



A iniciativa MG Grafeno - uma parceria Codemig, CDTN e UFMG

Waldemar A. A. Macedo

Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear



- Primeira instituição de pesquisa nuclear do país



1952: IPR / UFMG

1960: Reator IPR-R1

72-88: Nuclebrás

1974: CDTN

1988: CNEN / MCTI

22/8

65 anos

IPR:

**Inst. de Pesquisas Radioativas
Univ. Federal de Minas Gerais**

Nuclebrás:

**Ind. Nucleares Brasileiras S.A.
(acordo nuclear BR/DE)**



Campus do CDTN



CDTN em números

- Área total: 240.000 m²
- Edificações: 42.000 m²
- **Mais de 50 Laboratórios**
- 290 Servidores (90 PhD, 60 M.Sc.)
- 230 Estudantes e Pós-doutores
- 80 Terceirizados / suporte

Áreas de Atuação

◆ Tecnologia Nuclear

Reator de Pesquisas
Irradiação Gama
Integridade Estrutural
Neutrônica e Termohidráulica
Técnicas Nucleares na Indústria

◆ Meio Ambiente

Hidrologia e Sedimentologia
Monitoração e diagnóstico
Remediação ambiental
Rejeitos radioativos e perigosos

◆ Saúde

Produção de radiofármacos
P&D novos radiofármacos
Doenças Negligenciadas

◆ Minerais

Tecnologia mineral
Hidrometalurgia
Genese de depósitos minerais
Minerais estratégicos

◆ Materiais Nanoestruturados

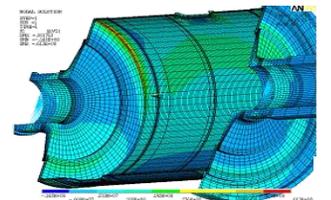
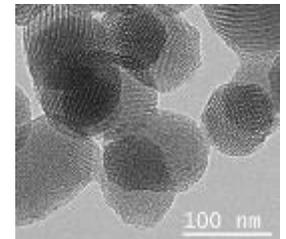
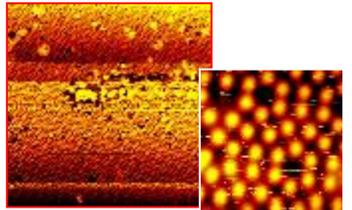
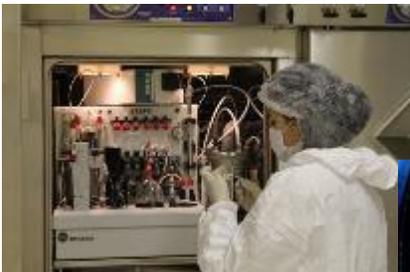
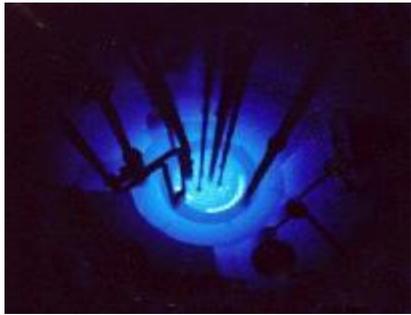
Materiais de carbono
Nanomateriais para bioaplicações
Novos materiais magnéticos
Fenômenos de superfícies e Interfaces

◆ Segurança Radiológica

Metrologia das radiações
Proteção radiológica

Programa de Pós-Graduação

C&T das Radiações, Minerais e Materiais
Mestrado e Doutorado Acadêmicos





Grupo de Pesquisa:

Manipulação Química de Nanotubos
de Carbono e Grafenos



Adelina P. Santos e Clascídia A. Furtado

- Mais de 15 anos dedicados à pesquisa básica e intenso envolvimento em redes de P, D & I:

- 2002-2005: Instituto do Milênio de Nanociências
- 2002-2005: Rede Nacional de Materiais Nanoestruturados
- 2003-2006: Pronex/Fapemig
- 2004-2007: CT-Energ
- 2005-2007: CT-Petro
- 2005-2009: Rede de Pesquisa em Nanotubos de Carbono
- 2005-2009: Instituto de Nanotecnologia
- 2008-2010: FINEP/Magnesita Refratários
- 2008-2014: INCT de Nanomateriais de Carbono
- 2011-2015: Rede Nanofluidos, Fapemig/Fapespa/VALE S.A.
- 2012-2015: Rede de Nanotoxicologia
- 2014-2017: Programa SisNano
- 2015-2017: Rede Sibratec de Nanomateriais e Nanocompósitos

Laboratório estratégico em MG

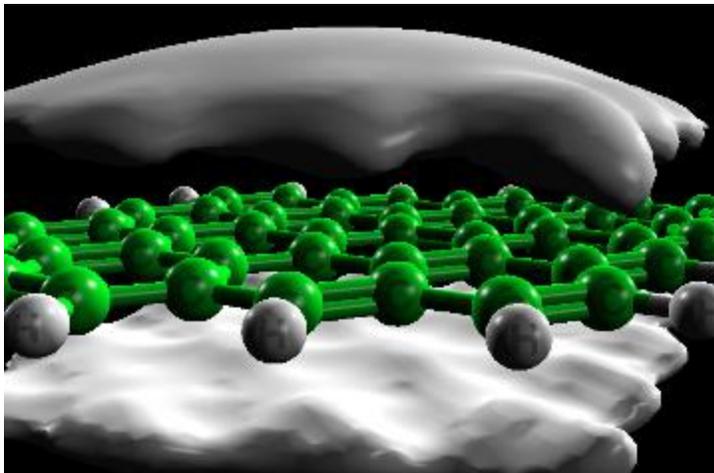
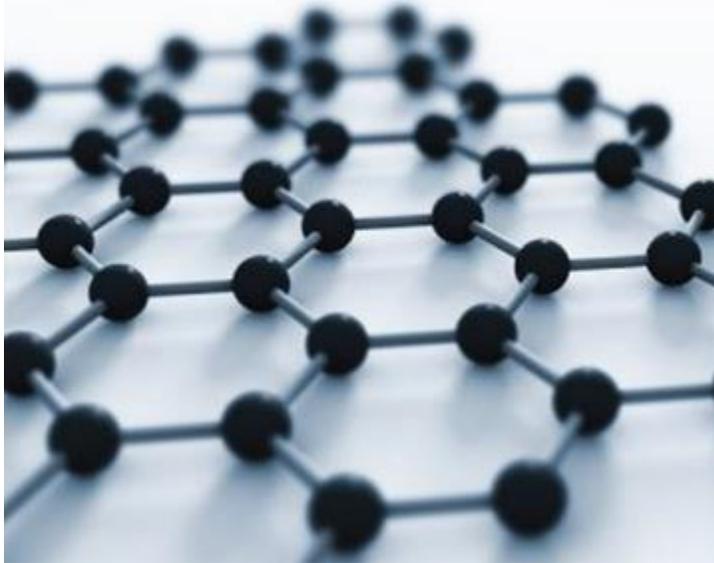


Parcerias com a Indústria:

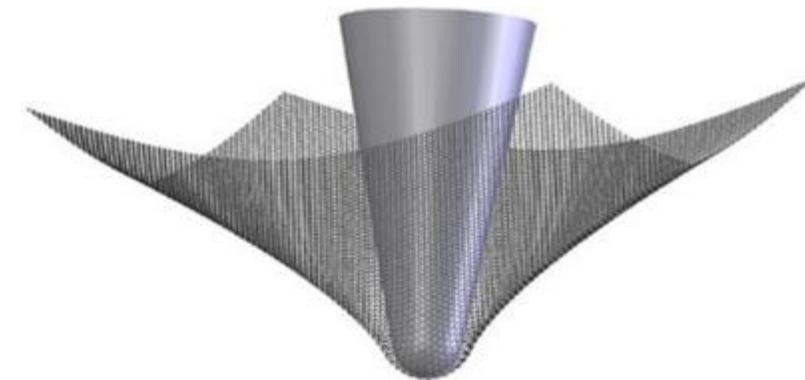
- Nacional de Grafite Ltda. (prod. de óxido de grafeno)
- Vale S.A. (pelotização de minério a frio)
- Magnesita S. A. (refratários magnesia-carbono)
- Grupo Solvay (têxteis inteligentes)
- Codemig & UFMG (grafenos a partir da grafita)

