

**Nº 179444**

**Um panorama sobre grafeno e seus derivados em Coatins**

**Dane Lopes Francisco**

*Palestra apresentado no SEMINÁRIO  
BRASILEIRO DE PINTURA  
ANTICORROSIVA, 10., 2024, São Paulo.  
32 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.

**PROIBIDO REPRODUÇÃO**

## FORMULÁRIO DE REGISTRO DE PRODUÇÃO BIBLIOGRÁFICA IPT

O objetivo do preenchimento deste formulário é o de permitir, além do registro sistemático da produção bibliográfica do corpo técnico do Instituto, servir como instrumento para assegurar a memória das publicações e auxiliar na sua divulgação das competências do IPT.

Dados do trabalho
Título do trabalho: Um panorama sobre grafeno e seus derivados em Coatings
Autor(es)/CRD**: Danae Lopes Francisco

Tipo de Publicação		
<input type="checkbox"/> Artigo de evento	Dados do Evento	<input checked="" type="checkbox"/> Nacional  <input type="checkbox"/> Internacional
	Local:	
	Título:	
	Ano:	
<input type="checkbox"/> Artigo de Jornal	Dados do Jornal	
	Título:	
	Nº:	
	Ano:	
<input type="checkbox"/> Artigo de Revista	Dados da Revista	
	Título:	
	Nº:	
	Ano:	
<input type="checkbox"/> Capítulo de Livro	Dados do Livro	
	Título:	
	Imprenta*:	
	Paginação:	
<input type="checkbox"/> Livro	Dados do Livro	
	Título:	
	Imprenta*:	
<input checked="" type="checkbox"/> Palestra	Dados da Palestra	
	Local: ABRACO - IPT	
	Ano: 2024	
<input type="checkbox"/> Outros	Especifique:	
Programa "Novos Talentos"?		Sim <input type="checkbox"/> Não <input checked="" type="checkbox"/>
Resultado de projeto de capacitação? Sim <input type="checkbox"/> Qual?		Não <input checked="" type="checkbox"/>

\*Imprenta: Local, editora e ano.

\*\*Colocar o CRD de cada autor do IPT/FIPT.

Autorizações:
<input checked="" type="checkbox"/> Sim, disponibilizar o trabalho no Banco de Dados da Biblioteca do IPT ( <a href="#">internet</a> ).
<input checked="" type="checkbox"/> Sim, disponibilizar o trabalho no Banco de Dados da Biblioteca do IPT ( <a href="#">intranet</a> ).
<input type="checkbox"/> Não disponibilizar o trabalho no Banco de Dados da Biblioteca do IPT.

Preenchido por: Danae Lopes Francisco	Data: 11/12/2024
---------------------------------------	------------------

10<sup>a</sup>  
EDIÇÃO

# SBPA

## Seminário Brasileiro de Pintura Anticorrosiva

📅 31 de outubro de 2024 📍 IPT / SP

### Certificado

## Danae Lopes Francisco

participou como PALESTRANTE no **X Seminário Brasileiro de Pintura Anticorrosiva - SBPA**, realizado no dia 31 de outubro de 2024, no IPT / SP.

*Neusvaldo Lira*  
Neusvaldo Lira de Almeida

Presidente da ABRACO

REALIZAÇÃO



PATROCÍNIO  
DIAMANTE





**SBPA**

Seminário Brasileiro  
de Pintura Anticorrosiva

31 de outubro de 2024 – IPT/SP

# Um panorama sobre grafeno e seus derivados em *Coatings*

**Danae Lopes Francisco**

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT )

Realização



1986

- primeira proposta do termo “grafeno”

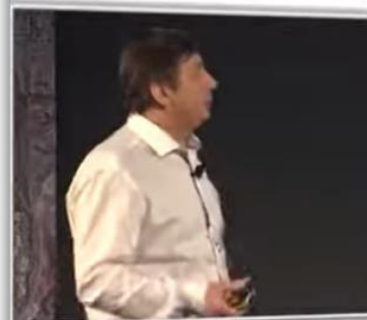
2004

- fita adesiva que foi utilizada para esfoliar uma única camada de grafeno a partir da grafite

2010

- Prêmio Nobel em física, Prof. A. K. Geim and K. S. Novoselov pelos estudos pioneiros no grafeno na Universidade de Manchester (Reino Unido)

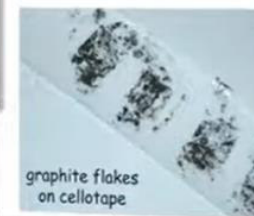
A random walk  
to graphene



Lloyd's Register  
Foundation

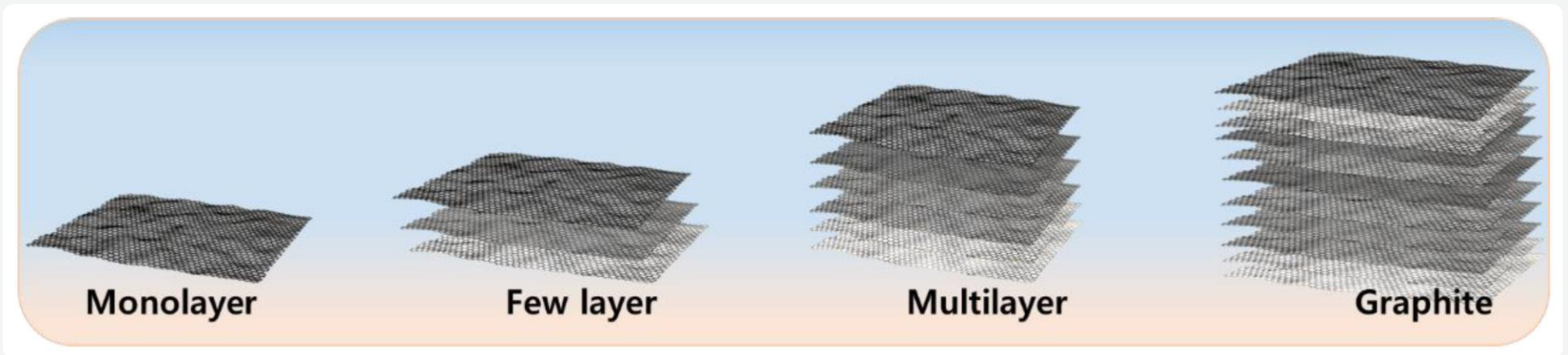
YET ANOTHER RANDOM IDEA ...

make films of graphite  
as thin as possible  
and study  
their properties



# Grafeno: onde tudo começou...

Fonte: INAGAKI; KANG, (2014)



**ISO/TS 80004-13:2024 (em substituição a de 2017): Nanotechnologies — Vocabulary — Part 13: Graphene and other two-dimensional (2D) materials:**

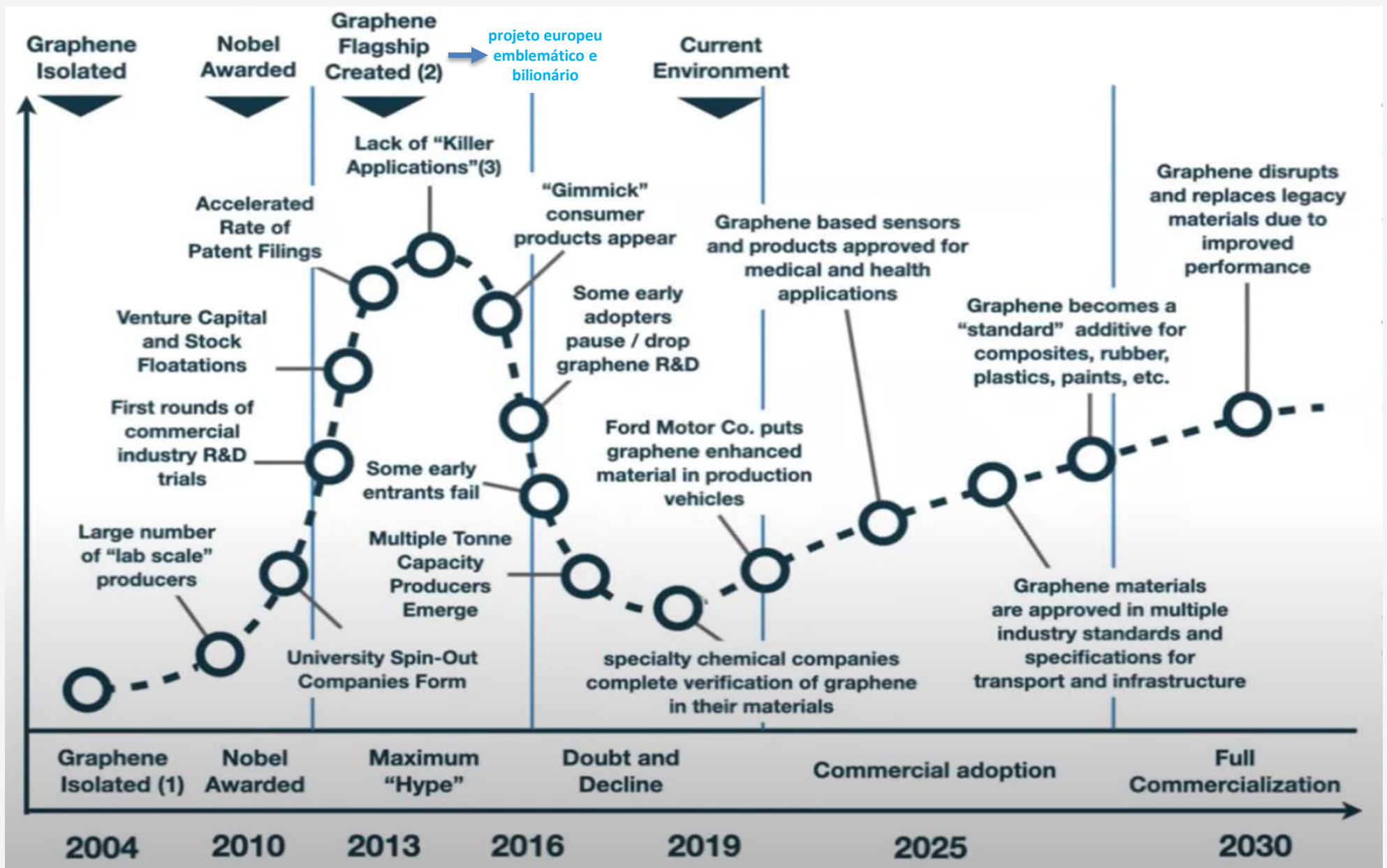
**Grafeno (*Graphene*) = camada de grafeno (*graphene layer*) = camada única de grafeno (*single-layered graphene*) = grafeno monocamada (*monolayer graphene*): 1LG**

camada única de átomos de carbono, com cada átomo ligado a três vizinhos em uma estrutura de favo de mel

material 2D com até 10 camadas de espessura para medições elétricas, acima das quais as propriedades do material não se diferem das do *bulk* (grafite)

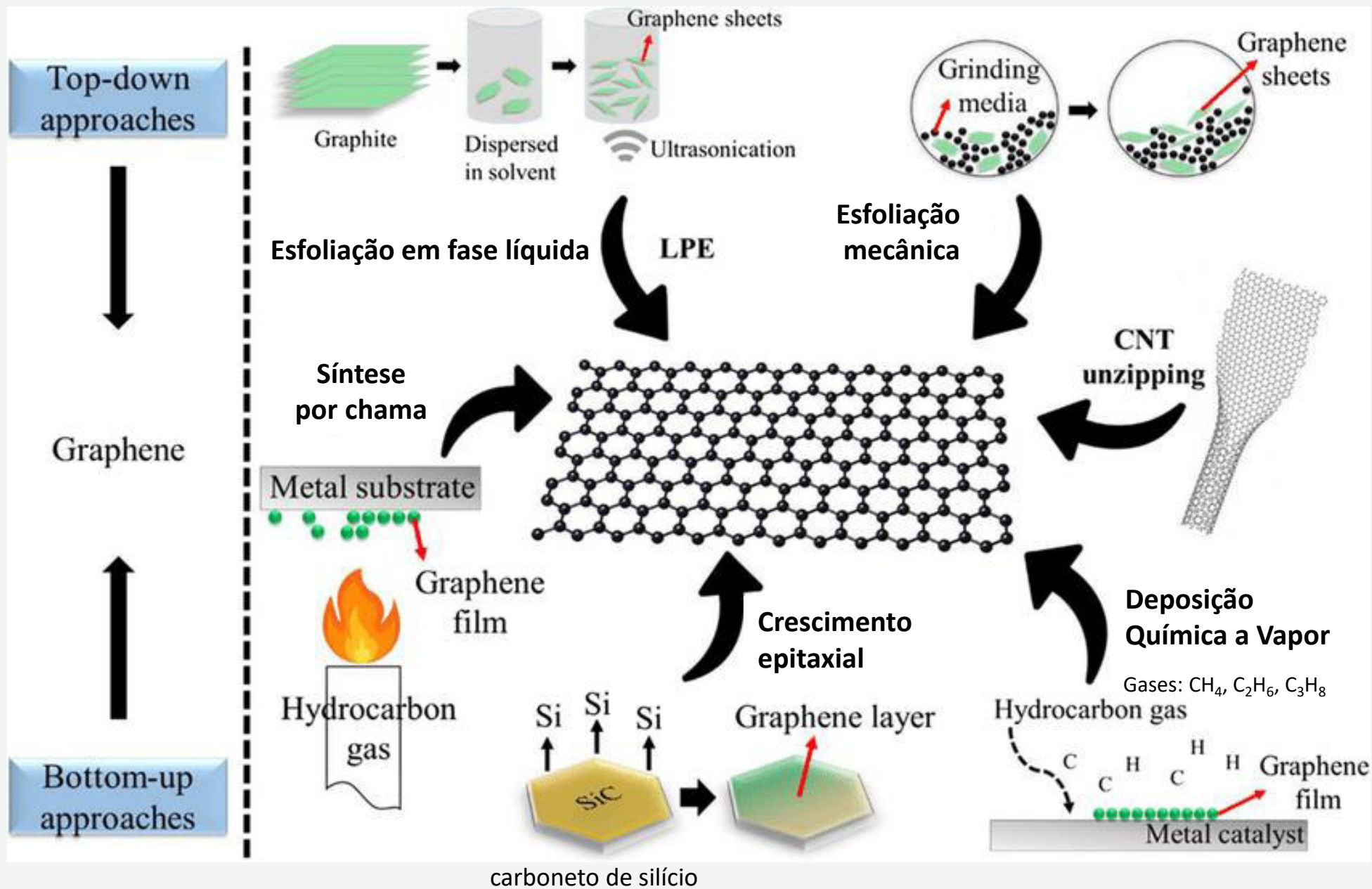
# Grafeno: definições





representação visual de como as tecnologias e aplicações evoluem desde o desenvolvimento até a adoção e eventual declínio

