	+ 2,7

## Transição vítrea

Amostras	% em massa de MWCNT	T <sub>g</sub> / °C	ΔT <sub>g</sub> / °C
Epóxi	0,0	124,0 ± 1,0	0,0
Epóxi/ MWCNT- COOH	0,1	138,8 ± 2,5	+ 14,8
	0,5	134,4 ± 2,8	+ 10,4
	1,0	134,8 ± 3,6	+ 10,8
Epóxi/ MWCNT-TETA	0,1	134,4 ± 2,6	+ 10,4
	0,5	143,3 ± 1,0	+ 19,3
	1,0	126,7 ± 2,7	+ 2,7

## Resistência ao impacto

Amostras	% em massa de MWCNT	Resistência ao impacto/ kJ/m <sup>2</sup>	% de aumento
Epóxi	0,0	1,38 ± 0,15	-
Epóxi/ MWCNT- COOH	0,1	2,50 ± 0,18	81%
	0,5	1,60 ± 0,24	16%
	1,0	1,60 ± 0,21	16%
Epóxi/ MWCNT- TETA	0,1	4,94 ± 0,34	258%
	0,5	4,11 ± 0,30	198%
	1,0	2,38 ± 0,21	72%

## Resistência ao impacto

Amostras	% em massa de MWCNT	Resistência ao impacto/ kJ/m <sup>2</sup>	% de aumento
Epóxi	0,0	1,38 ± 0,15	-
Epóxi/ MWCNT- COOH	0,1	2,50 ± 0,18	81%
	0,5	1,60 ± 0,24	16%
	1,0	1,60 ± 0,21	16%
Epóxi/ MWCNT- TETA	0,1	4,94 ± 0,34	258%
	0,5	4,11 ± 0,30	198%
	1,0	2,38 ± 0,21	72%

## Resistência ao impacto

Amostras	% em massa de MWCNT	Resistência ao impacto/ kJ/m <sup>2</sup>	% de aumento
Epóxi	0,0	1,38 ± 0,15	-
Epóxi/ MWCNT- COOH	0,1	2,50 ± 0,18	81%
	0,5	1,60 ± 0,24	16%
	1,0	1,60 ± 0,21	16%
Epóxi/ MWCNT- TETA	0,1	4,94 ± 0,34	258%
	0,5	4,11 ± 0,30	198%
	1,0	2,38 ± 0,21	72%

**Epóxi**  
(Resina DGEBA)



**Óxido de grafeno (GO)**  
(sem e com grupos TETA)



**Composite final**  
0,5; 1,0 e 3,0 % m/m

**Transição vítrea**

Amostras	% em massa de MWCNT	T <sub>g</sub> / °C	ΔT <sub>g</sub> / °C
Epóxi	0,0	124,2 ± 0,3	0,0
GO	0,5	142,0 ± 0,3	+ 17,8
	1,0	134,9 ± 0,6	+ 10,7
	3,0	143,2 ± 0,6	+ 19,0
GO-TEPA	0,5	133,9 ± 0,6	+ 9,7
	1,0	143,4 ± 0,5	+ 19,2
	3,0	138,4 ± 0,8	+ 14,2

**Transição vítrea**

Amostras	% em massa de MWCNT	T <sub>g</sub> / °C	ΔT <sub>g</sub> / °C
Epóxi	0,0	124,2 ± 0,3	0,0
GO	0,5	142,0 ± 0,3	+ 17,8
	1,0	134,9 ± 0,6	+ 10,7
	3,0	143,2 ± 0,6	+ 19,0
GO-TEPA	0,5	133,9 ± 0,6	+ 9,7
	1,0	143,4 ± 0,5	+ 19,2
	3,0	138,4 ± 0,8	+ 14,2

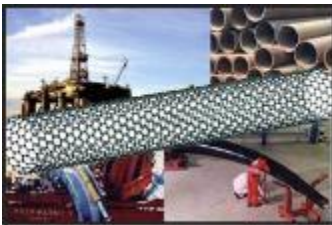


**Transição vítrea**

Amostras	% em massa de MWCNT	T <sub>g</sub> / °C	ΔT <sub>g</sub> / °C
Epóxi	0,0	124,2 ± 0,3	0,0
GO	0,5	142,0 ± 0,3	+ 17,8
	1,0	134,9 ± 0,6	+ 10,7
	3,0	143,2 ± 0,6	+ 19,0
GO-TEPA	0,5	133,9 ± 0,6	+ 9,7
	1,0	143,4 ± 0,5	+ 19,2
	3,0	138,4 ± 0,8	+ 14,2



## Soluções em produtos



**Concentrado  
de polímero  
com nanotubo**



**Nanotubos  
funcionalizados**



**Projetos  
sob demanda**



**Caracterização**



**Consultoria**

## Contato



**Vinicius Gomide**  
Sócio-Diretor

+55 31 8876-7769

[viniciusgomide@ipolnano.com.br](mailto:viniciusgomide@ipolnano.com.br)