Grafeno (2D)

rede hexagonal de átomos de carbono (espessura monoatômica)



- ✓ Alta resistência mecânica
(resistência à deformação 100 x maior que o aço)
- ✓ Alta condutividade elétrica
($\sim 10^9$ A/cm², semelhante ao cobre)
- ✓ Alta condutividade térmica
(1750-5800 W/m-K, superior ao diamante)
- ✓ Blindagem de radiação ionizante
- ✓ Alta área específica (2630 m²/g)
- ✓ Impermeável a gases



Grafeno - aplicações



Status de comercialização e desenvolvimento de produtos contendo grafeno (Resumo)

Produtos comerciais



atual

tintas

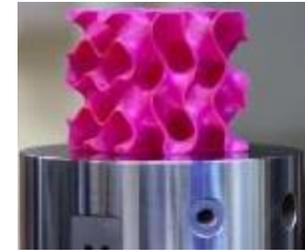
Filamentos impressão 3D

tênis

ski

ciclismo

Produtos em desenvolvimento



1 – 3 anos

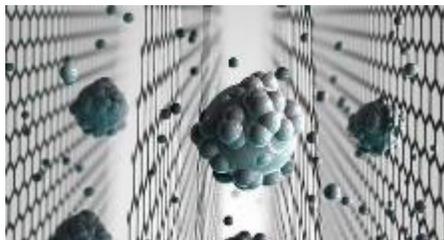
baterias

sensores

materiais resistentes impressos

têxteis inteligentes

P & D



> 5 anos

membranas

eletrônicos

Setor de mobilidade

Área Nuclear

- **Materiais avançados:** polímeros, cerâmicos e vidros para armazenamento/ imobilização de rejeitos radioativos;
- **Adsorventes e remediadores de radionuclídeos:** alta interação com óxido de grafeno;
- **Membranas:** separação de isótopos de hidrogênio, possível remoção de trítio de água e minimização da emissão de radionuclídeos;
- **Sensores:** monitoramento de locais de armazenamento;
- **Detectores de radiação:** alta sensibilidade a raios X, raios gama e nêutrons;
- **Armazenamento de gás:** uso em células de hidrogênio com possível aplicação na captura de trítio (tratamento de rejeitos e remoção seletiva de gases radioativos);
- **Energia e armazenamento de energia:** uso de baterias aprimoradas em dispositivos em operações remotas para aplicações de remediação e descomissionamento.

- Nuclear Decommissioning Authority,
Radioactive and nuclear substances and waste - Graphene and its use in nuclear decommissioning, 2017.

Exemplos



nature
COMMUNICATIONS

ARTICLE

Received 15 Dec 2016 | Accepted 9 Mar 2017 | Published 9 May 2017

DOI: 10.1038/ncomms15215 OPEN

Scalable and efficient separation of hydrogen isotopes using graphene-based electrochemical pumping

M. Lozada-Hidalgo¹, S. Zhang¹, S. Hu², A. Esfandiar¹, I.V. Grigorieva¹ & A.K. Geim¹

Nuclear Energy Conversion with Stacks of Graphene Nanocapacitors

**ERIC SHINN, ALFRED HÜBLER, DAVE LYON, MATTHIAS GROSSE PERDEKAMP,
ALEXEY BEZRYADIN, AND ANDREY BELKIN**

Department of Physics, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, Illinois 61801



News > Science

Graphene could be used to clean up nuclear waste, say scientists

Previously 'unthinkable' uses for wonder material graphene are discovered by scientists

Steve Connor Science Editor | [@SteveAConnor](#) | Thursday 31 December 2015 19:16 GMT | [10 comments](#)

Graphene membranes have potential in the nuclear sector

By **Stuart Nathan** 9th May 2017 10:00 am

09 May 2017

Graphene membranes can make nuclear industry greener

Newsfacts:

- New prototype could economically transform nuclear industry
- Graphene-based membrane acts like a super fine sieve

Graphene to reduce cost of heavy water production in the nuclear industry by 100 times

By Jack Loughran

Published Tuesday, May 9, 2017

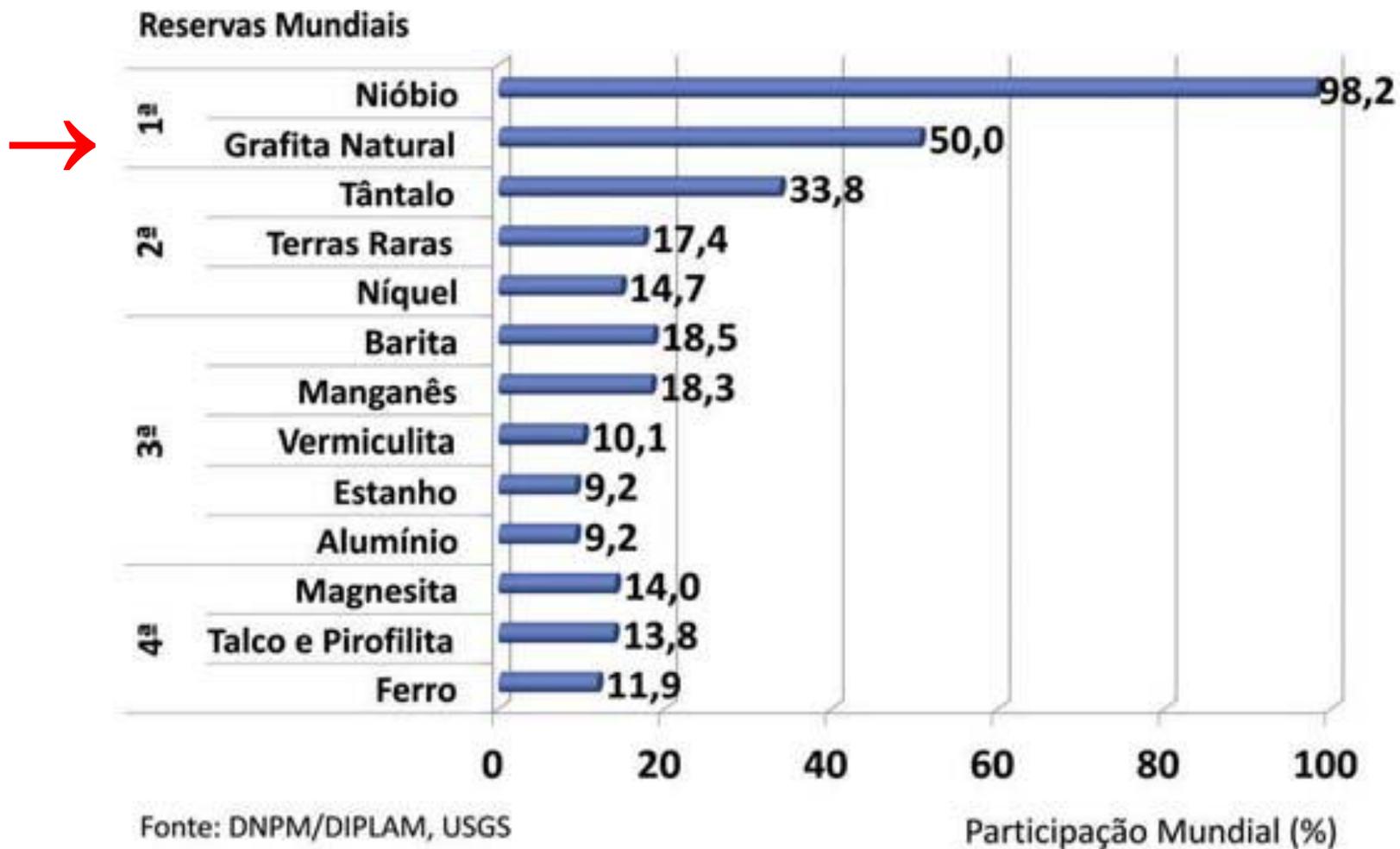
DESAFIO: PRODUÇÃO PARA APLICAÇÕES COMERCIAIS

- Escalabilidade
- Custo competitivo
- Processos verdes de produção
- Reprodutibilidade do material
- Qualidade estrutural adequada