# Grafeno: *Hype cycle*



# Grafeno: métodos de síntese





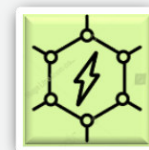
**Condutividade térmica elevada**  
3000–5000 W/mK

cobre ~ 400 W/mK (8 a 13 X)



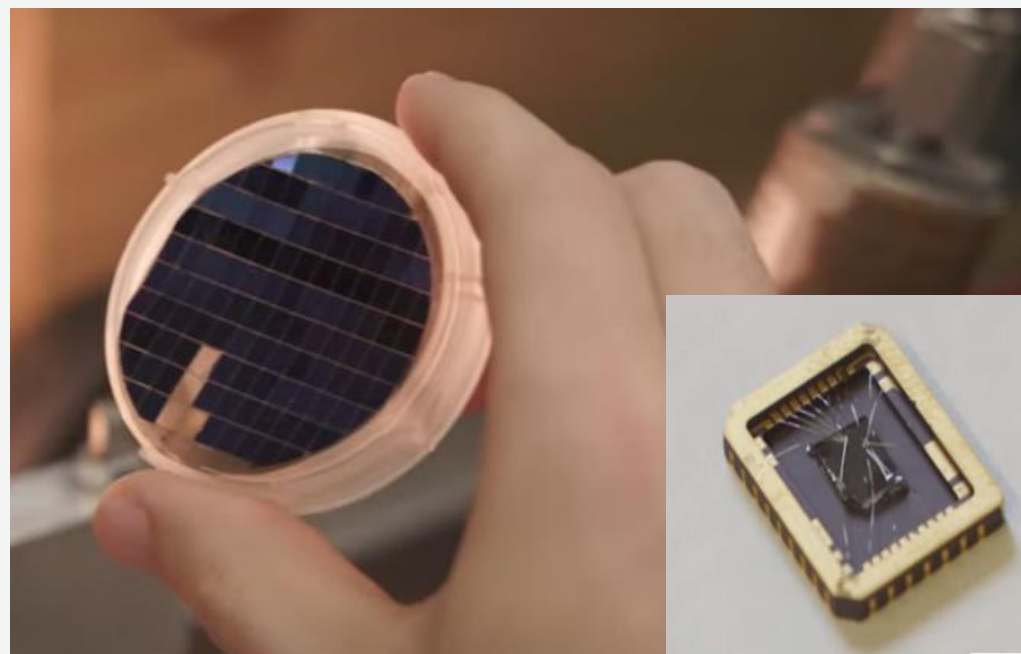
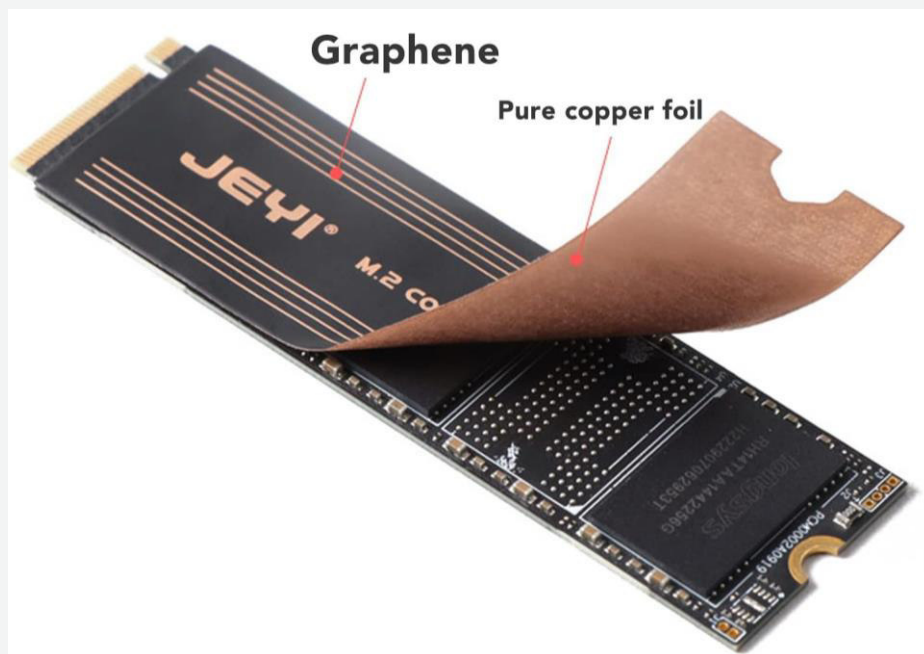
**Mobilidade eletrônica elevada**  
~ 200.000 cm<sup>2</sup>/Vs

Silício: 1.400 cm<sup>2</sup>/Vs (143 X)



**Condutividade elétrica elevada**  
~ 100 MS/m

cobre: 57 – 59 MS/m



# Grafeno: propriedades



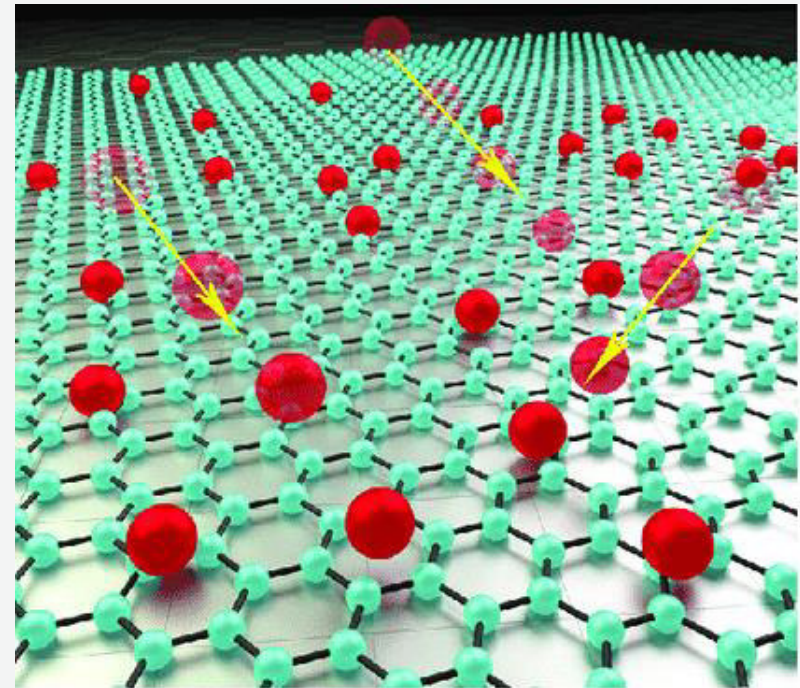
**Baixa espessura**  
(mais fino do mundo)  
0,334 nm



**Impermeabilidade**  
bloqueia todos os elementos  
(até He)



**ASE elevada**  
~ 2600 m<sup>2</sup>/g  
grafite (10 m<sup>2</sup> /g)



# Grafeno: propriedades



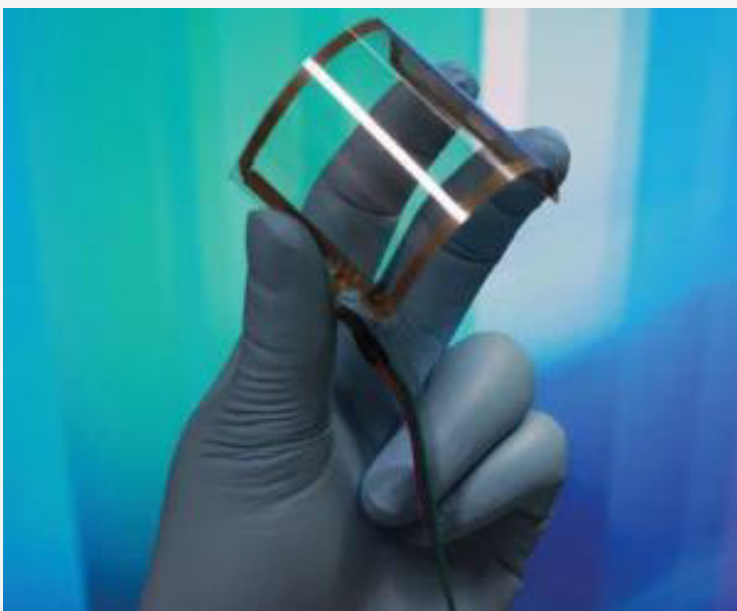
**Transparência óptica**  
elevada  
(97,4 % - 97,7%)



**Flexibilidade**  
alongamento reversível  
até 25 %



**Resistência UV**  
Bloqueia em até 70 % dos  
raios UV



# Grafeno: propriedades





### Rigidez

Módulo de Young  
~ 1 TPa/ 1000 GPa

Diamante natural 700 – 1200 GPa



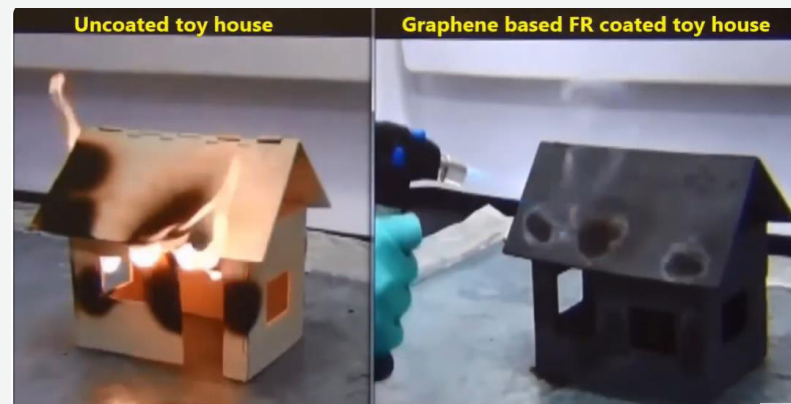
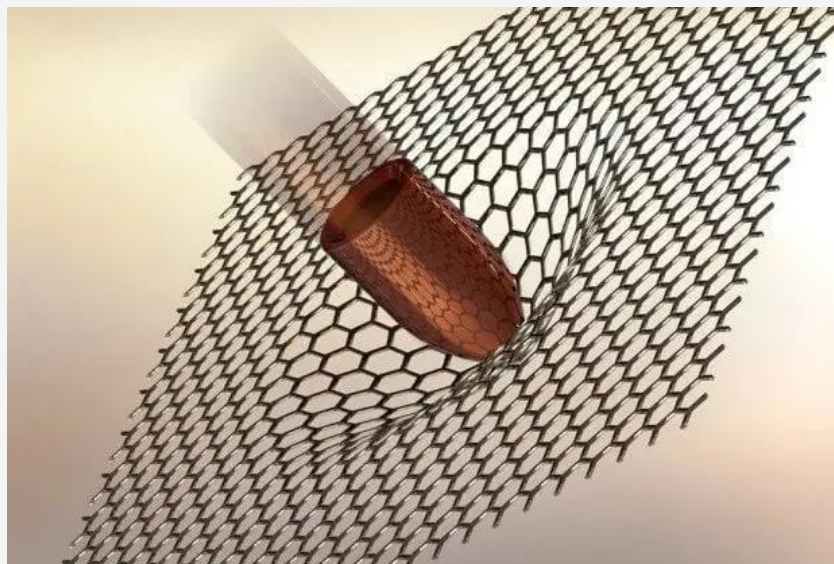
Resistência à tração elevada  
130 GPa

aço A36: 0,4 GPa (325 X)



### Retardante de chama

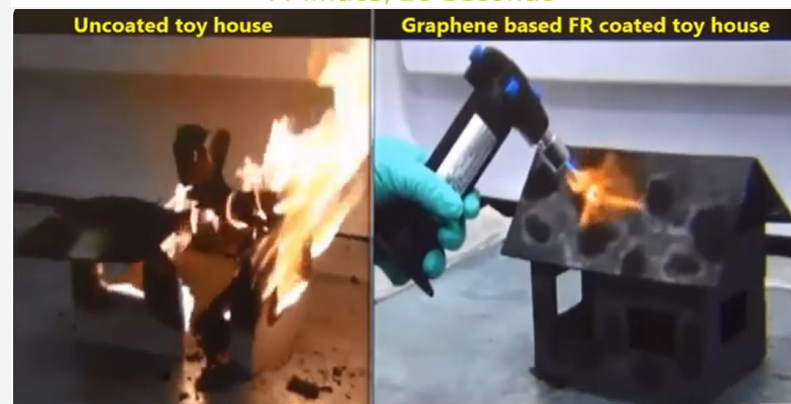
Reduz inflamabilidade  
quando adicionado a  
matrizes poliméricas



Uncoated toy house

Graphene based FR coated toy house

1 Minute, 20 Seconds



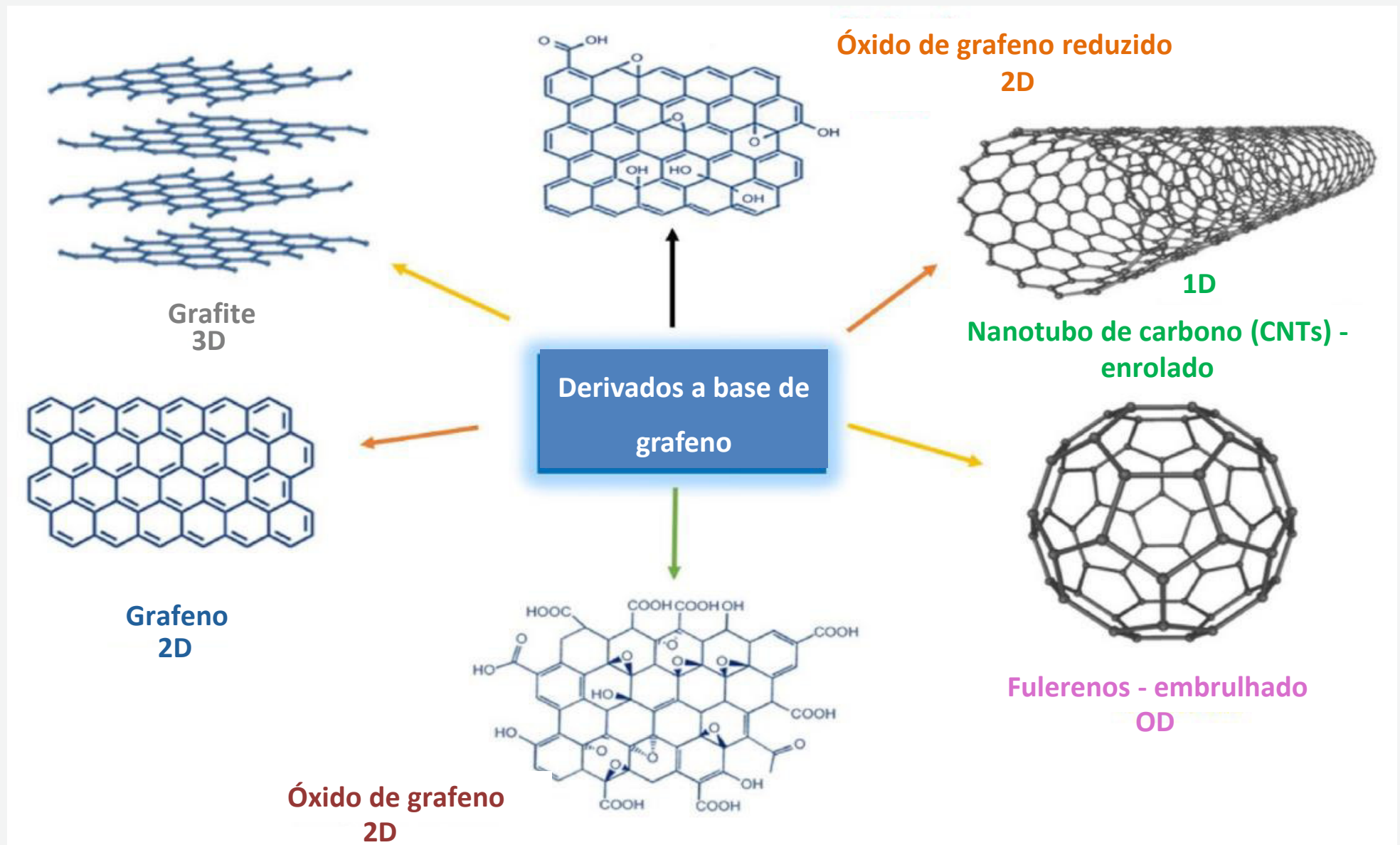
Uncoated toy house

Graphene based FR coated toy house

4 Minutes

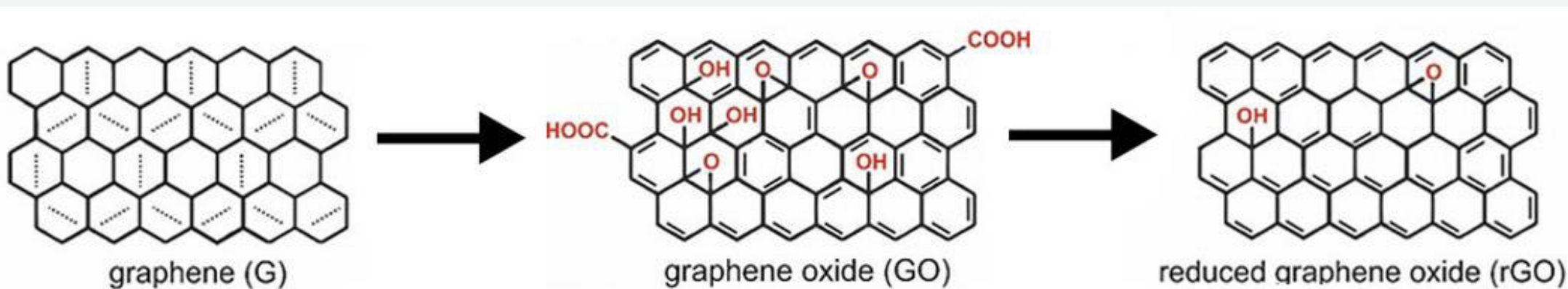
# Grafeno: propriedades





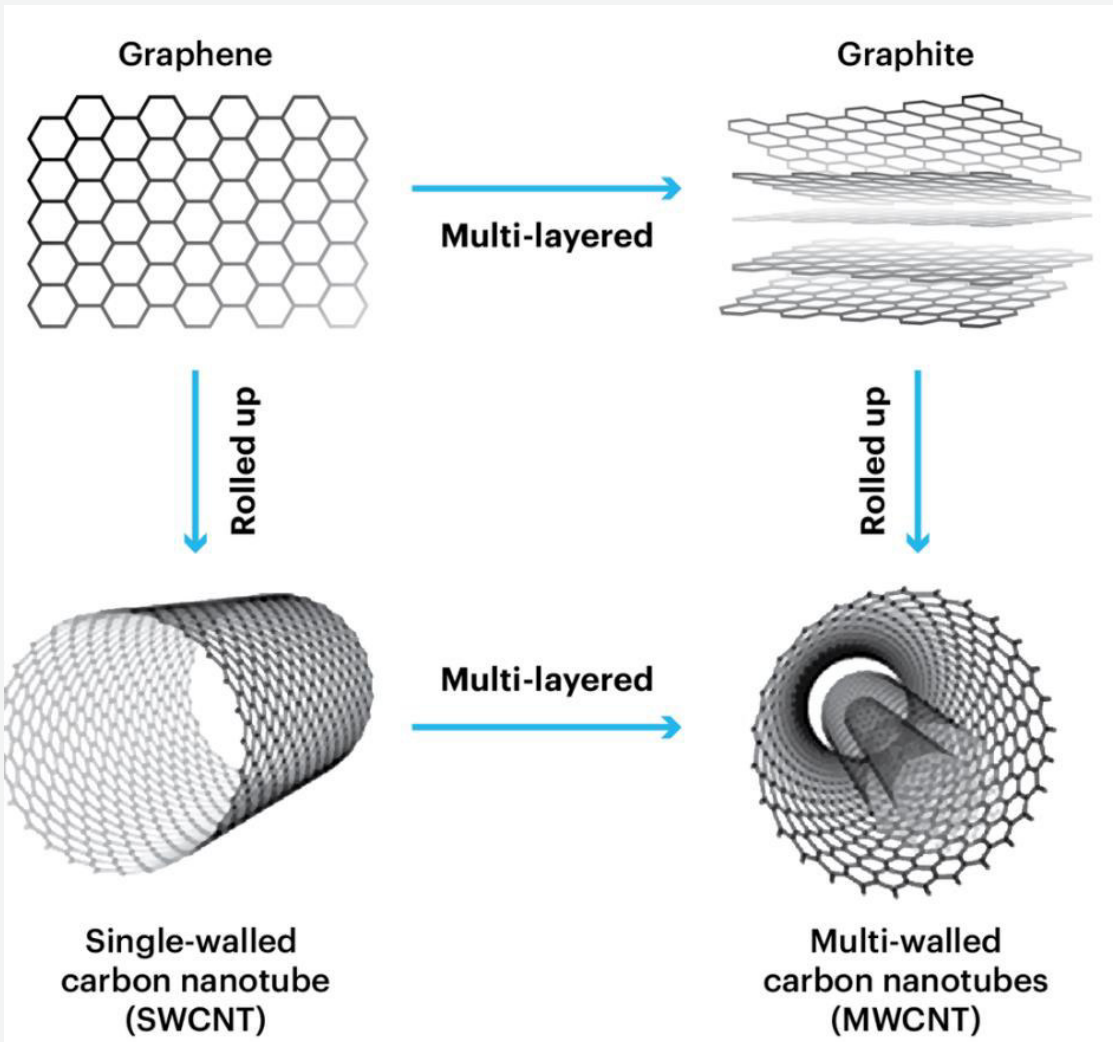
# Grafeno e seus derivados

## graphene - related 2D material



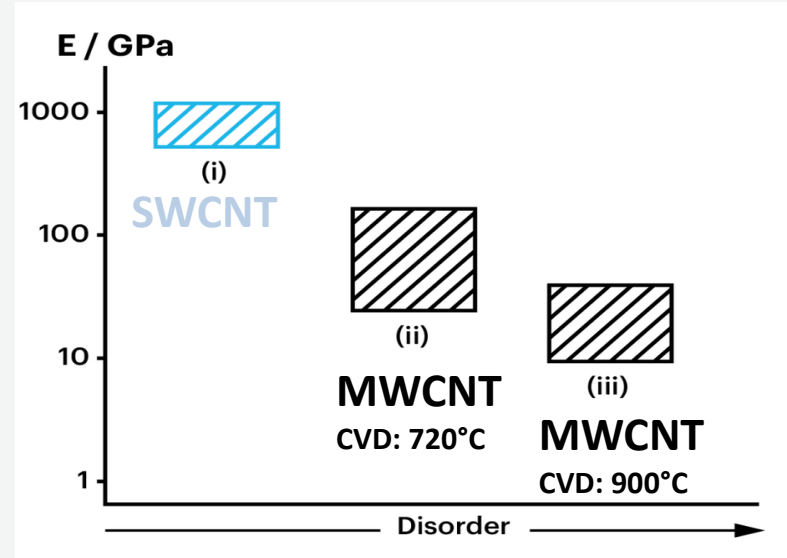
Óxido de grafeno (GO)	Óxido de grafeno reduzido (r-GO)
forma oxidada de grafite	r-GO é derivado do GO comportamento mais parecido ao do grafeno
grupos funcionais contendo oxigênio: <b>grupos carboxila, hidroxila</b> ou <b>epóxi</b> .	apresenta maior razão C:O (quase sem oxigênio)
comportamento <b>hidrofilico</b> (fortemente dependente do nível de oxidação)	comportamento <b>hidrofóbico</b> , (devido a perda de oxigênio na composição)
comportamento <b>isolante</b> ou <b>semicondutor</b>	elevada condutividade elétrica (ex. filme 6.300 S/cm)
<b>baixa</b> ASE (~ 890 m <sup>2</sup> /g)	<b>elevada</b> ASE como o grafeno (~2600 m <sup>2</sup> /g).
resistência mecânica do GO é menor que a do rGO: módulo de Young GO quase metade do rGO e grafeno	

# Grafeno e seus derivados



Nanotubos de carbono de parede única

Nanotubos de carbono múltiplas paredes

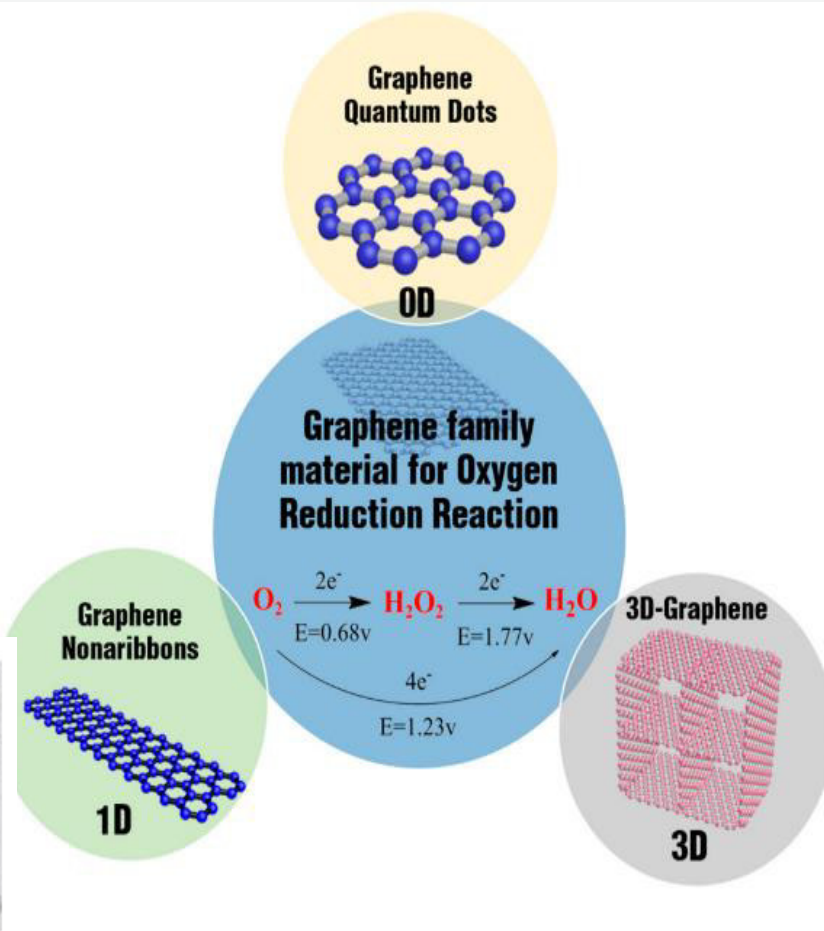
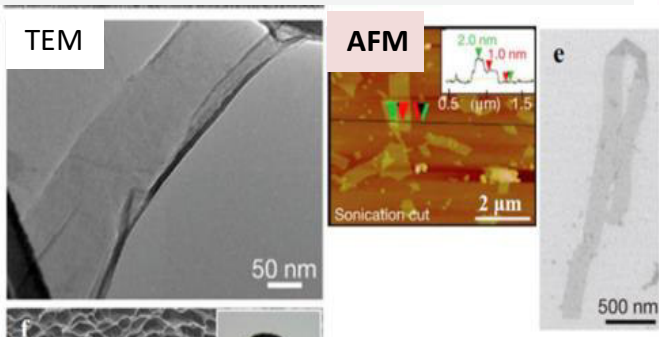


# Grafeno e seus derivados

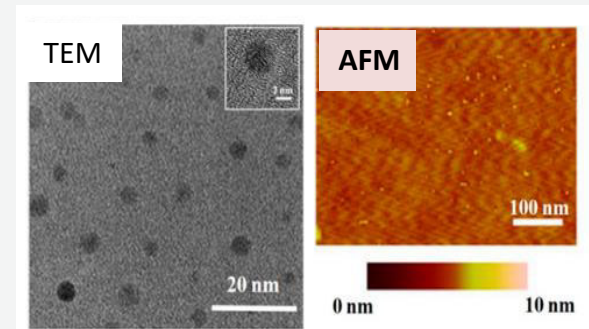
**grafeno *quantum dots* (GQDs)**  
cortar em pequenos fragmentos

**grafeno *nanoribbons* (GNRs)**  
dividir em pequenas fatias

**GNRs:** morfologia alongada e fina, quase 1D, elevada relação comprimento-largura, bordas abundantes e numerosos locais de ativação.



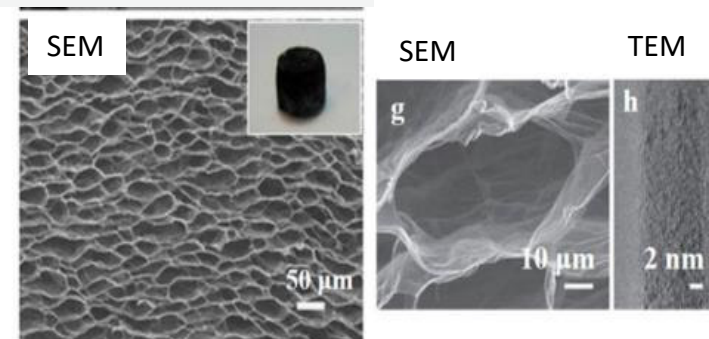
**GQDs:** nanométrico, lateral <100 nm, espessura - camadas únicas e poucas <10. Efeitos de borda e propriedades associadas ao confinamento quântico.