CENÁRIO POSITIVO NO BRASIL:

País tem grande potencial para exercer protagonismo no desenvolvimento de tecnologias e aplicações de materiais com grafeno (cadeia de produtos de alto valor agregado)

Ocorrência da grafita - participação mundial do Brasil



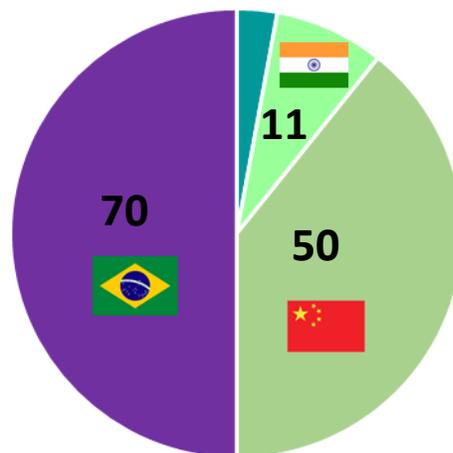
Ocorrência da grafita - participação mundial do Brasil

- Ocorrência de grafita natural em quase todos os estados brasileiros
- Reservas economicamente exploráveis principalmente em MG, BA e CE

1º lugar

Reserva de grafita
(milhões toneladas)

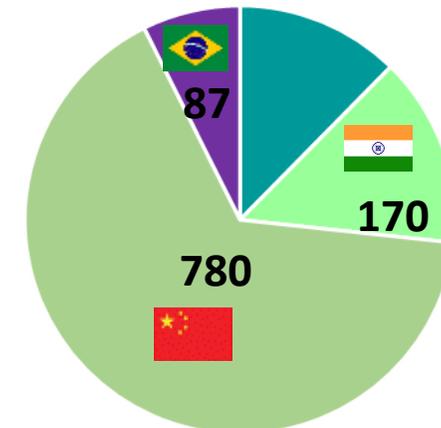
MUNDO:
140 milhões ton



3º lugar

Produção de grafita
(mil toneladas)

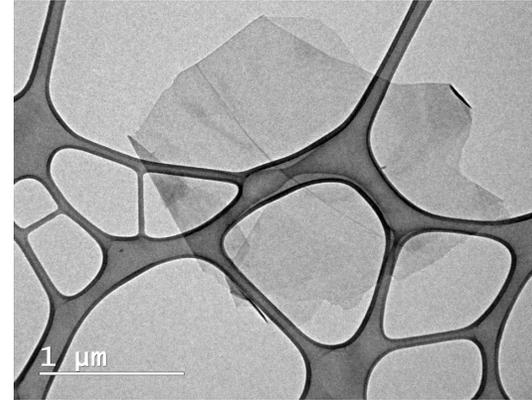
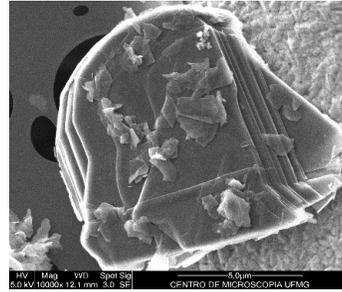
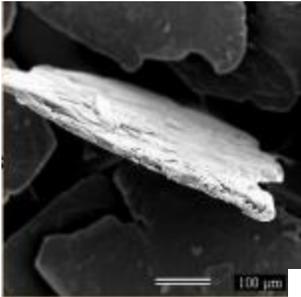
MUNDO:
1183 mil ton



Grafeno a partir da grafita:

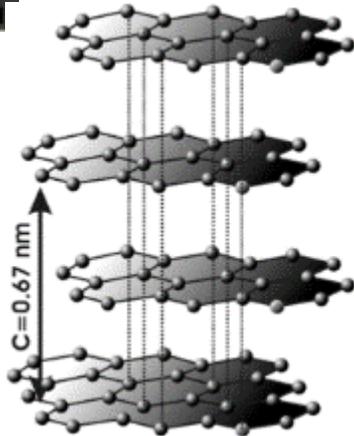
- esfoliação em líquidos, assistida por ação mecânica

Grafita: mineral de hábito lamelar

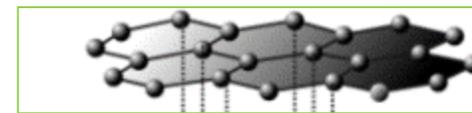
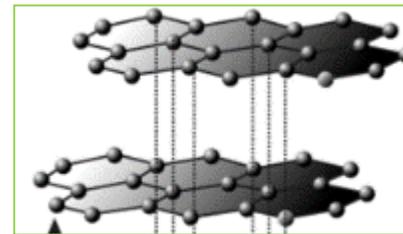


Estabilizados em líquidos

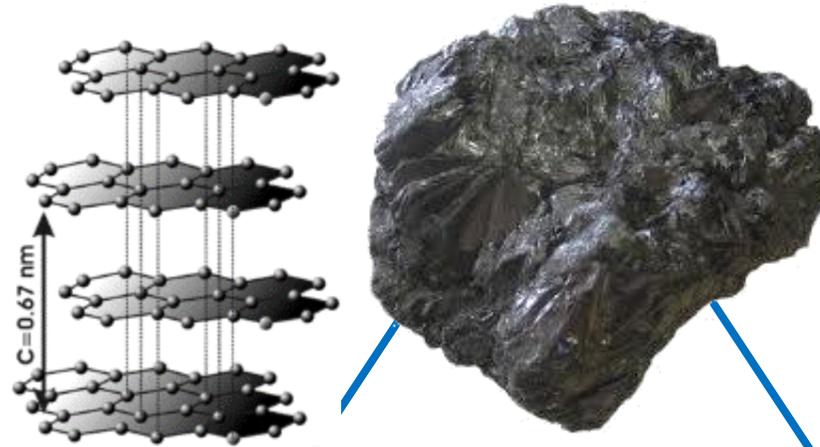
Grafite



Grafenos

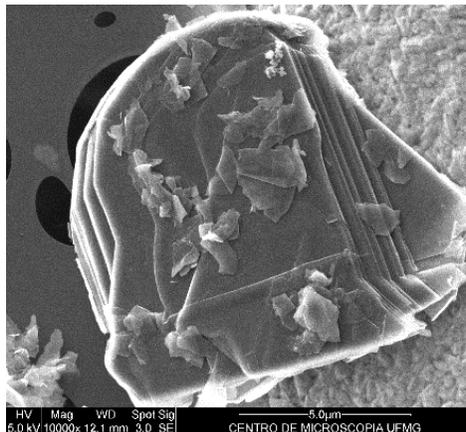


Grafeno a partir da grafita: agregação de valor ao produto

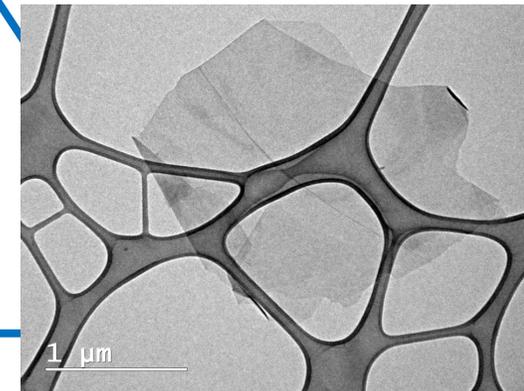


GRAFITE
~ US\$ 1,2 / Kg

<http://northerngraphite.com/graphite-pricing/>



Nanoplasmas de GRAFENO
~ US\$ 2.000 / Kg



GRAFENO
~ US\$ 20.000 / Kg





Projeto **MG**Grafeno

“Produção de grafeno a partir da esfoliação química de grafita natural e aplicações”

CDTN, UFMG e CODEMIG (Cia. de Desenvolvimento Econômico de MG)

- *Investimento inicial de 21,3 milhões feito pela CODEMIG (3 anos)*

assinatura: 06/2016; negociações: 03/2015

- *Proposta pré-aprovada no edital Inova Mineral, para um investimento de 130 milhões (financiamento + Funtec)*

→ Produção de grafenos com características conhecidas

→ Estimativa de produção atual de ~30 kg/ano, escalável

→ Em desenvolvimento para atingir 0,5 t/ano

Soluções tecnológicas para uso eficiente do grafeno, em parceria, atualmente, com 5 empresas e ICT's.