**3D-G:** estrutura porosa 3D interconectada, folhas “enrugadas” de grafeno orientadas aleatoriamente. Os tamanhos dos poros podem variar de várias centenas de nm a vários μm.

**Scaffolded em 3D (3D-G):**

- espumas de grafeno
- hidrogéis de grafeno
- esponjas de grafeno
- aerogéis de grafeno
- grafeno poroso



# Grafeno e seus derivados

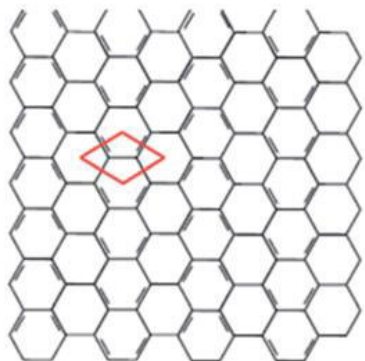


## Grafeno

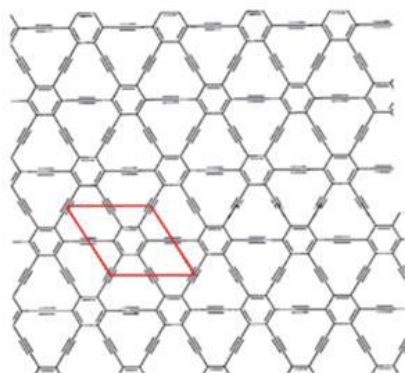
## Grafino

## Grafidino

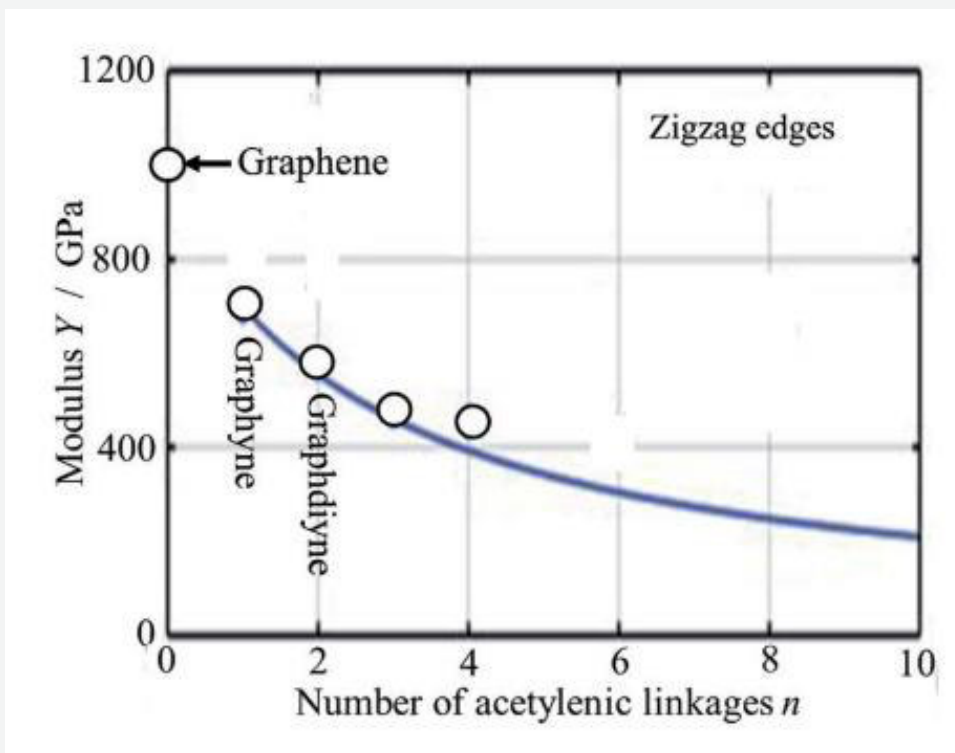
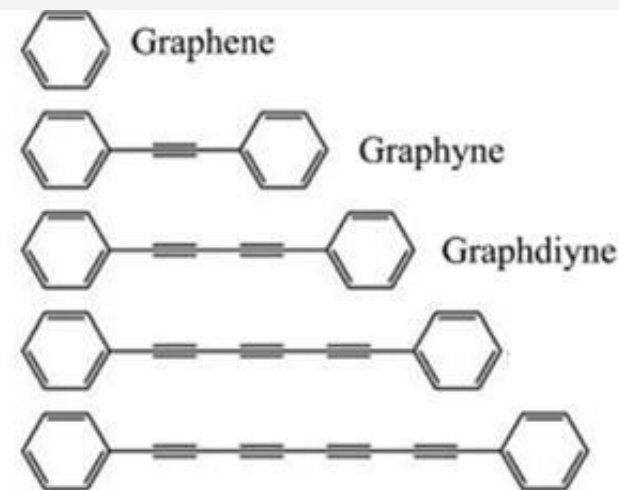
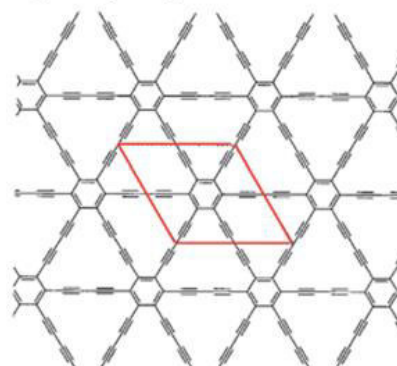
a) Graphene



b) Graphyne



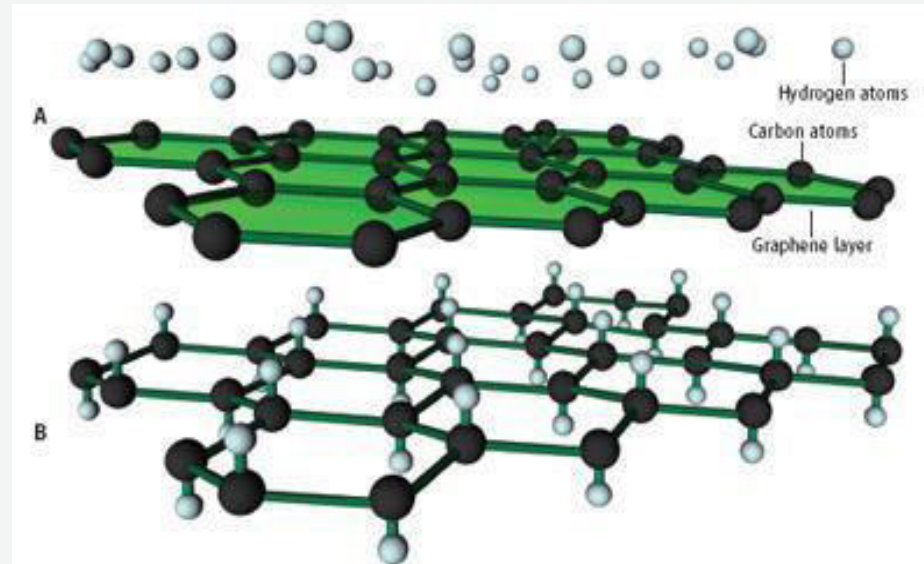
c) Graphdiyne



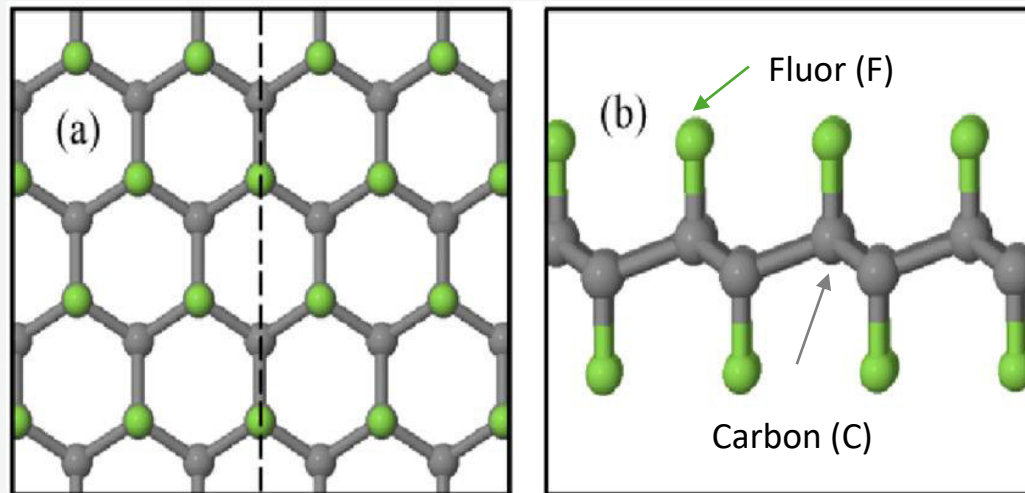
- ❑ Rede de **anéis de benzeno** conectados por **ligações acetilênicas**;
- ❑ O material é denominado **grafino- $n$**  quando os anéis de benzeno são conectados por  $n$  moléculas sequências de acetileno.

# Grafeno e seus derivados

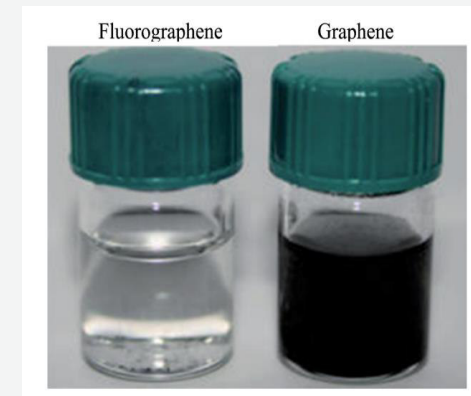
## Grafano (grafeno hidrogenado)



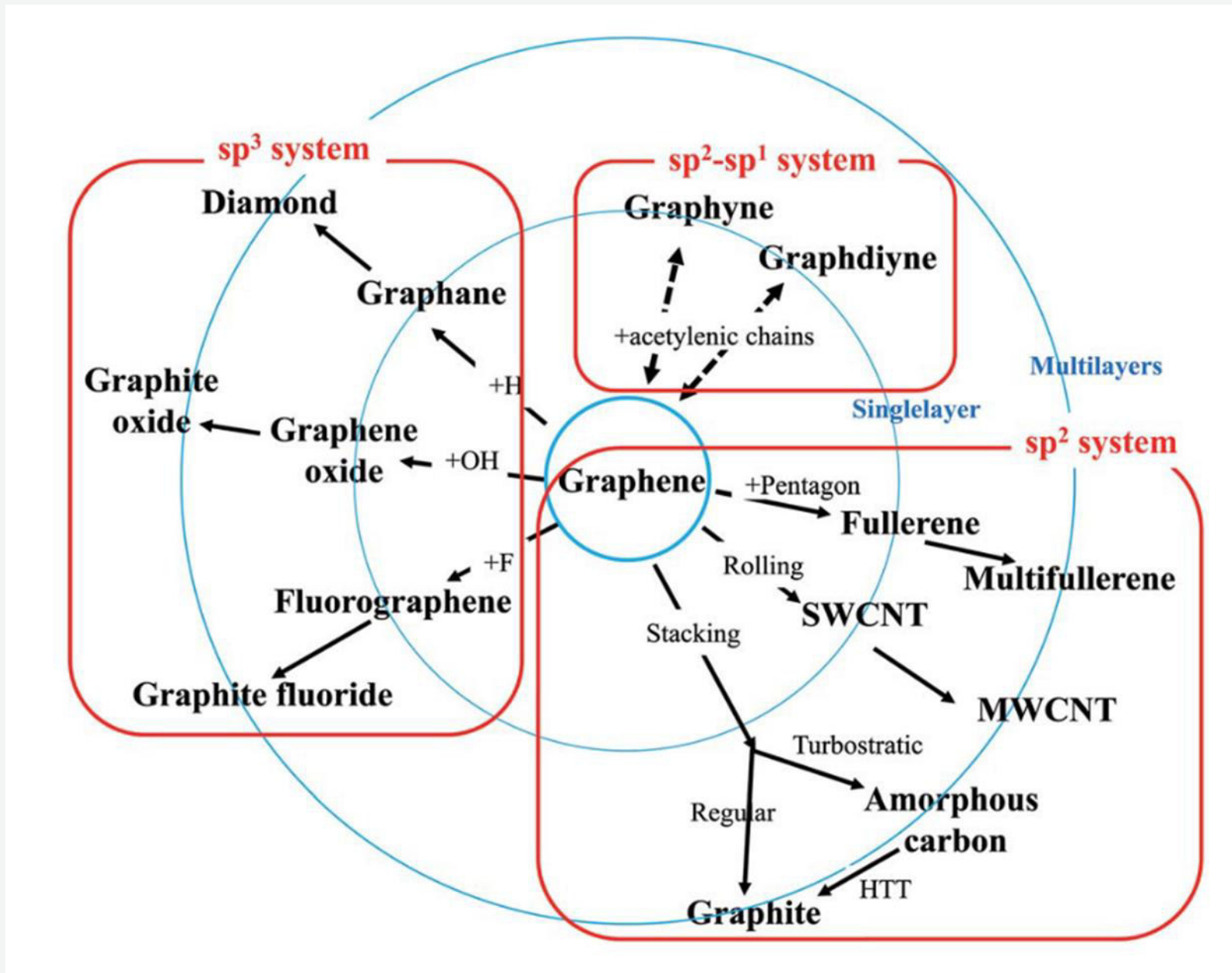
## Fluorgrafeno (perfluorgrafeno ou fluoreto de grafeno)