Proposta: *Agregar valor a um recurso natural estratégico, a grafita, e fortalecer toda uma cadeia produtiva.*

- Não é um modelo centrado em venda de grafeno
- Parcerias com empresas consolidadas ou startup de base tecnológica, atuantes no país, com demandas específicas.
- Garantia de fornecimento (volume, qualidade e preço compatível com a colocação das aplicações no mercado).
- Assistência e parceria técnica-científica e codesenvolvimento das aplicações com o compartilhamento dos benefícios econômicos.
A fonte de receitas vem da ponta da cadeia e incorpora toda a agregação de valor das aplicações.
- Equipe interdisciplinar, composta por técnicos, graduados, mestres e doutores (químicos, físicos e engenheiros).

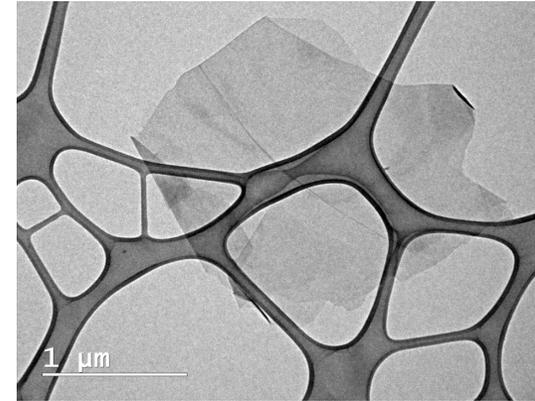
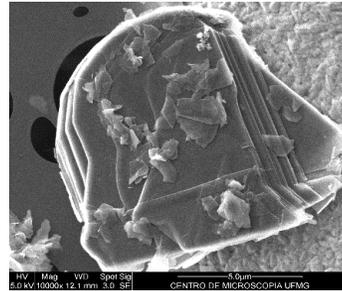
- Gerar uma cadeia de negócios e um amplo mercado de produtos à base de grafeno
 - Processo produtivo escalável, reproduzível, robusto e de baixo custo.

Grafeno a partir da grafita:

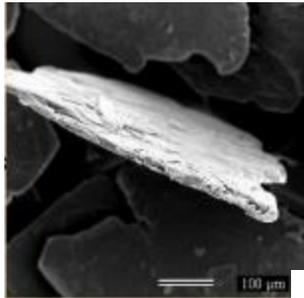
- esfoliação em líquidos, assistida por ação mecânica

Solvente do processo:
- água

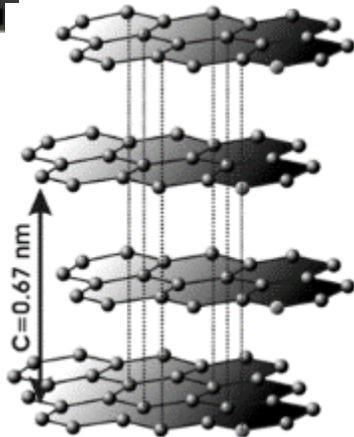
Grafita: mineral
de hábito
lamelar



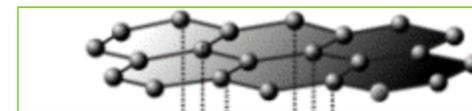
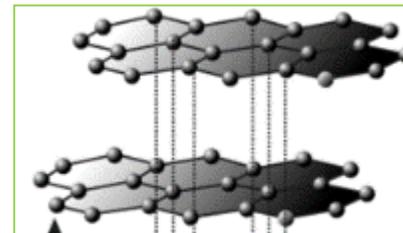
Estabilizados
em líquidos



Grafite



Grafenos

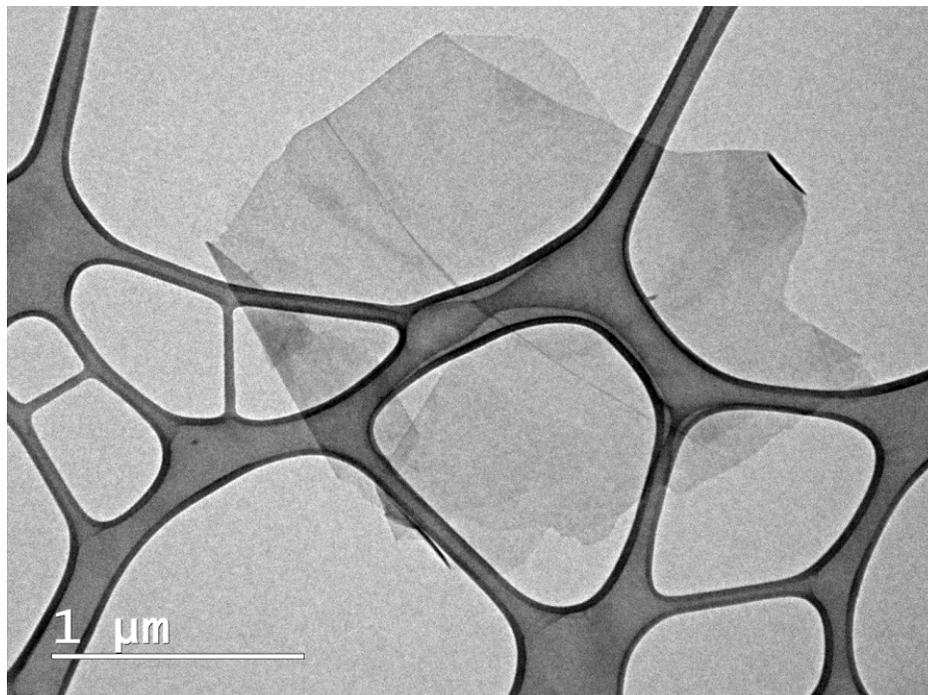


ESTÁGIO ATUAL DE DESENVOLVIMENTO:

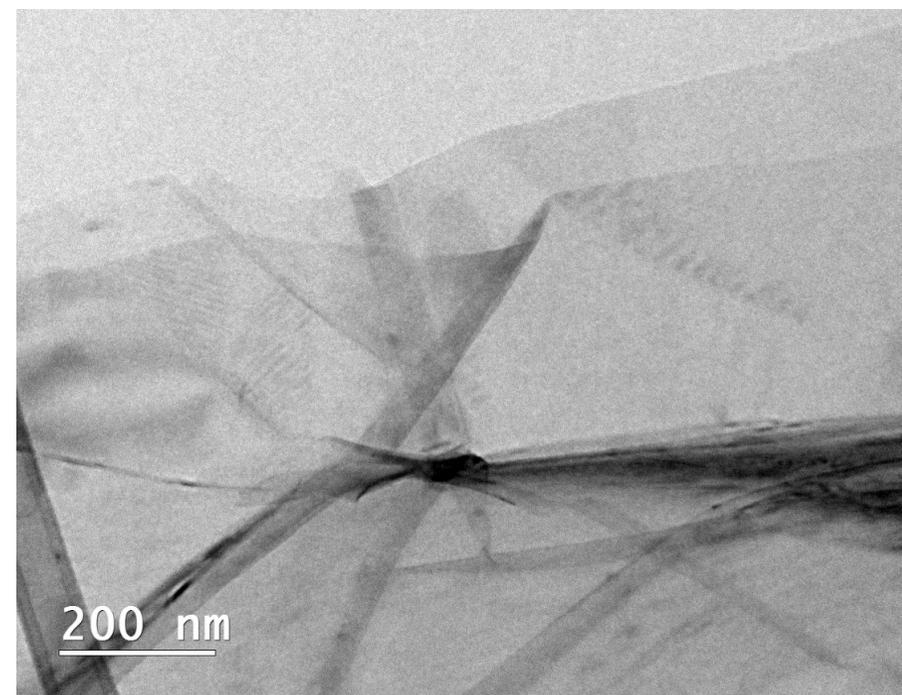
Equipe (2017): 33 pessoas



~ 0,5 g Gr / L



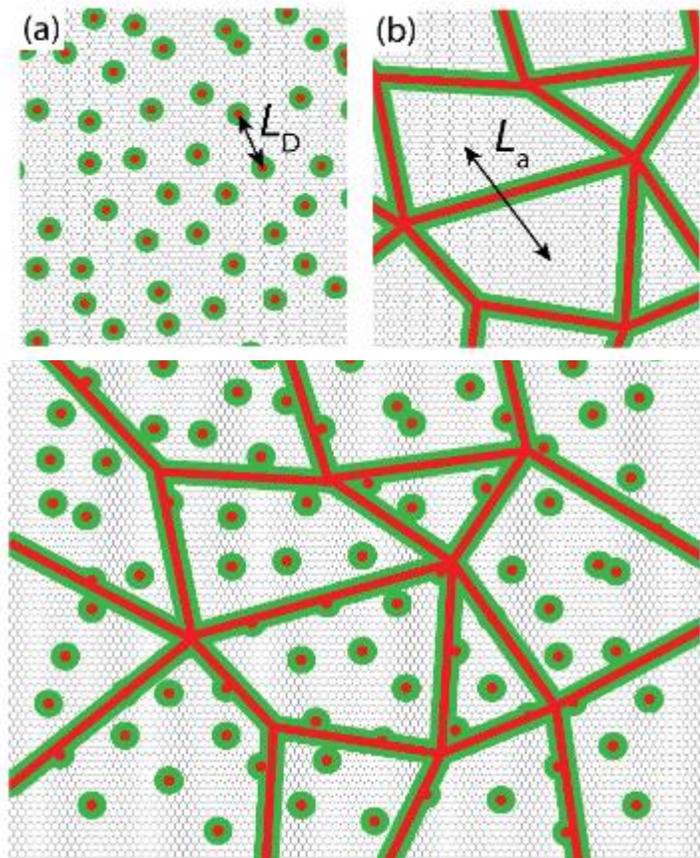
Estruturas com aspecto lamelar e com grande área superficial.



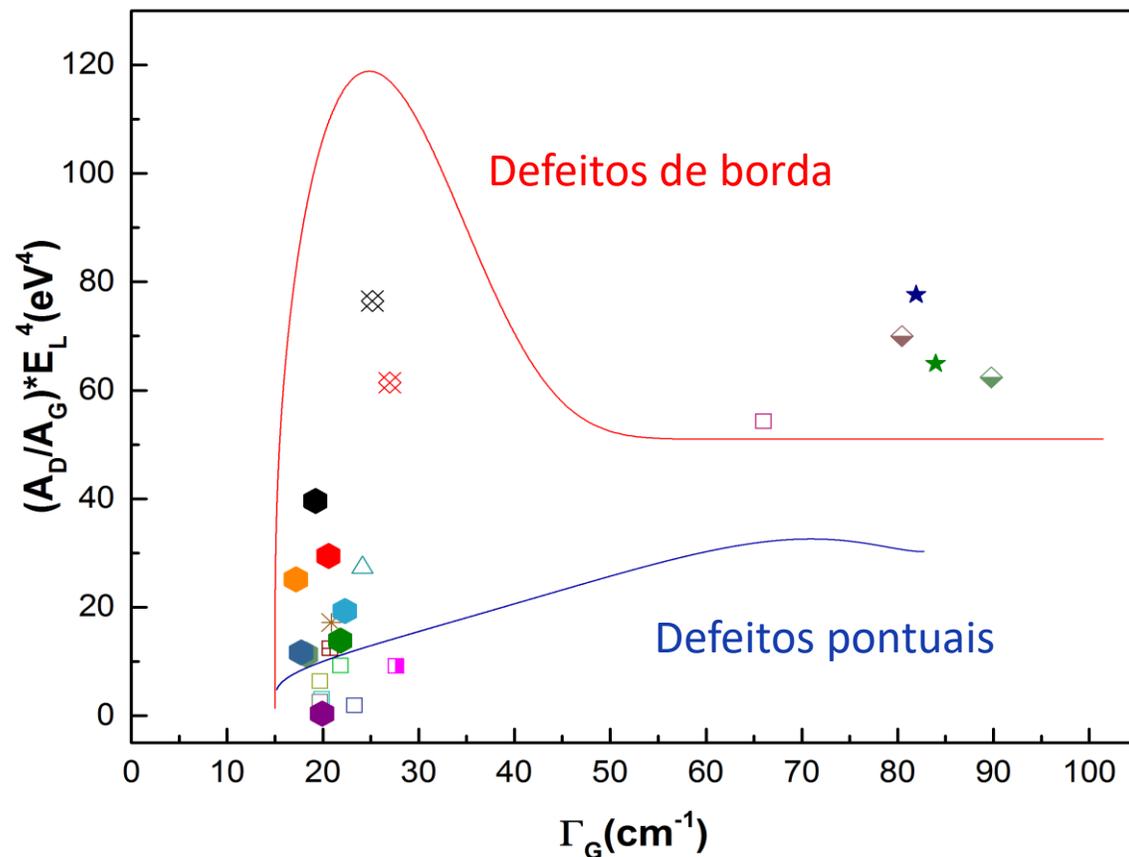
Empilhamento randômico de folhas de Gr independentes.

QUALIDADE:

- igual ou superior às melhores amostras comerciais mundiais

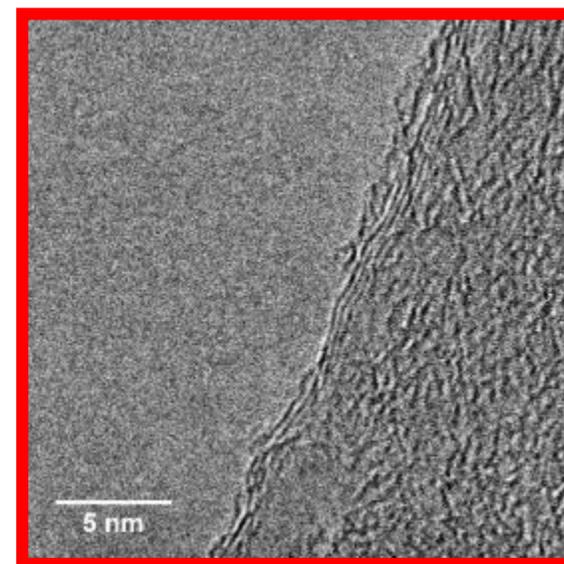
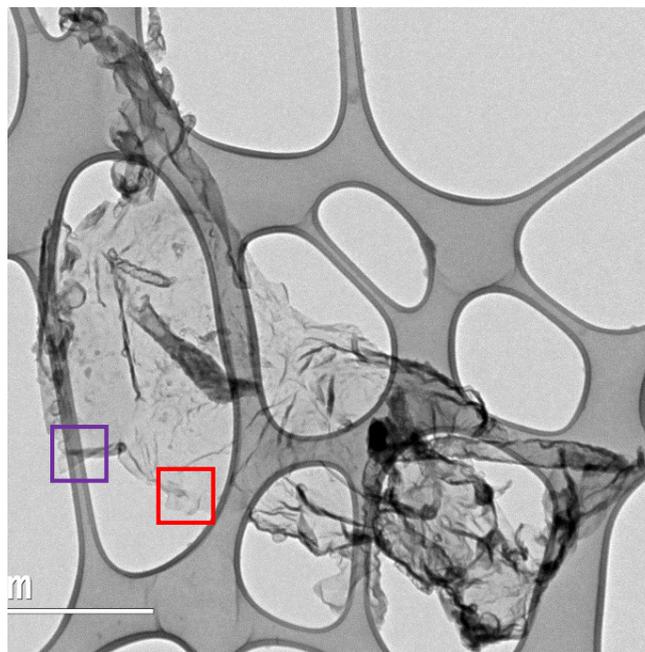
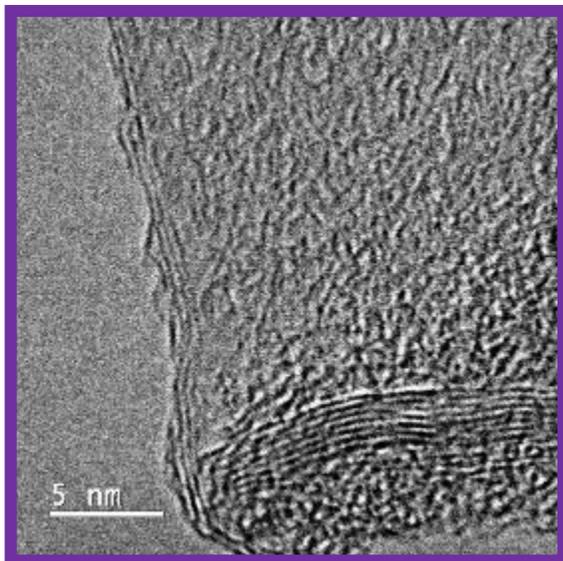