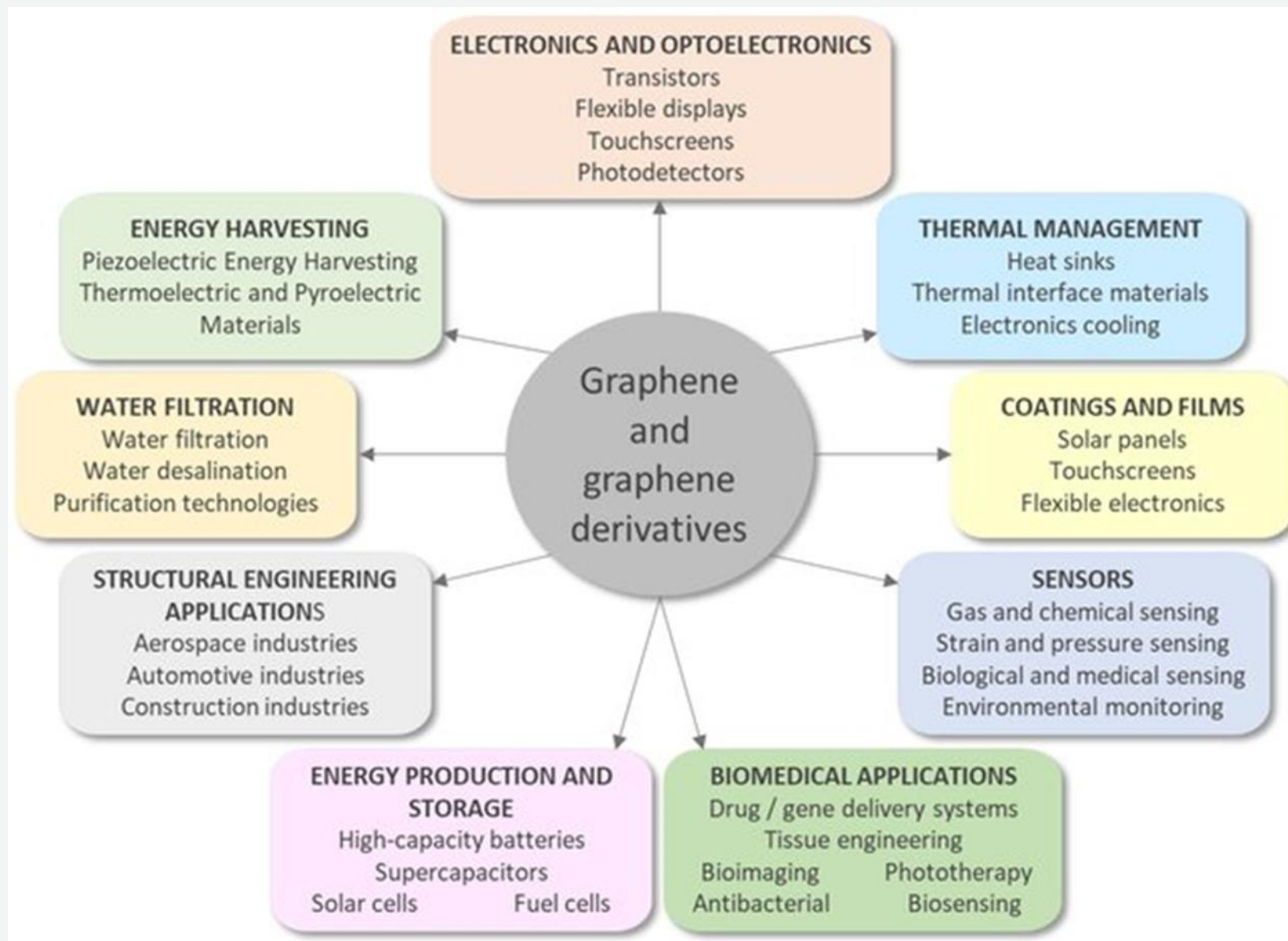
(CF)<sub>n</sub> versão 2D do Teflon



# Grafeno e seus derivados



# Grafeno e seus derivados



# Grafeno: aplicações

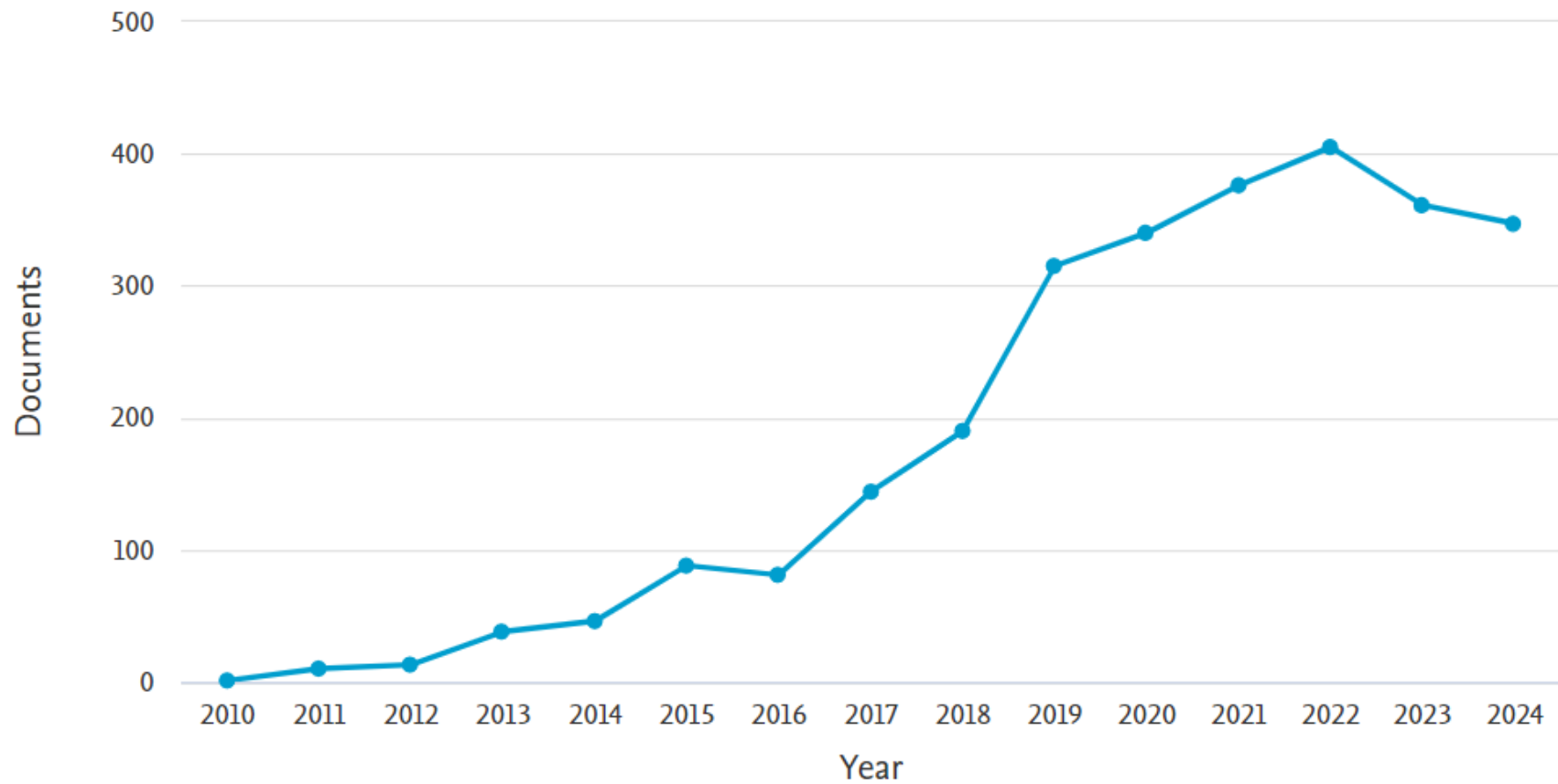


**Palavras-chave (*search field*):** coating OR paint AND corrosion AND graphene

**Busca em:** *Article title, abstract and keywords*

**Total:** 2.757

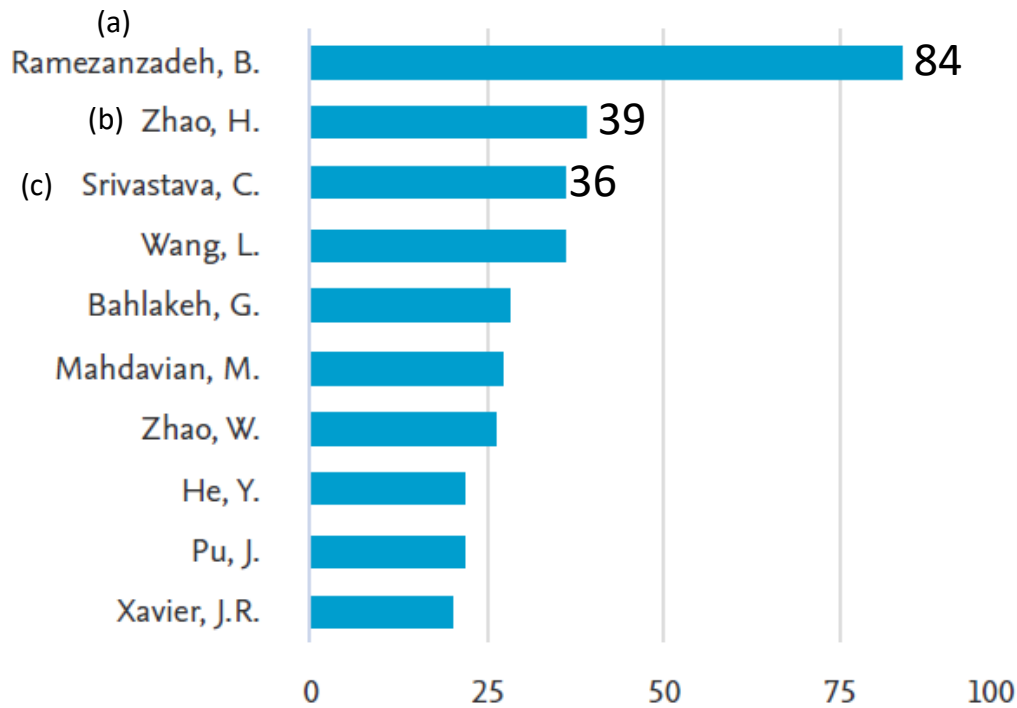
Documents by year



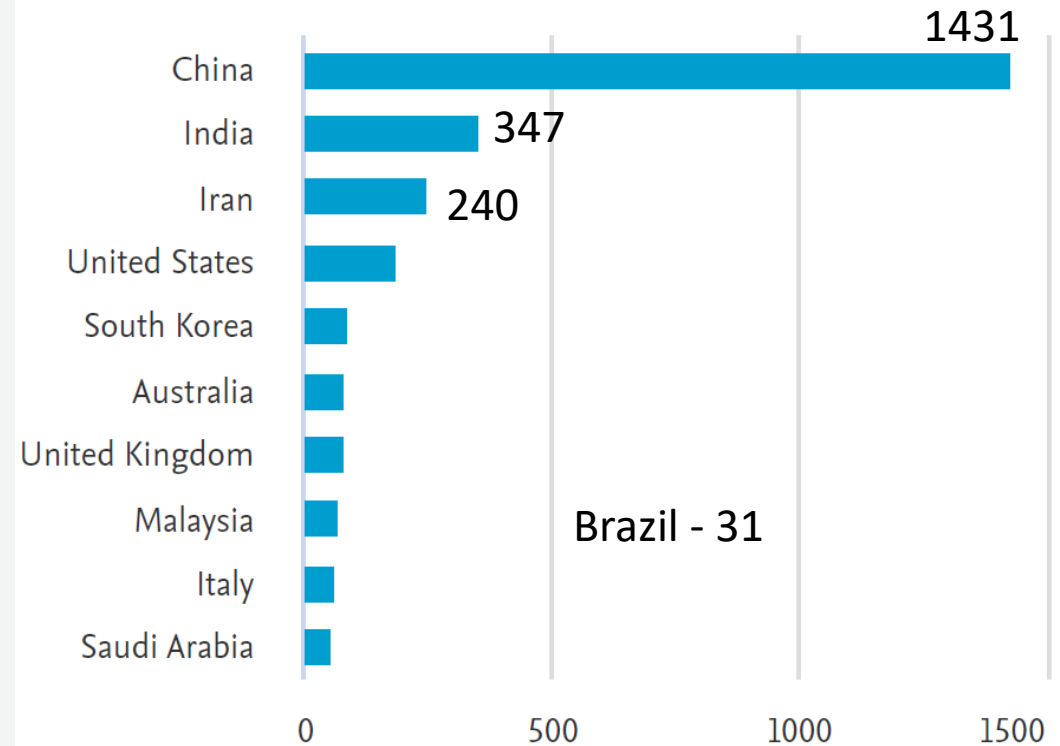
**Scopus (Elsevier): Publicações**

**Palavras-chave (*search field*):** coating OR paint AND corrosion AND graphene  
**Busca em:** *Article title, abstract and keywords*  
**Total:** 2.757

## Documents by author




## Documents by country/territory



(a) Institute for Color Science and Technology, Tehran, Iran  
(b) University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, China  
(c) Indian Institute of Science, Bengaluru, India

# Corrosion Control by Carbon-Based Nanomaterials: A Review

Chuanqi Pan,\* Jianling He, Jianyong Zhu, Shuaibing Li, Wanfeng Li, Wenjie Yang, and Weihua Li\*

 Cite This: *ACS Appl. Nano Mater.* 2024, 7, 2515–2528

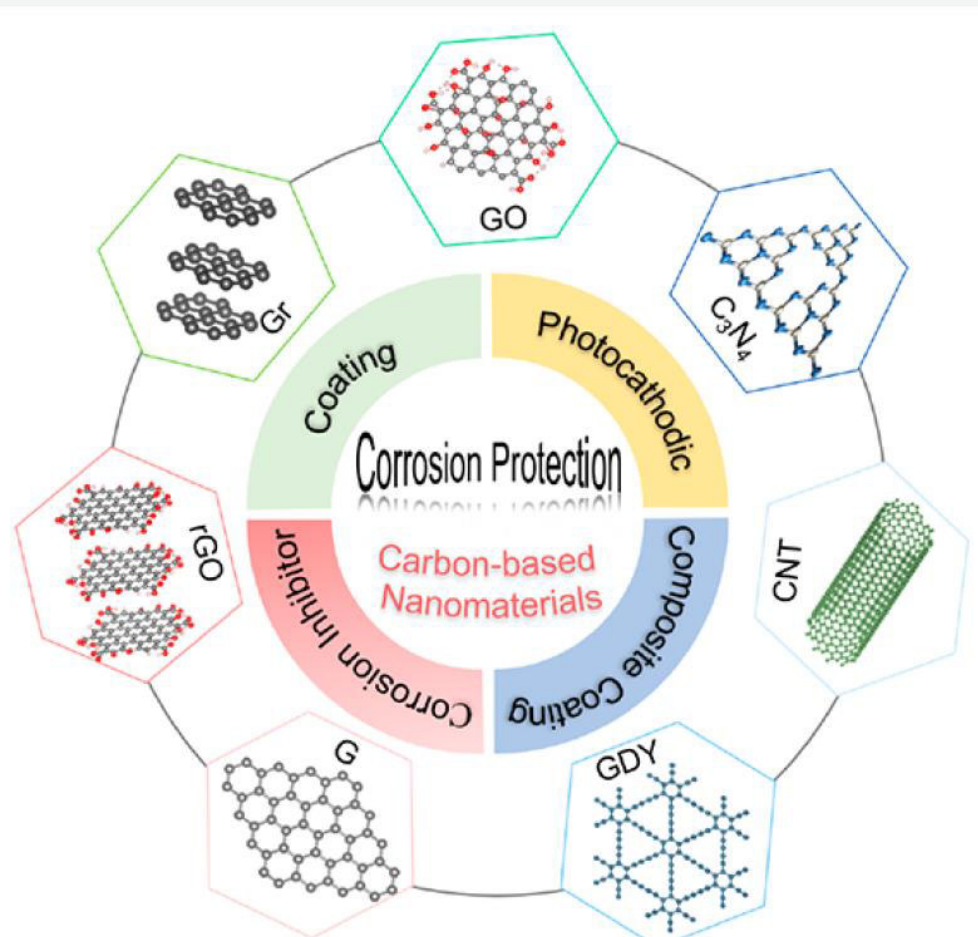
 Read Online

## Corrosão

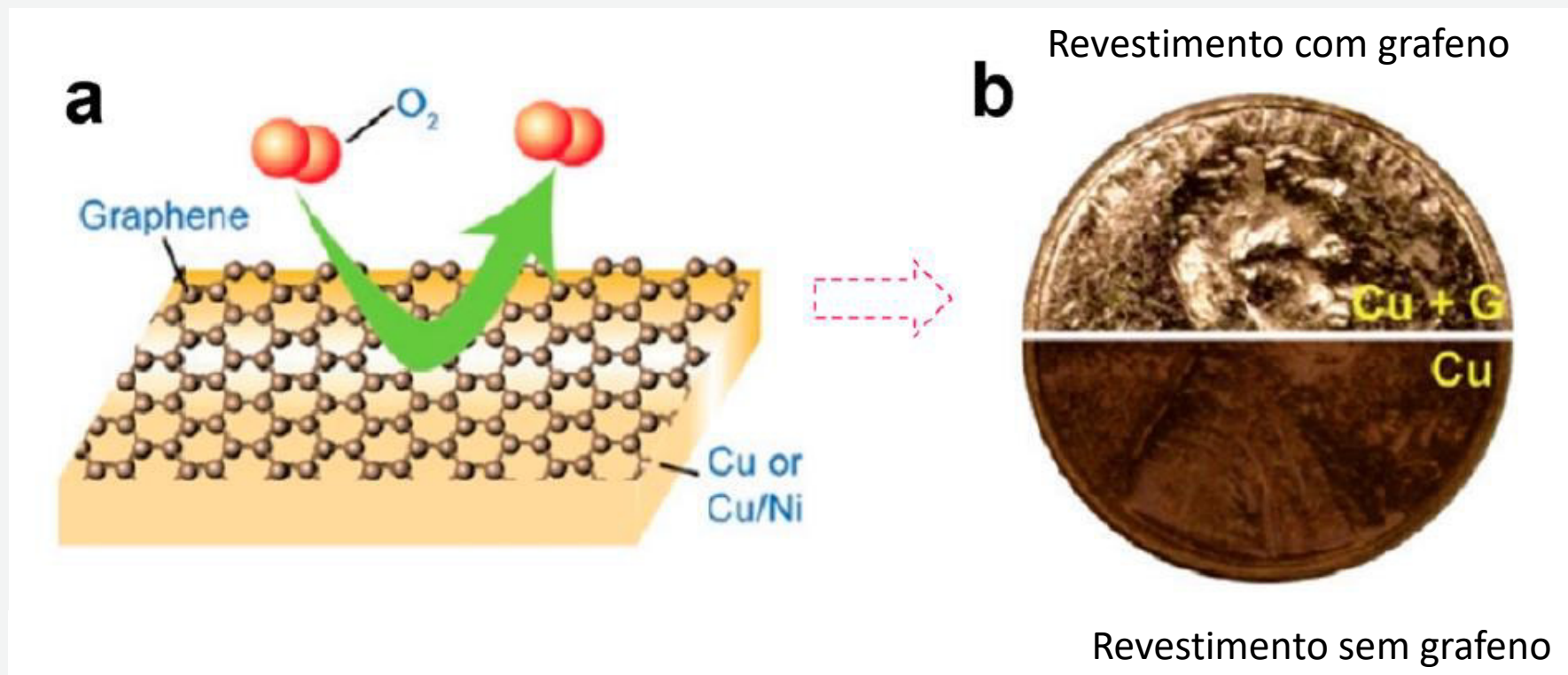
- o custo anual global da corrosão de 2,5 trilhões de dólares;
- principais causas de desperdício de materiais e de energia, sendo responsável por 20 % do uso global de energia.

Nano/tecnologias para inibição de corrosão sofreram significantes progressos nas últimas décadas. Ainda existem gargalos que devem ser sanados, tais como:

- fragilidade da estrutura micro/nanométrica;
- processos complexos de síntese;
- baixa durabilidade devido a múltiplos fatores...



# Corrosion Control by Carbon-Based Nanomaterials: A Review



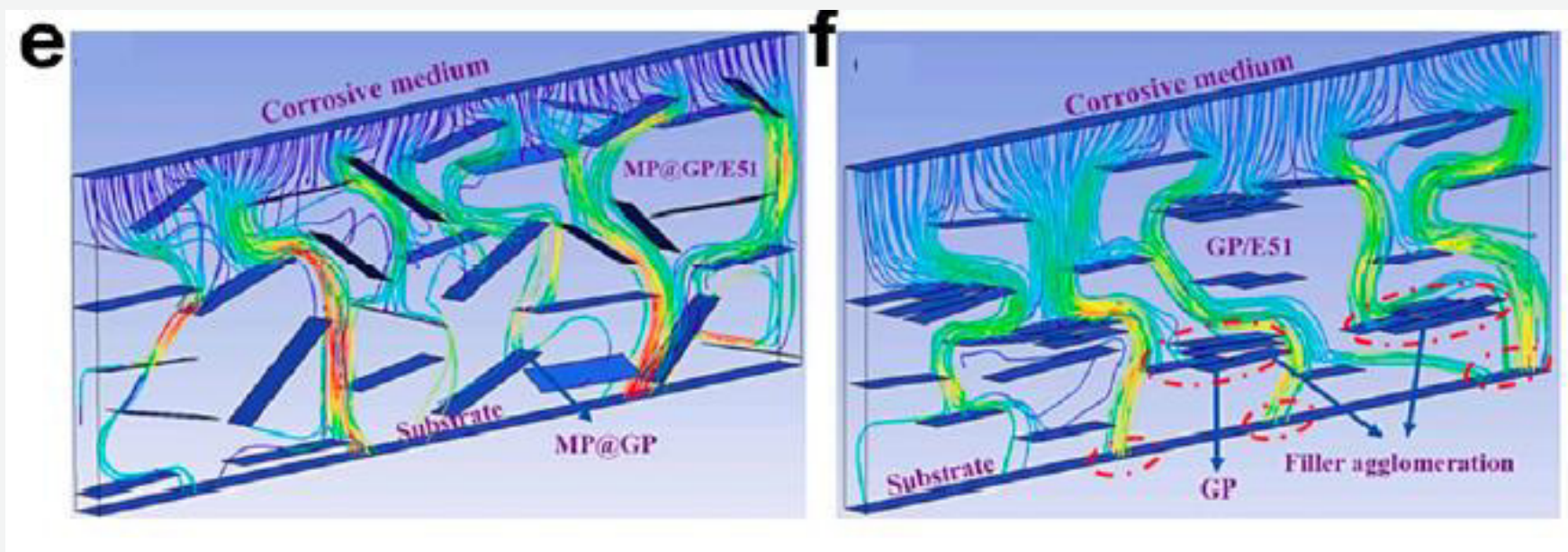
(a) folha de grafeno atuando como uma barreira inerte de difusão química contra à penetração de meio corrosivo (ex. oxigênio).

(b) Fotografia de uma moeda após tratamento com água oxigenada (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>).

**Grafeno:** pode promover resistência à corrosão, principalmente devido às suas propriedades químicas extremamente estáveis e hidrofobicidade, atuado como mecanismo de barreira, protegendo o substrato do contato com o meio corrosivo.



## Revestimentos compósitos com grafeno



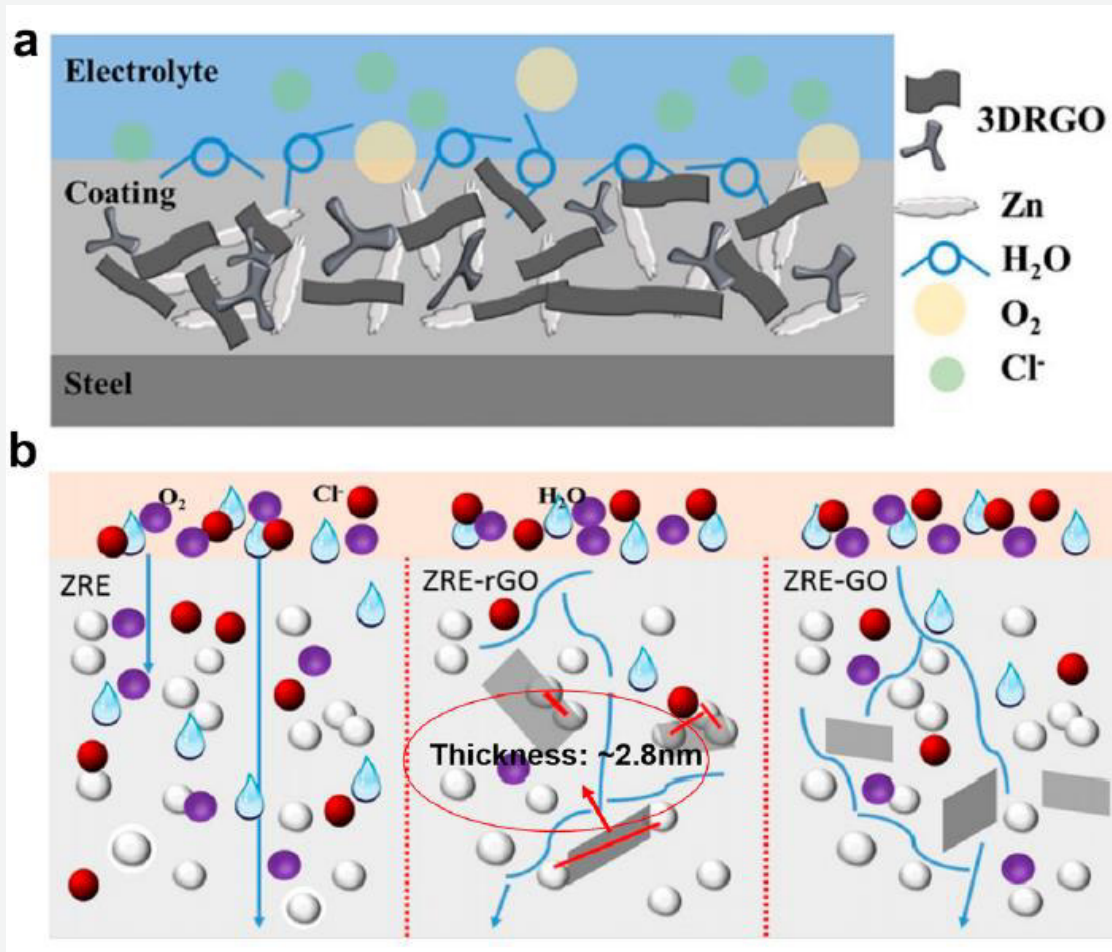
(e) grafeno modificado com silano (agente de acoplamento) em uma resina epóxi

(f) grafeno em uma resina epóxi

intacto após 20 ciclos de choque térmico

**Grafeno:** estendendo o caminho de penetração do meio corrosivo e inibindo a corrosão eletroquímica da superfície metálica.

## (a) Compósito de tinta rica em zinco epóxi com 3DrGO



## (b) Mecanismo de proteção contra corrosão de diferentes revestimentos






(a) **3DrGO** (óxido de grafeno reduzido 3D poroso dopado com N) foi pioneiro nos compósitos de epóxi modificados.

## (b) rGO (óxido de grafeno reduzido)

A adição desses derivados de grafeno:

- aumenta o caminho difuso do meio corrosivo e serve como uma barreira impermeável;
- melhora a conexão elétrica entre as partículas de Zn e a matriz de aço (auxílio na proteção catódica).

REVIEW ARTICLE | JUNE 17 2024

**2D materials for marine corrosion protection: A review**Caiyi Shang; Dandan Sang  ; Changxing Li; Liangrui Zou ; Jinfei Wu; Qinglin Wang  

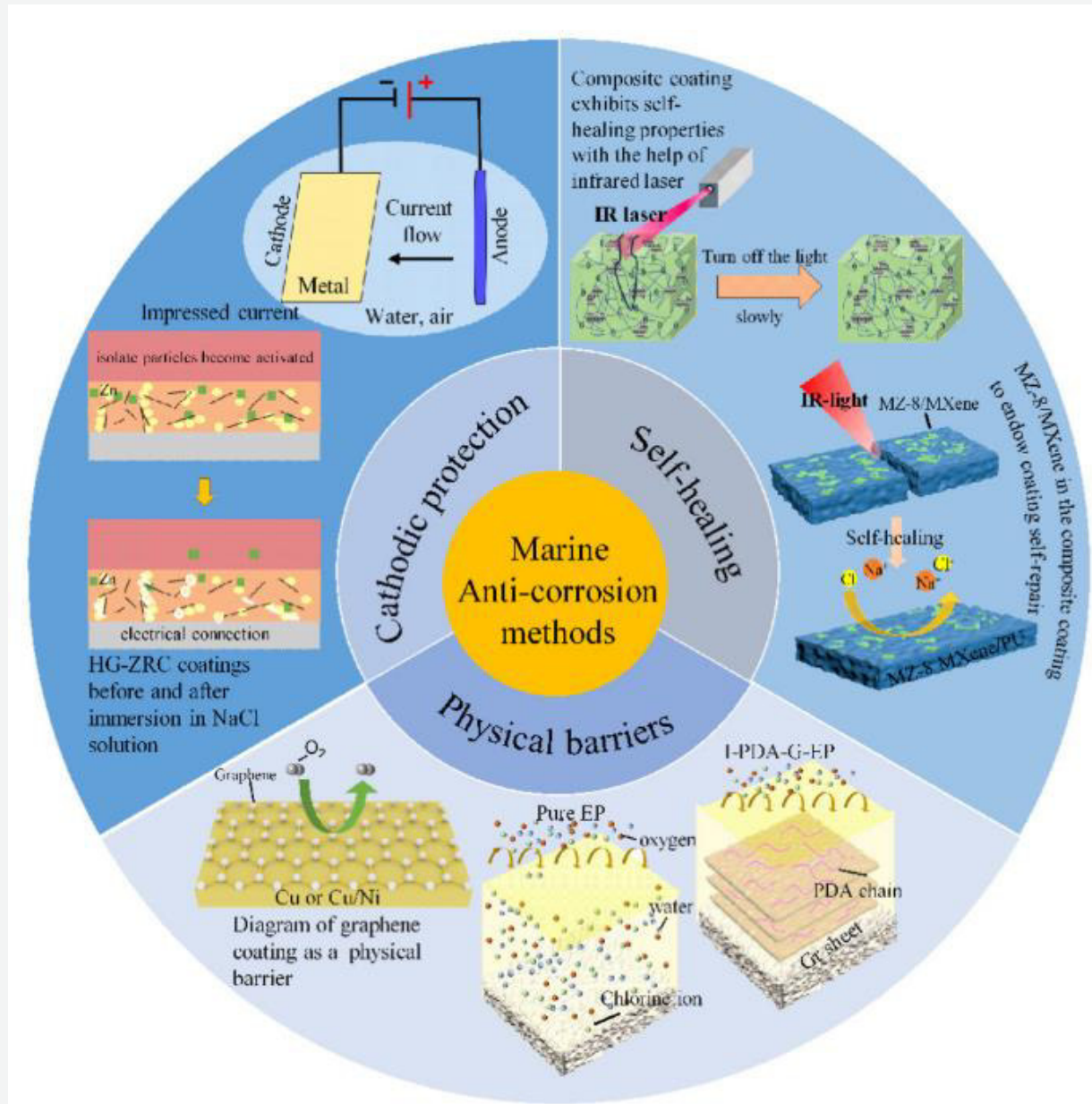
APL Mater. 12, 060601 (2024)