MG Grafeno: símbolos cheios



ESTÁGIO ATUAL DE DESENVOLVIMENTO:

- Produção de grafenos de poucas camadas (4 - 6 camadas atômicas)
- Taxa de produção atual: ~ 20 kg / ano
- Tamanho lateral médio: ~ 500 nm
- Alta qualidade estrutural (baixa densidade de defeitos)



SEGURANÇA, MEIO AMBIENTE E SAÚDE (SMS)

Abordagem tática:

Avaliação, Análise e Gestão de Risco em Nanotecnologia

- Aspectos de segurança ocupacional e ambiental

Normas técnicas e legislação / Participação dos membros da equipe

• **ABNT**, Comitê de Nanotecnologia

• **ISO**, Comitê Técnico TC 229 - Nanotecnologias

Grupos de Trabalho (WG):

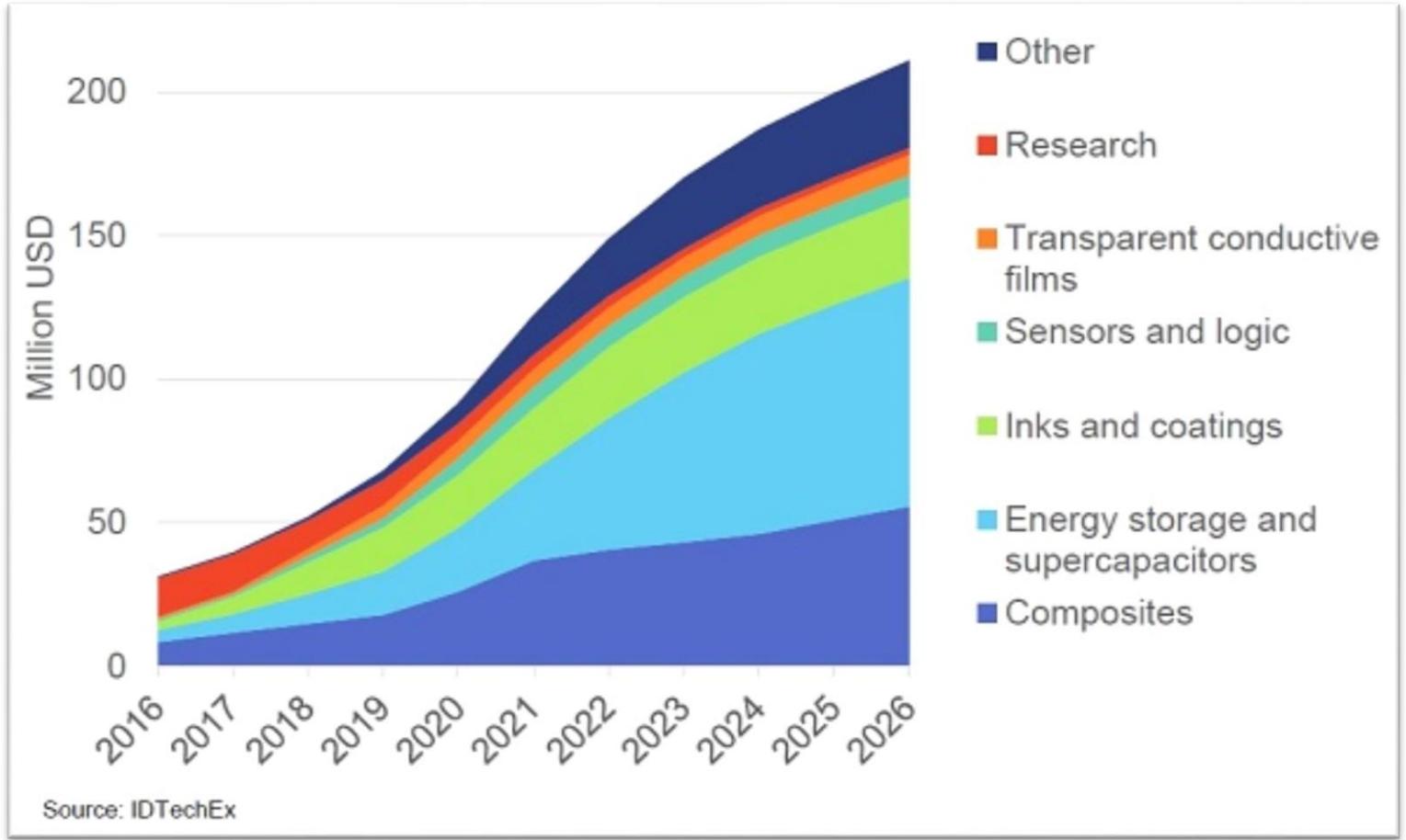
WG1 Terminology and nomenclature

WG2 Measurement and characterization

WG3 Health, Safety and Environmental Aspects of Nanotechnologies

WG4 Material specifications

APLICAÇÕES:

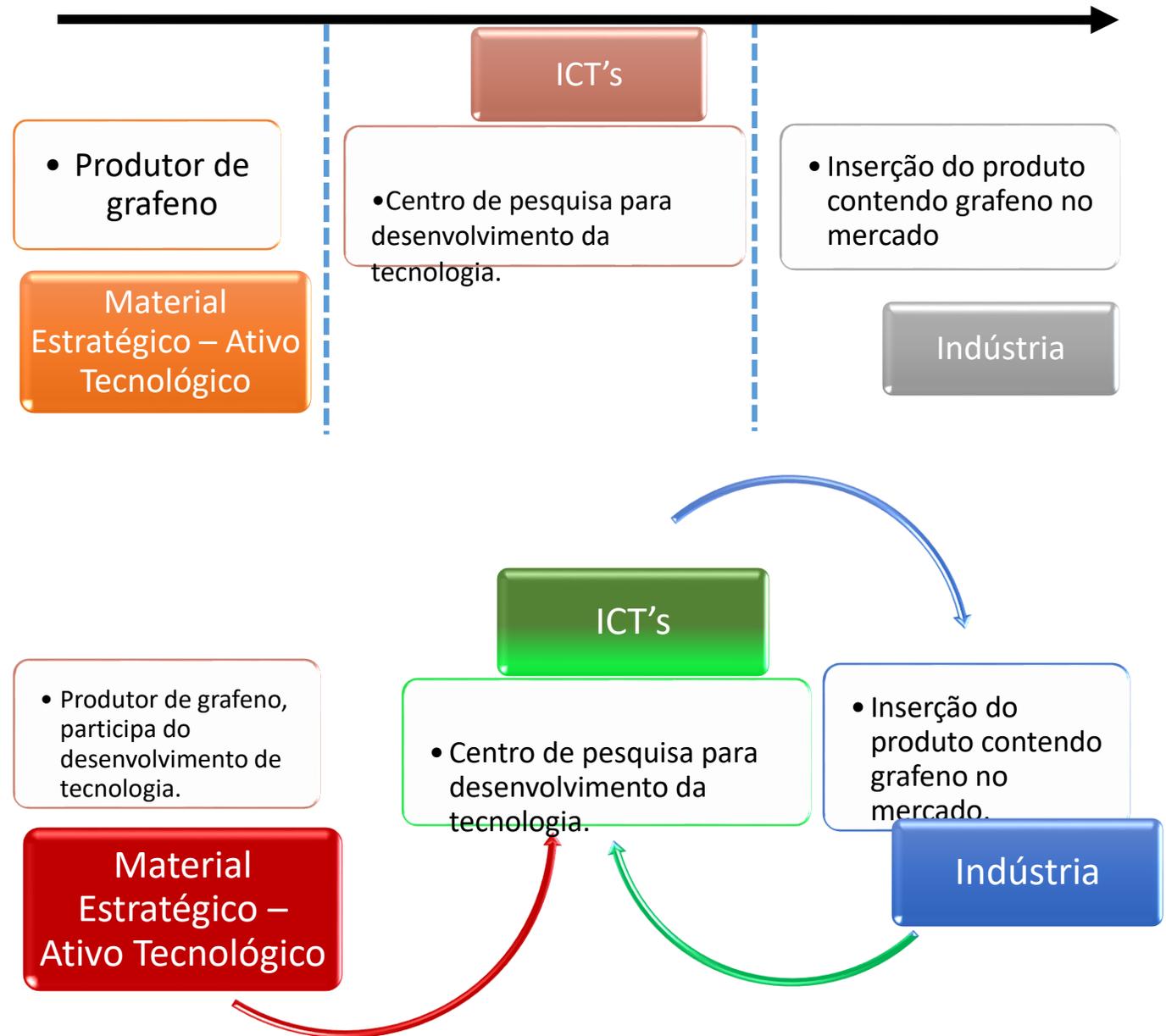


Mercado mundial de grafeno

MODELO 1: Atuação separada de cada setor



MODELO 2: Atuação conjunta (grafeno ativo tecnológico)



Linha Temática: Linha 1: Minerais “Portadores de Futuro”: Cobalto, **Grafita**, Lítio, Metais do Grupo da Platina, Molibdênio, Nióbio, Silício (Grau Solar), Tália, Tântalo, Terras Raras, Titânio e Vanádio – principalmente materiais de alto desempenho, ligas e suas aplicações

Produção de grafeno a partir de grafita natural e desenvolvimento de produtos industriais à base de grafeno

Projeto 1

CODEMIG em parceria com CDTN e UFMG

Scale up da produção de grafeno

Criação e Implantação da Companhia de Grafeno

R\$ 100,6 Mi – Credito BNDES

Projeto 2

Empresa A
Senai – ISI-ES
R\$ 6,6 Mi
Funtec

Projeto 3

Empresa B
R\$ 2,4 Mi
Funtec

Projeto 4

Empresa C
CETIQT
R\$ 4,5 Mi
Funtec

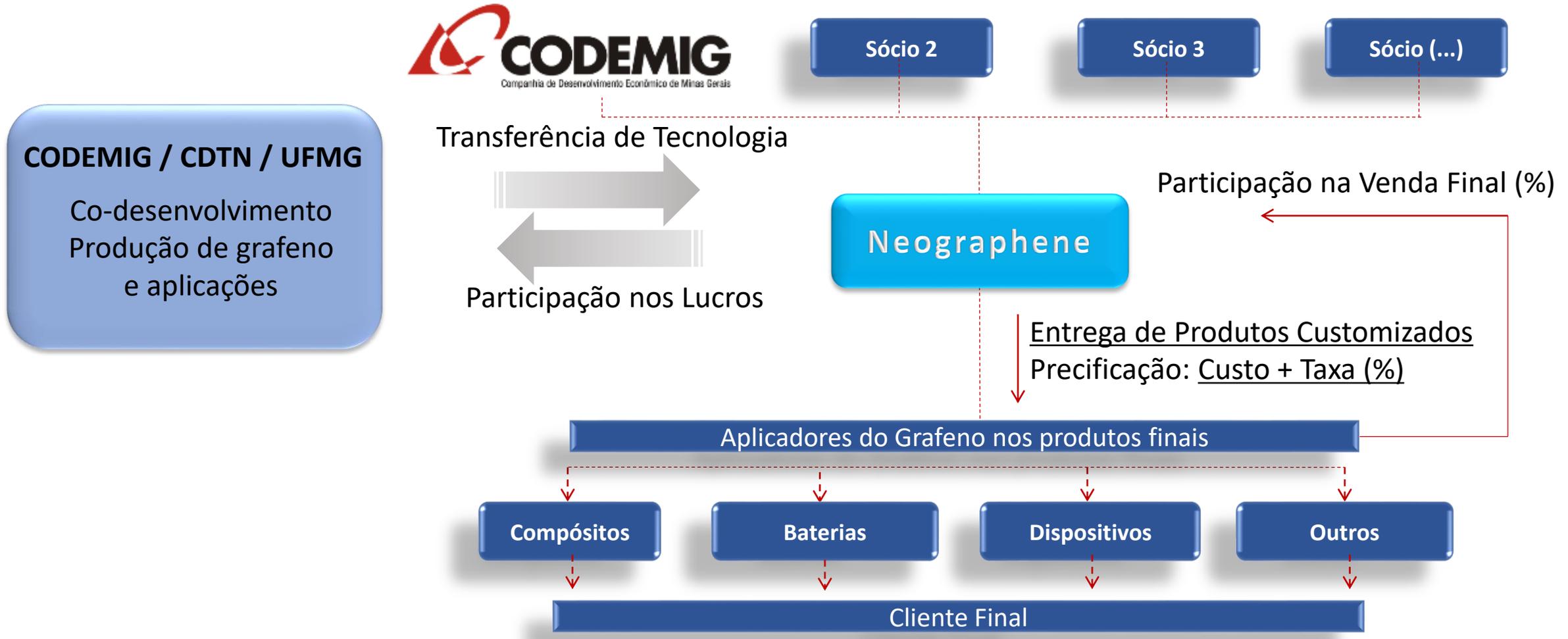
Projeto 5

Empresa D
R\$ 5,5 Mi
Funtec

Projeto 6

Empresa E
R\$ 11,6 Mi
Crédito

Modelo



Participação da Empresa no valor agregado do produto final

84
anos

diariodocomercio.com.br
DIÁRIO DO COMÉRCIO

JOSÉ COSTA
FUNDADOR

Minas é o nosso negócio

ECONOMIA

23/09/2017

Minas Gerais terá planta de grafeno até 2020

A CODEMIG está investindo R\$ 132 milhões no projeto, desenvolvido em parceria com a iniciativa privada

Até 2020, Minas Gerais pode ganhar uma planta de grafeno, material leve, resistente, flexível e de inúmeras aplicações para a indústria do futuro, seja na área de tecnologia ou mesmo da cadeia mineral. A Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (Codemig), junto com empresas privadas (cujos nomes ainda não foram revelados), está investindo R\$ 132 milhões em um projeto para o desenvolvimento da cadeia produtiva do grafeno no Estado. Já está em operação uma fábrica-piloto dentro do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), em Belo Horizonte. Além disso, está em

andamento a formação de uma empresa (que se chamará Neografeno), com participação do órgão e da iniciativa privada, que, até 2020, deve erguer a plataforma de escala industrial.

As informações são do presidente da Codemig, Marco Antônio Castello Branco. "A ideia é produzir o grafeno com especificações e parâmetros para disponibilizar o produto para empresas que já estão desenvolvendo sua aplicação. São seis empresas no projeto batizado de Neografeno, empresa que está sendo criada com participação minoritária da Codemig", disse, na quinta-feira (21), durante a Exposição Internacional de Mineração (Exposibram) e o 17º Congresso Brasileiro de Mineração, na Capital.