<https://doi.org/10.1063/5.0216687>

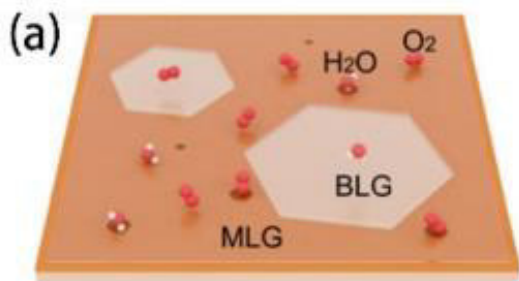
Os métodos tradicionais de proteção, embora diversos, são insuficientes em durabilidade e adaptabilidade ambiental, necessitando de novas soluções como os **materiais bidimensionais (2D)**:

- **grafeno**,
- hidróxidos de dupla camada (LDH),
- nitreto de boro (BN),
- MXenes ( $Ti_3C_2T_x$ ) - carboneto de titânio
- $MoS_2$  (dissulfeto de molibdênio)

# Mecanismos primários para proteção contra corrosão marinha



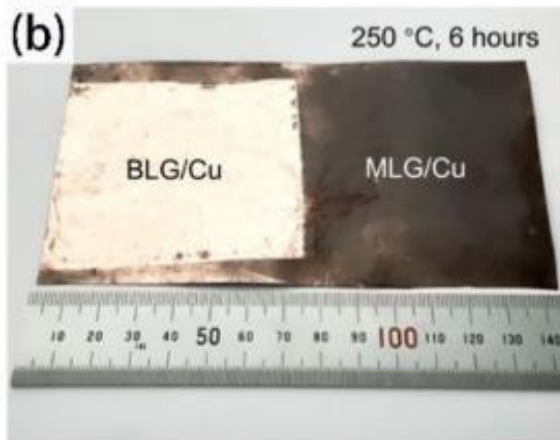
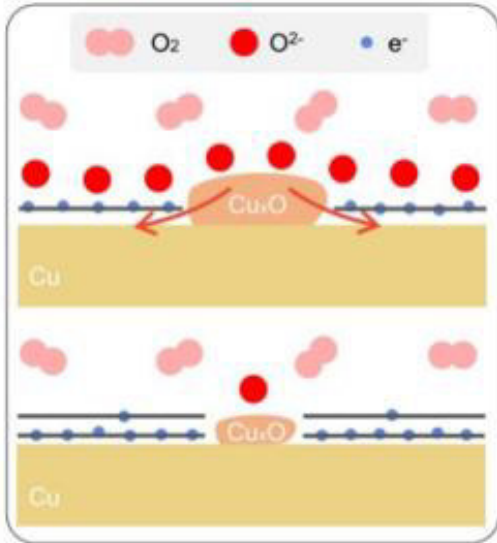




## grafeno monocamada (MLG) x grafeno bicamada (BLG)

### (a) Esquema do processo de oxidação

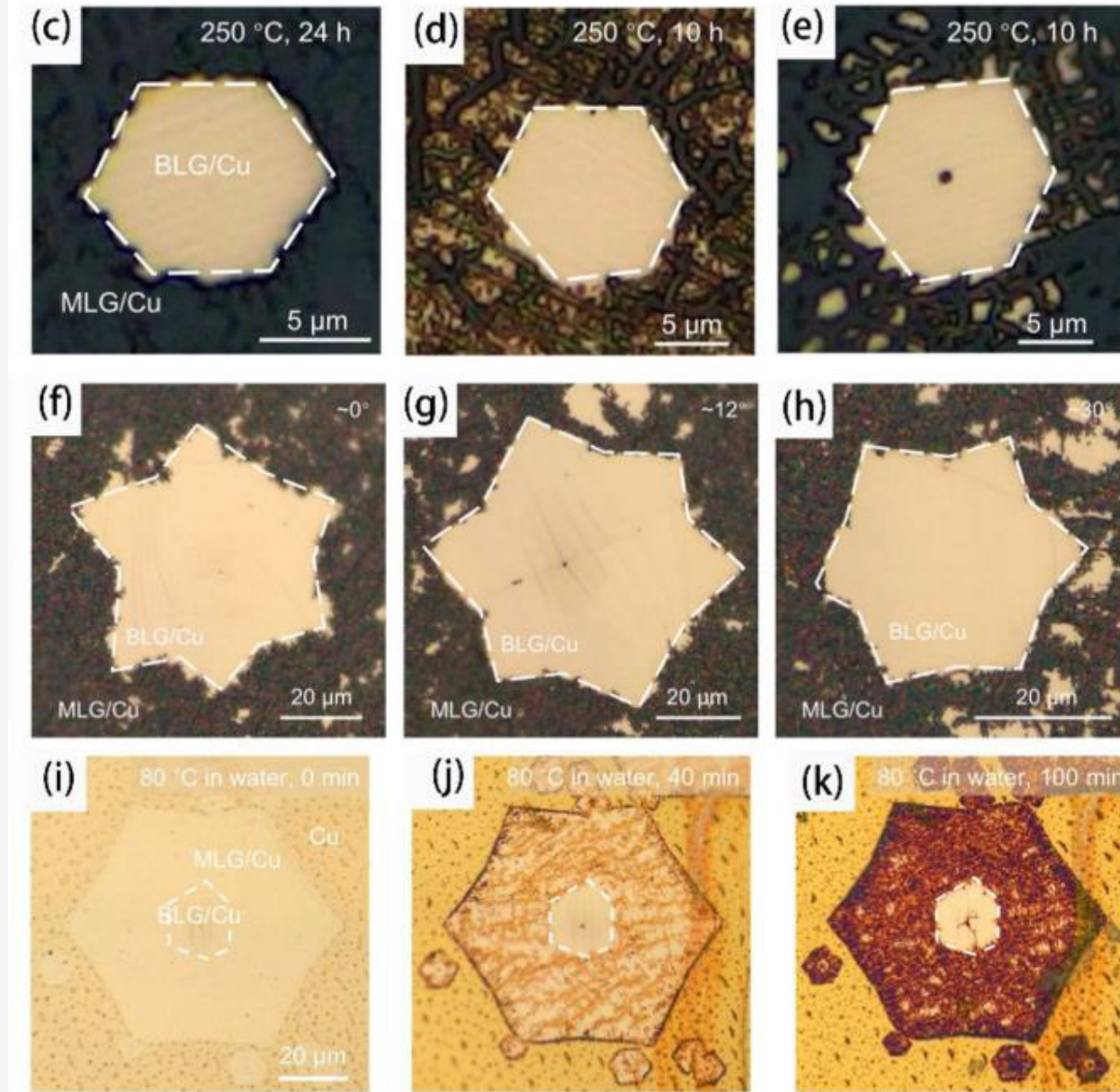
**BLG** (efeito *Janus-doped*): a folha próxima ao substrato de cobre tem uma interação com a superfície do cobre e **restringe a difusão dos íons** que atacariam o substrato. E a folha superior (**quase neutra em carga**) minimiza que ocorra a reação eletroquímica.



### (b) Ensaio de oxidação por 6 h a 250 °C:

- **MLG** falhou e oxidou o cobre (superfície escura);
- **BLG** manteve o brilho metálico após o ensaio.

## (a) Ensaios de oxidação



**MLG** não protege tão bem o cobre contra corrosão, como o **BLG**

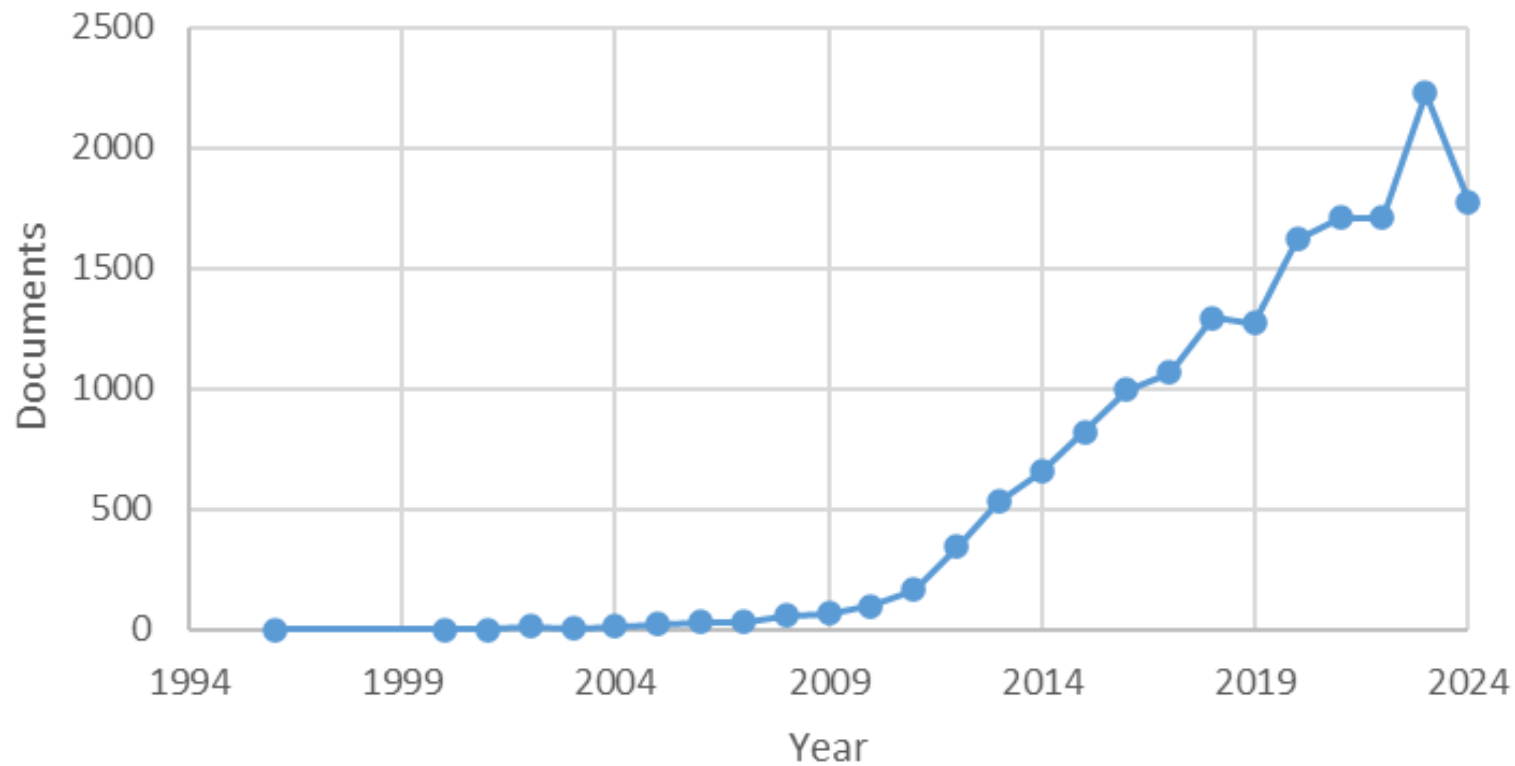
**BLG:** Manteve proteção contra corrosão do cobre:

- mais de 5 anos a temperatura ambiente;
- por 1000 h a 200°C - três ordens de magnitude maior que as recomendações industriais padrão (1 h proteção em ar a 200 °C).