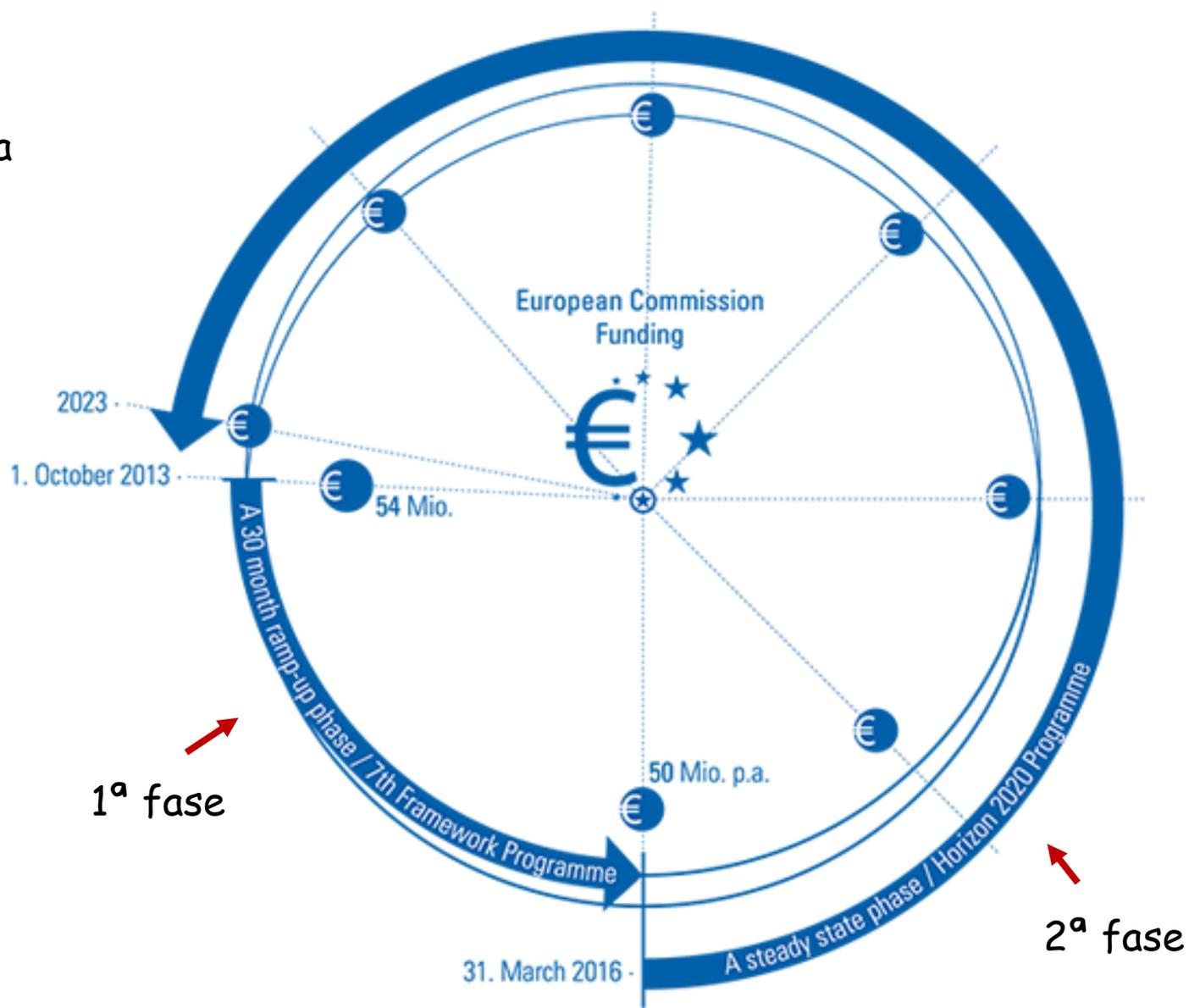
Grandes Investimentos em PD&I - O exemplo do *Graphene Flagship*

Coordenação: Prof. Jari Kinaret
Chalmers Univ. of Technology, Suécia

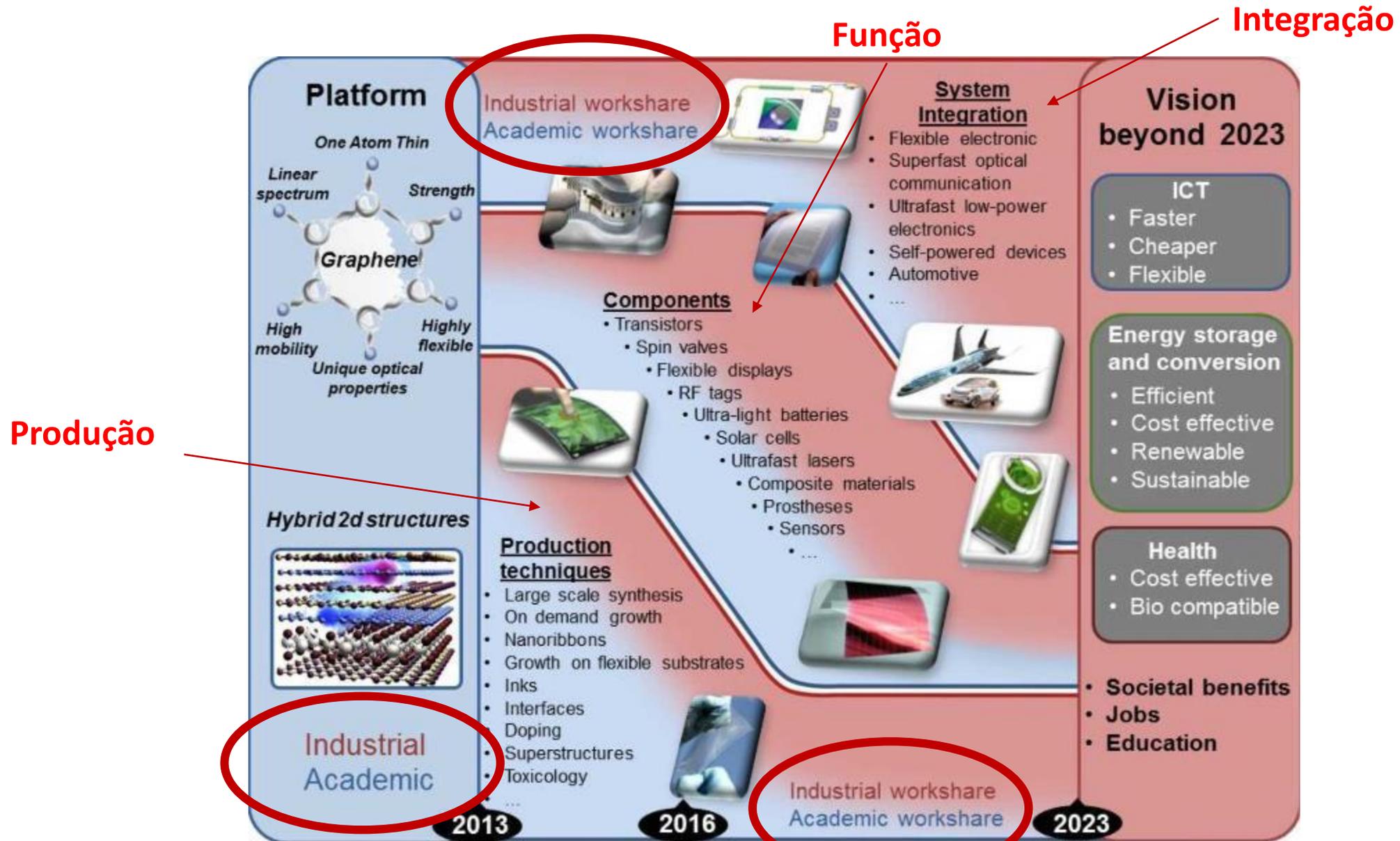
~ 150 grupos acadêmicos e industriais
em 23 países europeus, além de
60 membros associados

€ 1 bilhão em 10 anos

↓
50% - Comunidade Europeia
50% - Projetos de parcerias
regionais, nacionais e
transnacionais



Grandes Investimentos em PD&I - O exemplo do *Graphene Flagship*



“Medidas para acelerar a pesquisa e a produção do material no país”

- i) Estratégia nacional p/ grafeno (e outros temas / materiais estratégicos)
 - incentivo à cadeia de negócios / produção Gr & desenv. de produtos
- i) Facilitar a interação indústria - ICTs (marco legal de CT&I)
- ii) Reverter a asfixia dos centros de P&D do MCTI (\$ e RH)

As iniciativas da Mackenzie e CODEMIG + CDTN + UFMG, independentes e não concorrentes, são bastante promissoras, mas é pouco face ao potencial tecnológico do grafeno e ao que vem sendo feito em países onde ser um grande protagonista em tecnologias disruptivas à base de materias contendo grafeno tem sustentação em políticas de Estado.

MUITO OBRIGADO!