**Palavras-chave (*search field*):** coating OR paint AND corrosion AND graphene

**Total:** 16.548

Documents by year



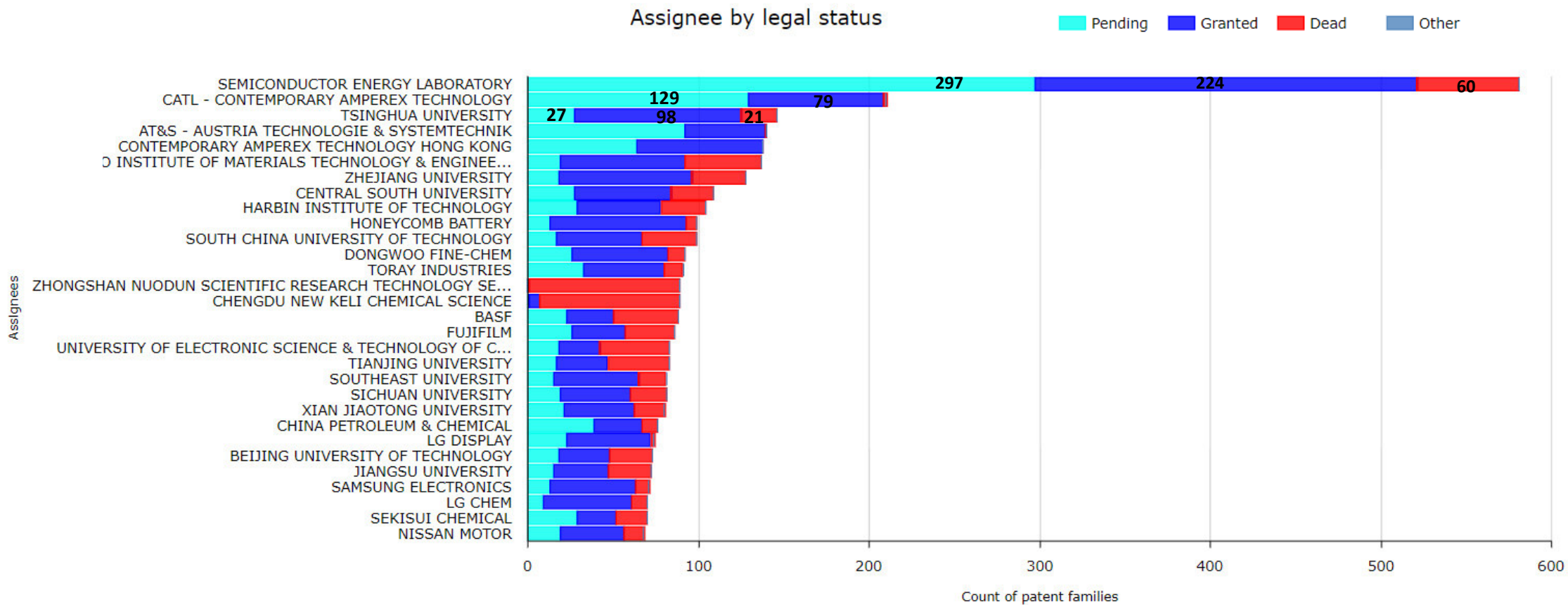
- ❖ United States Patent & Trademark Office: **9.917**
- ❖ Japan Patent Office: **3.205**
- ❖ World Intellectual Property Organization: **2.127**
- ❖ European Patent Office: **1.201**
- ❖ United Kingdom Intellectual Property Office: **98**

**Scopus (Elsevier): Patentes**

**Palavras-chave:** (coating+ OR paint+) AND corrosion AND graphene

**Busca avançada (advanced search):** title, abstract, claims, description e object of invention

**Total:** 33.696



SEL: Procuramos tópicos de pesquisa relativos às necessidades futuras da sociedade, encontramos novos princípios por meio de pesquisa e desenvolvimento (P&D) completos e inventamos tecnologias que resolverão problemas.

A CATL é líder global em tecnologias inovadoras em energia.

O campus da Universidade Tsinghua está situado no noroeste de Pequim.

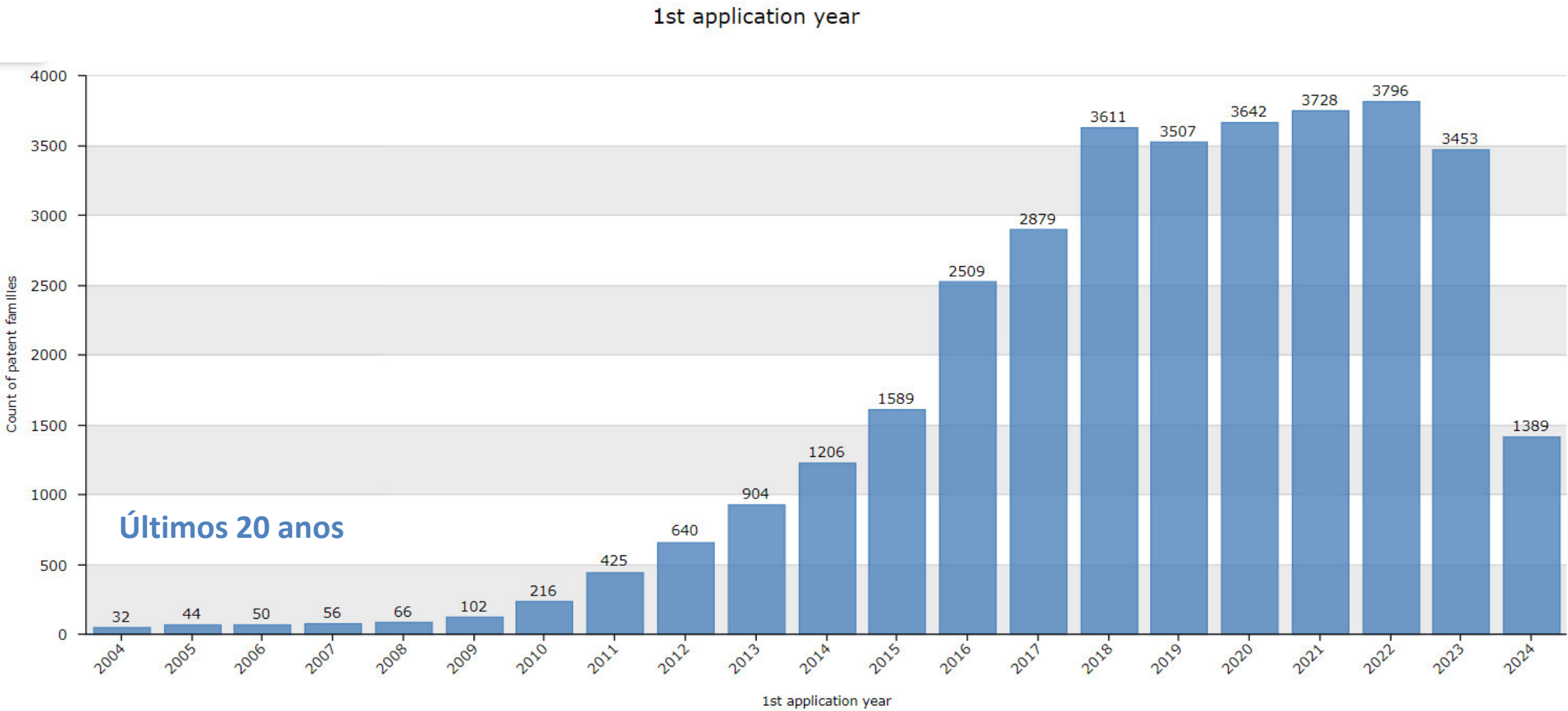
**Questel's IP Business Intelligence application Orbit Intelligence: Patentes**



**Palavras-chave:** *(coating+ OR paint+) AND corrosion AND graphene*

**Busca avançada (advanced search):** *title, abstract, claims, description e object of invention*

**Total:** 33.696

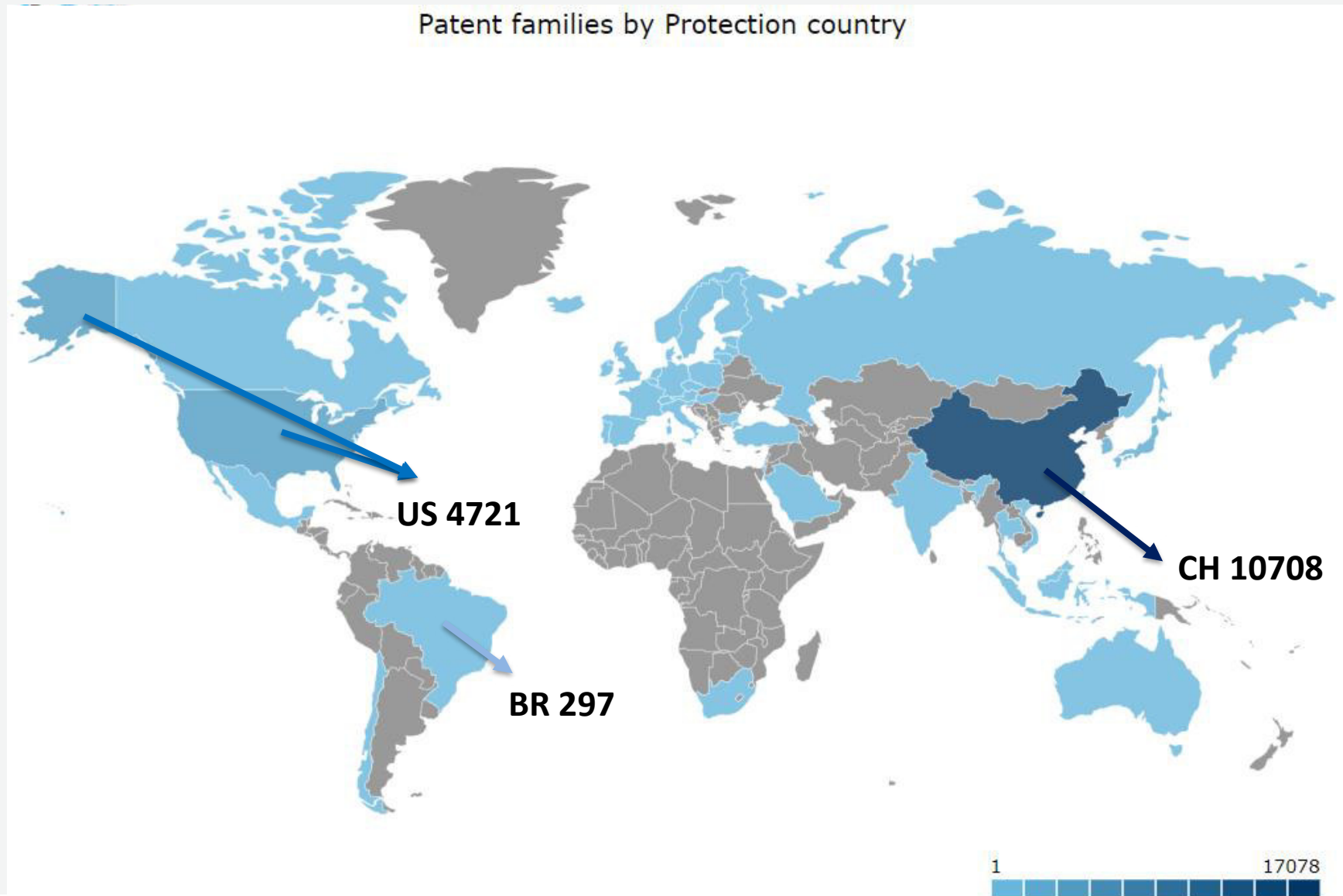


**Questel's IP Business Intelligence application Orbit Intelligence: Patentes**

**Palavras-chave:** *(coating+ OR paint+) AND corrosion AND graphene*

**Busca avançada (advanced search):** *title, abstract, claims, description e object of invention*

**Total:** 33.696

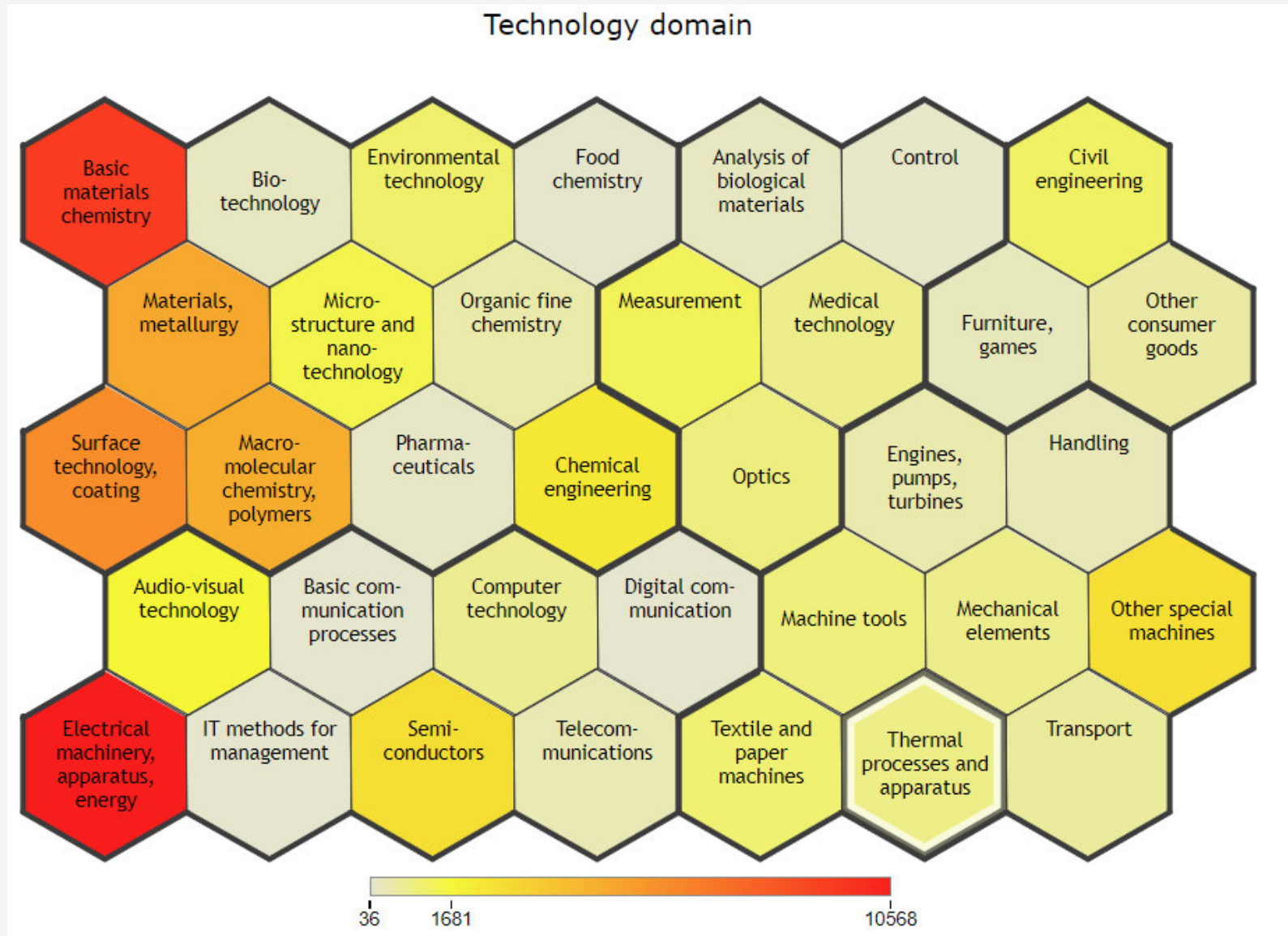


**Questel's IP Business Intelligence application Orbit Intelligence: Patentes**

**Palavras-chave:** (coating+ OR paint+) AND corrosion AND graphene

**Busca avançada (advanced search):** title, abstract, claims, description e object of invention

**Total:** 33.696



**Questel's IP Business Intelligence application Orbit Intelligence: Patentes**



**SBPA**

Seminário Brasileiro  
de Pintura Anticorrosiva

31 de outubro de 2024 – IPT/SP

# Obrigada!

e-mail: [danaelopes@ipt.br](mailto:danaelopes@ipt.br)

Realização



**ABRACO**  
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO