

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações  
Secretaria de Empreendedorismo e Inovação

# CENTRO

# BRASIL-CHINA

## DE PESQUISA E INOVAÇÃO EM NANOTECNOLOGIA (CBCIN)

MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÕES



PÁTRIA AMADA  
**BRASIL**  
GOVERNO FEDERAL

# **CENTRO BRASIL-CHINA**

**DE PESQUISA E INOVAÇÃO EM  
NANOTECNOLOGIA (CBCIN)**

**Presidente da República**

Jair Messias Bolsonaro

**Ministro da Ciência, Tecnologia e Inovações**

Marcos Cesar Pontes

**Secretário-Executivo**

Leonidas de Araújo Medeiros Junior

**Secretário de Empreendedorismo e Inovação**

Paulo Cesar Rezende da Carvalho Alvim

**Diretor de Tecnologias Aplicadas**

Eduardo Soriano Lousada

**Coordenador-Geral de Tecnologias Habilitadoras**

Felipe Silva Bellucci

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações  
Secretaria de Empreendedorismo e Inovação

# **CENTRO BRASIL-CHINA DE PESQUISA E INOVAÇÃO EM NANOTECNOLOGIA (CBCIN)**

Brasília 2020

## Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações

Secretaria de Empreendedorismo e Inovação

Esplanada dos Ministérios, Bloco E, 3º andar. 70067-900, Brasília, DF, Brasil.

Telefone: (61) 2033-7800 / 2033-7424

sempi@mcti.gov.br e cgth@mcti.gov.br

<http://www.mcti.gov.br/>

## Equipe Técnica da Coordenação-Geral de Tecnologias Estratégicas (CGTH)

Felipe Silva Bellucci- Tecnologista

Helyne Gomes de Paiva- Assistente em C&T

Luciana Landim Carneiro Estevanato- Tecnologista

Luciane da Graça da Costa – Analista de C&T

Marcondes Moreira De Araújo – Analista em C&T

Paulo Frank Bertotti- Assistente em C&T

Rogério Vilela Borges de Andrade Franco –Assistente em C&T

Sandra Pacheco Renz- Analista em C&T

Todos os direitos reservados pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI).

Os textos contidos nesta publicação poderão ser reproduzidos, armazenados ou transmitidos, desde que citada a fonte.

B823c Brasil. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Secretaria de Empreendedorismo e Inovação.

Centro Brasil – China de Pesquisa e Inovação em Nanotecnologia: CBCIN / organizador, Felipe Silva Bellucci et al.-- Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2020.

74 p. : il.

ISBN: 978-85-88063-68-6

1. Nanotecnologia – Cooperação internacional – Brasil- China . 2. Inovação tecnológica. 3. Pesquisa científica I. Bellucci, Felipe Silva II. Paiva, Helyne Gomes de. III. Estevanato, Luciana Landim Carneiro. IV. Araujo, Marcondes Moreira de. V. Bertotti, Paulo Frank. VI. Renz, Sandra Pacheco.

CDU 620.3:341.232(81:510)

## SUMÁRIO

Apresentação .....	6
Resumo Executivo de Resultados .....	9
1. Panorama Geral da Área de Nanotecnologia .....	11
1.1. Histórico do Centro Brasil-China de Pesquisa e Inovação em Nanotecnologia (CBCIN): .....	12
1.2. A importância da nanotecnologia na cooperação Brasil-China em CT&I .....	13
1.3. Projetos apoiados.....	15
1.4. Principais resultados .....	17
1.5. Desdobramentos em outros projetos.....	19
1.6. Perspectivas para o CBCIN 2.0 .....	20
1.7. Informações detalhadas sobre os projetos desenvolvidos no CBCIN	21
2. Projeto Biocarb - Descontaminação de efluentes utilizando carvão ativo nano-estruturado produzido a partir de biomassa.....	22
3. Projeto Biosafety- avaliação da toxicidade de nanocarbonos: caracterização da nanobiointerface e impactos da interação com poluentes ambientais .....	27
4. Espectroscopia Raman intensificada pela presença de grafeno aplicada para o diagnóstico de doenças .....	32
5. Desenvolvimento de nova geração de sensores SAW (Ondas Acústicas de Superfície) baseados em camadas sensíveis nanoestruturadas.....	34
6. Materiais nanoparticulados na descontaminação ambiental: o papel fotocatalítico de heteroestruturas semicondutoras na redução de CO <sub>2</sub> para hidrocarbonetos .....	39
7. Nanomateriais e Nanocompósitos para descontaminação ambiental.....	43

8. Projeto computacional de materiais nanoestruturados para aplicações ambientais em condições extremas e severas .....	47
9. Nanodispositivos para detecção ambiental e bioprospecção de leveduras negras de interesse clínico e biotecnológico.....	53
10. Aplicações Biomédicas de Nanomateriais.....	60
11. Principais Equipamentos do Projeto CBCIN .....	63
12. Documentos Estruturantes.....	72
13. Contatos e Interlocução do MCTI.....	74

## PREFÁCIO



É com muito orgulho que prefacio este e-book sobre a cooperação Brasil-China em Nanotecnologia, por meio do Centro Brasil-China de Pesquisa e Inovação em Nanotecnologia (CBCIN). Constatase, facilmente, o quanto a cooperação internacional potencializa os resultados em pesquisa, desenvolvimento e inovação, seja por meio da troca de experiências, do aprendizado mútuo na produção de conhecimento e de novas tecnologias. No caso específico da China, em que a distância geográfica poderia se impor como principal limitação, os resultados obtidos demonstram que a Ciência não conhece fronteiras, nem eventuais barreiras geográficas.

A cooperação com a China, conforme assinala nosso vice-presidente Hamilton Mourão, é estratégica e, entre as áreas prioritárias, estão a CT&I. Não por acaso, tais áreas são o motor do desenvolvimento econômico e social dos países mais avançados.

A China é um parceiro tradicional do MCTI, notadamente na área espacial, quando completamos, recentemente, 30 anos de colaboração. Desde o estabelecimento da Comissão Sino-Brasileira de Alto Nível de Concertação e Cooperação (COSBAN), em 2004, a área de CT&I é um dos campos mais frutíferos dessa parceria, tendo entre seus foros a Subcomissão de Ciência e Tecnologia. O CBCIN, estabelecido há menos de 10 anos, é parte dessa Subcomissão e, em pouco tempo, já mostra resultados significativos. Da parte brasileira, constata-se o impacto positivo em diversos setores, com as mais variadas aplicações. Mais uma demonstração da capacidade conjunta de se solucionar problemas por meio da Ciência, Tecnologia e Inovação.

Valorizo os esforços conjuntos para que alcançássemos o bom resultado que temos em mãos, baseados nos valores de benefício mútuo, integridade, soberania, igualdade, entre outros. Além da expertise dos cientistas em ambos países, os dois governos, por meio dos ministérios homólogos – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) e Ministério da Ciência e Tecnologia da República Popular da China (MOST), criaram condições para favorecer a interação, a pesquisa colaborativa e o desenvolvimento conjunto de novas tecnologias.

É primordial destacar que o CBCIN não se encerra com a confecção desse e-book. Ao contrário, o bom trabalho científico enseja novas perguntas, novas ideias e desafios. Nesse contexto, o CBCIN é importante instrumento bilateral capaz de gerar mais conhecimento e mais riqueza para o Brasil e para a China e de contribuir com a qualidade de vida dos brasileiros, dos chineses e de todo o mundo, dado que a Ciência tem caráter universal.

MARCOS CESAR PONTES

Ministro de Estado da Ciência, Tecnologia e Inovações



## APRESENTAÇÃO

A Nanotecnologia está entre as áreas prioritárias estabelecidas na Portaria MCTI nº 1.122, de 19 de março de 2020. A área está na fronteira do conhecimento científico e tecnológico e das tecnologias habilitadoras, estratégicas para o desenvolvimento e a inovação em diversos setores.

Nesse contexto, lançar mão da cooperação internacional não apenas potencializa os resultados de pesquisa, como também proporciona um aprimoramento dos métodos e técnicas que poderão gerar novos produtos, processos e serviços. O Centro Brasil-China de Pesquisa e Inovação em Nanotecnologia (CBCIN) foi estabelecido em 2012 e, em oito anos, já é possível verificar avanços e impactos para a ciência e a sociedade brasileiras.

O CBCIN foi tema importante das últimas reuniões no âmbito da Comissão Sino-Brasileira de Alto Nível de Concertação e Cooperação (COSBAN), nível mais elevado do diálogo bilateral entre o Brasil e a China. Na última reunião da COSBAN, ocorrida em maio de 2019, o relatório da Subcomissão de Ciência e Tecnologia ressaltou a colaboração em 10 projetos bilaterais e a continuidade do CBCIN após a conclusão deste primeiro ciclo de projetos conjuntos, notadamente no campo do grafeno.

É mister destacar que Brasil e China são duas potências no que tange à presença dessa commodity de grande valor. É fundamental utilizar o grafeno de maneira sustentável, de forma que se propicie o desenvolvimento de novas tecnologias que possam trazer impactos positivos a toda humanidade. Portanto, investir em pesquisa, desenvolvimento e inovação em nanotecnologia está em linha com as prioridades e com a missão do MCTI. A cooperação internacional incrementa, valoriza e intensifica a produção do conhecimento, assim como a geração de riquezas que impulsionam melhor qualidade de vida para as populações dos países colaboradores.

O CBCIN é exemplo de sucesso na cooperação sino-brasileira em CT&I. Nas seções a seguir constataremos que a diversidade de ideias e de pontos de vista traz benefícios mútuos. As diferenças culturais e geográficas entre Brasil e China são inúmeras, mas a consciência de que a Ciência é universal é o principal ponto de união entre os pesquisadores brasileiros e chineses e, por que não dizer, entre o MCTI e o MOST.

Neste *ebook* apresentamos os principais resultados obtidos pelo CBCIN, que é um centro virtual formado por uma rede cooperativa de instituições do Brasil e da China. O Centro foi formado por 10 instituições chinesas e nove brasileiras. Os 10 projetos executados envolveram diferentes áreas de atuação de interesse dos dois países, como meio-ambiente, energia renovável, grafeno e biomedicina. Do lado brasileiro contamos com uma ação con-

junta liderada pelo Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), fomentado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e com coordenação científica e executiva pelo Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), por meio do Laboratório Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (LNNano).

O CBCIN é um exemplo de cooperação internacional de muito sucesso. Neste documento mostramos de forma resumida os principais resultados dos diferentes projetos. Entretanto, vale a pena destacar que a partir dessa cooperação, pesquisadores brasileiros e chineses estão trabalhando em outros projetos disruptivos em temas de interesse mundial.

Houve um impacto direto no avanço da nanotecnologia brasileira, em que destacamos:

- I. controle do processo de engenharia de materiais de carbono nanoestruturado de biomassa para aplicação em remediação ambiental;
- II. métodos robustos para fabricação de dispositivos;
- III. modelagem computacional de materiais nanoestruturados em condições extremas e design de nanossensores;
- IV. nanomateriais híbridos para aplicações biomédicas, agrícolas e nanofotônicas.

Temos certeza de que o CBCIN impactou positivamente com novos desenvolvimentos científicos e tecnológicos. Esperamos que o programa tenha continuidade contemplando novos temas em materiais avançados e fotônica.

Paulo César Rezende de Carvalho Alvim  
Secretário de Empreendedorismo e Inovação (SEMPI – MCTI)

Felipe Silva Bellucci  
Coordenador-Geral de Tecnologias Habilitadoras (CGTH/DETAP/SEMPI – MCTI)  
e Coordenador-Geral do CBCIN

Adalberto Fazzio  
Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM – MCTI) e Coordenador Científico do CBCIN

## RESUMO EXECUTIVO DE RESULTADOS

### Centro Brasil-China de Pesquisa e Inovação em Nanotecnologia (CBCIN) Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI)

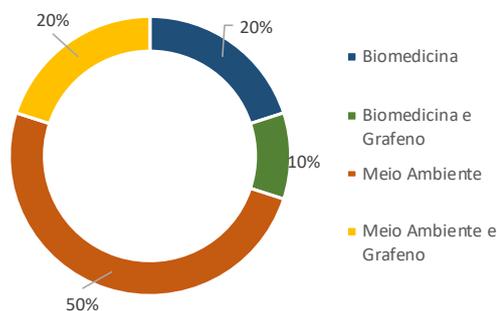
- Ação ministerial conjunta entre a Secretaria de Empreendedorismo e Inovação (SEM-PI), por meio da Coordenação-Geral de Tecnologias Habilitadoras (CGTH-DETAP) com o apoio do Gabinete do Ministro (GM-MCTI), por meio da Assessoria Especial de Assuntos Internacionais (ASSIN).

- A coordenação científica foi realizada pelo Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), por meio do Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LNNano), e o fomento foi realizado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

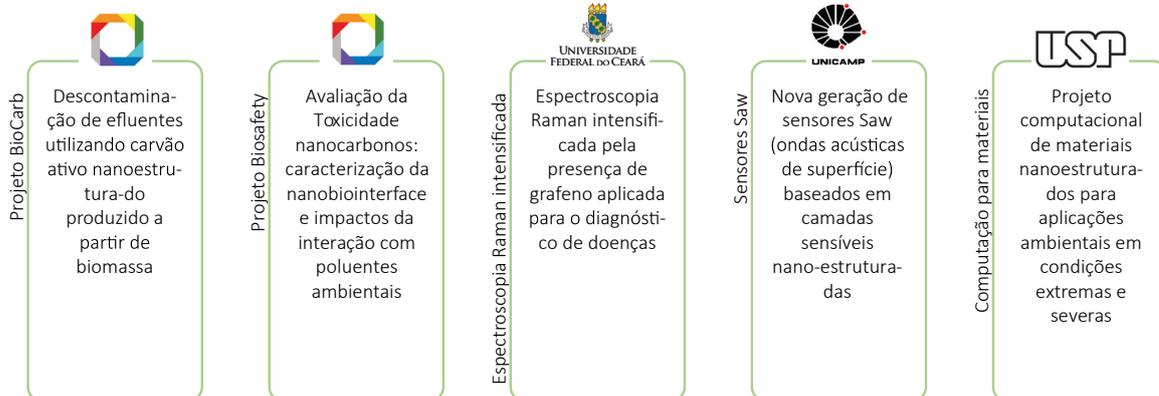
### Áreas Prioritárias

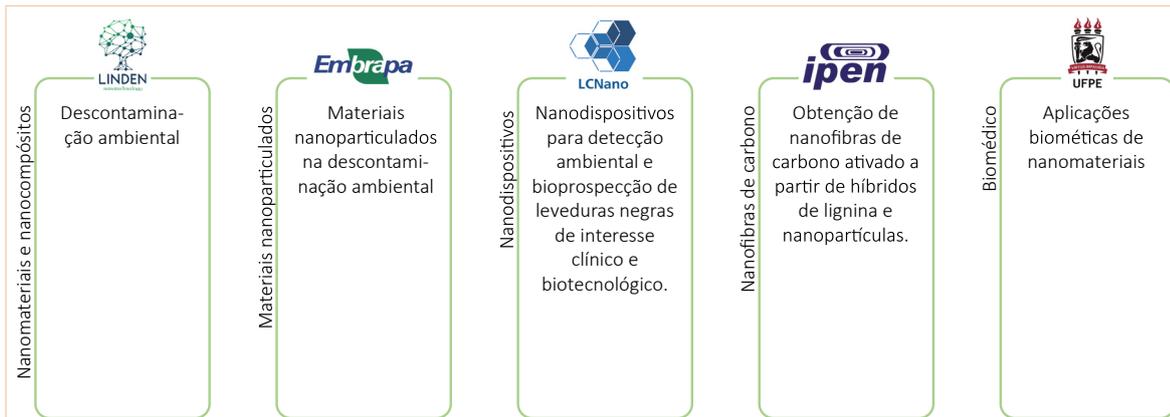


### Áreas Apoiadas



### Projetos Apoiados

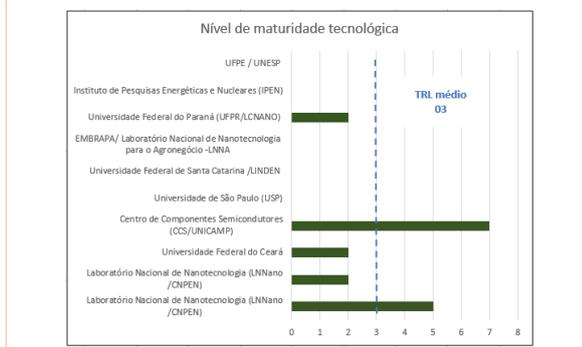
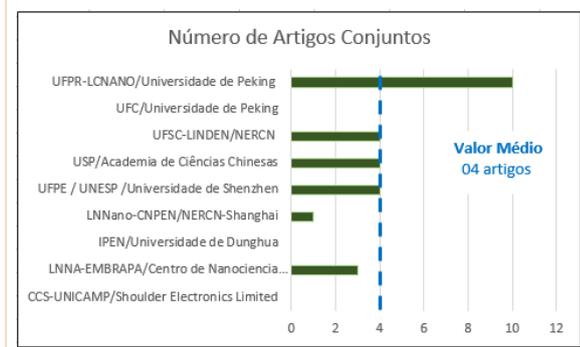




### Contribuição para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável



### Artigos Conjuntos e Nível de Maturidade Tecnológica



### Perspectivas Futuras

Articular programas conjuntos em tecnologias convergentes e habilitadoras para o desenvolvimento tecnológico, inovação e empreendedorismo de base tecnológica; e

Estimular a integração entre as equipes de desenvolvimento tecnológico e inovação e o setor privado, com especial atenção ao desenvolvimento das bases da indústria 4.0.

## 1. PANORAMA GERAL DA ÁREA DE NANOTECNOLOGIA

A nanociência e a nanotecnologia são campos tecnológicos associados ao estudo, manipulação, modulação e aplicação da matéria, partículas e estruturas na escala nanométrica ( $1,0 \times 10^{-9}$ , a bilionésima parte do metro ou 100.000 vezes menor que o diâmetro de um fio de cabelo). A nanotecnologia em conjunto com a fotônica, os materiais avançados, a nanoeletrônica, a biotecnologia e as tecnologias para a manufatura avançada compõem as tecnologias convergentes e habilitadoras, que têm potencial para gerar um ciclo acelerado de desenvolvimento econômico e catalisar mudanças radicais na maioria dos setores da sociedade.

Aplicações de base nanotecnológica estão e tendem a estar cada dia mais presentes nos mais diversos setores da economia. A seguir, apresenta-se, como exemplo, aplicações baseadas em nanotecnologia para diversos setores estratégicos nacionais:

- **No setor da agricultura:** nanossensores para monitorar e analisar as condições do solo e para diagnosticar fitopatologias; nanofertilizantes para aumentar a capacidade de absorção dos nutrientes, reduzir o desperdício e o custo, entre outras aplicações;
- **No setor energético:** produção de nano-catalizadores para a produção de biocombustíveis; nanomateriais para aumentar a eficiência de conversão da energia solar em elétrica, entre outras aplicações;
- **No setor têxtil:** nanopartículas orgânicas e inorgânicas com ação antibacteriana, reflexão da radiação solar, efeito antichamas, efeito repelente a água e insetos, entre outras aplicações;
- **No setor de cosméticos:** protetores solares com agente ativo na escala nanométrica; novos produtos de beleza com efeitos anti-idade aperfeiçoados; produtos de beleza com liberação controlada por calor, atrito ou humidade, entre outras aplicações;
- **No setor de saúde:** novos sistemas controlados de liberação do princípio bioativo (sistemas tipo *drug delivery*); desenvolvimento de novos princípios ativos para o tratamento de enfermidades negligenciadas e de alta complexidade; novos sistemas de baixo custo para múltiplos diagnósticos, entre outras aplicações;
- **No setor de tecnologias da informação e comunicação (TICs):** nanomateriais para miniaturização dos componentes eletrônicos; nanossensores multifuncionais de baixo consumo energético para TICs e internet das coisas (IoT); nanomateriais para comunicação óptica e para viabilizar a computação e internet quântica, entre outras aplicações; e

- **No setor de meio ambiente:** nanomateriais para detecção, remediação e controle da poluição de águas, ar e solos; estudos toxicológicos, segurança e avaliação dos impactos de nanomateriais sobre a saúde pública e ambiental.

### 1.1. Histórico do Centro Brasil-China de Pesquisa e Inovação em Nanotecnologia (CBCIN):

Os programas de cooperação internacional são excelentes vetores para o desenvolvimento tecnológico e a inovação, colaboram para aprimorar e acelerar a base nacional de conhecimento, bem como ocupam posição importante nas políticas públicas brasileiras. Nesse sentido, em abril de 2011, o governo brasileiro assinou memorando de entendimento com o governo da República Popular da China para o estabelecimento do Centro Brasil-China de Pesquisa e Inovação em Nanotecnologia (CBCIN).

O CBCIN é uma iniciativa ministerial conjunta entre a Secretaria de Empreendedorismo e Inovação (SEMPI), por meio da Coordenação-Geral Tecnologias Habilitadora (CGTH/DETAP), e do Gabinete do Ministro (GM-MCTI), por meio do Assessoria Especial de Assuntos Internacionais (ASSIN). A coordenação científica foi realizada pelo Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM-MCTI), por meio do Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LNNano), e o fomento foi viabilizado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

O Centro foi instituído por meio da Portaria nº 117, de 13 de fevereiro de 2012, na forma de uma rede cooperativa de pesquisa e desenvolvimento, como mecanismo de implementação do Acordo sobre Cooperação Científica e Tecnológica firmado por ambos os países.

O Centro tem como órgão de coordenação central a atual Coordenação-Geral de Tecnologias Habilitadoras (CGTH), do Departamento de Tecnologias Aplicadas (DETEC), da Secretária de Empreendedorismo e Inovação (SEMPI).

Os objetivos propostos para o Centro são:

- coordenar as atividades envolvendo a cooperação Brasil-China em áreas de nanotecnologia no âmbito do MCTI;
- promover o avanço científico e tecnológico da investigação e aplicações de materiais nanoestruturados;
- consolidar e ampliar a pesquisa em nanotecnologia, expandindo a capacitação científica, visando explorar os benefícios resultantes dos desenvolvimentos associados a implicações tecnológicas;

- desenvolver programas de mobilização de empresas instaladas no Brasil para possíveis desenvolvimentos na área de nanomateriais.

As áreas prioritárias de atuação do Centro foram estabelecidas por meio do Plano de Ação Conjunta entre o governo da República Federativa do Brasil e o governo da República Popular da China, constante da Nota 172, de 19 de maio de 2015.



## 1.2. A importância da nanotecnologia na cooperação Brasil-China em CT&I

A instituição do Centro Brasil-China de Pesquisa e Inovação em Nanotecnologia (CBCIN), em 2012, consolidou a área da nanotecnologia como um dos principais eixos das relações de cooperação em ciência, tecnologia e inovação (CT&I) entre o Brasil e a China.

A relevância da nanotecnologia nesse relacionamento bilateral pode ser atestada pela constante inclusão dessa área na pauta de discussões em mecanismos de cooperação em CT&I entre os dois países, especialmente a Subcomissão de CT&I da Comissão Sino-Brasileira de Alto Nível de Concertação e Cooperação (COSBAN) e o Diálogo de Alto Nível Brasil-China de CT&I.

Na IV reunião da Subcomissão de CT&I da COSBAN, realizada em 5 de setembro de 2017, em Brasília, os lados brasileiro e chinês reconheceram as realizações do CBCIN, concordaram em dar seguimento às atividades de pesquisa, desenvolvimento tecnológico e inovação, e enfatizaram a importância de se promover a implementação de produtos tecnológicos desenvolvidos no Centro.

O relatório da Subcomissão de C,T&I apresentado na V sessão plenária da COSBAN, em 23 de maio de 2019, em Pequim, indica nanotecnologia entre as prioridades futuras de cooperação em CT&I e destaca as atividades realizadas no CBCIN, na forma da implementação de 10 projetos conjuntos de desenvolvimento tecnológico. Apresenta-se, neste documento, intenção das Partes em realizar avaliação, por meio de visitas técnicas e workshops e em planejar novo ciclo de chamadas públicas.

Em 18 de junho de 2019, em Brasília, na III reunião do Diálogo de Alto Nível, foram ressaltados os frutos obtidos no âmbito do CBCIN, em decorrência do estabelecimento de um efetivo canal de cooperação entre parceiros brasileiros e chineses. Representantes

de instituições dos dois países, que incluíram a Secretaria de Empreendedorismo e Inovação (SEMPI) do MCTI e o Centro Nacional de Pesquisa em Engenharia para Nanotecnologia da China (NERCN), reiteraram interesse na continuidade do tema de nanotecnologia na lista de prioridades para cooperação bilateral em CT&I.

Entende-se que o suporte institucional fornecido pelo CBCIN impulsionou o alcance dos já expressivos resultados da cooperação bilateral em nanotecnologia, apresentados mais adiante neste relatório. A área da nanotecnologia representa uma importante frente de cooperação a colaborar para o desenvolvimento de competências em CT&I nos dois países, em benefício de suas economias e sociedades.



Sessão Plenária da V COSBAN (Pequim - China, 23/05/2019), Fonte: Palácio do Planalto (Flickr)



III Diálogo de Alto Nível Brasil-China de Ciência, Tecnologia e Inovação (Brasília/DF, 18/06/2019), Fonte: MCTI (Flickr)

### 1.3. Projetos apoiados

Foram apoiados 10 projetos conjuntos de pesquisa de forma a fortalecer a cooperação Brasil-China e aumentar o conhecimento nas áreas estratégicas estabelecidas para a cooperação. Os projetos apoiados foram:

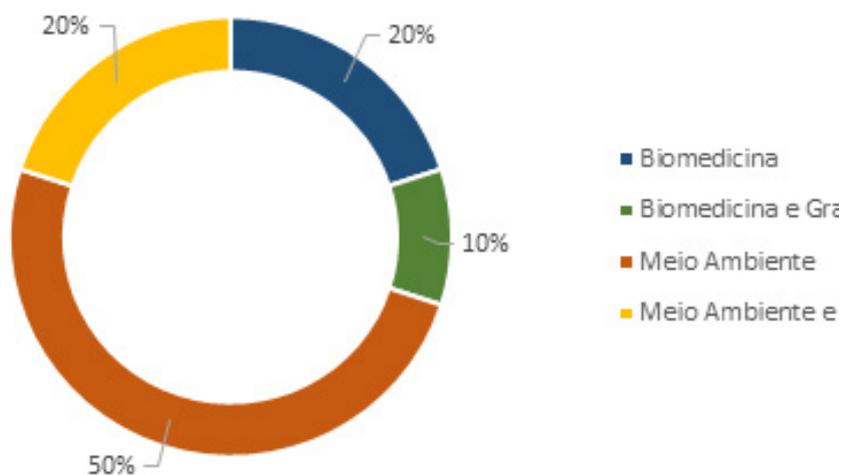
- Projeto BioCarb – Descontaminação de efluentes utilizando carvão ativo nano-estruturado produzido a partir de biomassa, desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Nanotecnologia do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (LNNano/CNPEN-MCTI) e pelo Centro Nacional de Engenharia e Pesquisa para Nanotecnologia (NERCN/Shanghai);
- Projeto Biosafety- Avaliação da toxicidade de nanocarbonos: caracterização da nanobiointerface e impactos da interação com poluentes ambientais, conduzido pelo Laboratório Nacional de Nanotecnologia do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (LNNano/CNPEN-MCTI) e pelo Centro Nacional de Nanotecnologia e Tecnologia (NCNST/China);
- Espectroscopia Raman intensificada pela presença de grafeno aplicada para o diagnóstico de doenças, desenvolvido pela Universidade Federal do Ceará (UFC) e pela Universidade de Pequim;
- Desenvolvimento de nova geração de sensores Saw (ondas acústicas de superfície) baseados em camadas sensíveis nanoestruturadas, conduzido pelo Centro de Componentes Semicondutores (CCS/UNICAMP) e pelo Shoulder Electronics Limited, Wuxi Jiangsu;
- Materiais nanoparticulados na descontaminação ambiental: o papel fotocatalítico de heteroestruturas semicondutoras na redução de CO<sub>2</sub> para hidrocarbonetos, executado pelo Laboratório Nacional de Nanotecnologia para o Agronegócio (LNNA) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e pelo Centro Nacional de Nanociência e Nanotecnologia (Beijing);
- Nanomateriais e nanocompósitos para a descontaminação ambiental, conduzido pela Universidade Federal de Santa Catarina /LINDEN e pelo Centro Nacional de Engenharia e Pesquisa para Nanotecnologia (NERCN);
- Projeto computacional de materiais nanoestruturados para aplicações ambientais em condições extremas e severas, pela Universidade de São Paulo (USP) e pelo Instituto de Física do Estado Sólido da Academia Chinesa de Ciências;
- Nanodispositivos para detecção ambiental e bioprospecção de leveduras negras de interesse clínico e biotecnológico, desenvolvido pela Universidade Federal do Paraná (UFPR/LCNANO) e pela Universidade de Pequim e a Universidade Sun Yat-Sen;
- Aplicações biomédicas de nanomateriais, pela UFPE / UNESP e pela Universidade de Shenzhen; e

- Obtenção de nanofibras de carbono ativado a partir de híbridos de lignina e nanopartículas, executado pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares e pelo (IPEN) Universidade de Dunghua (Shanghai).

O detalhamento dos resultados associados aos principais projetos executados no âmbito do Centro Brasil-China de Pesquisa e Inovação em Nanotecnologia (CBCIN) será apresentado nos capítulos seguintes.

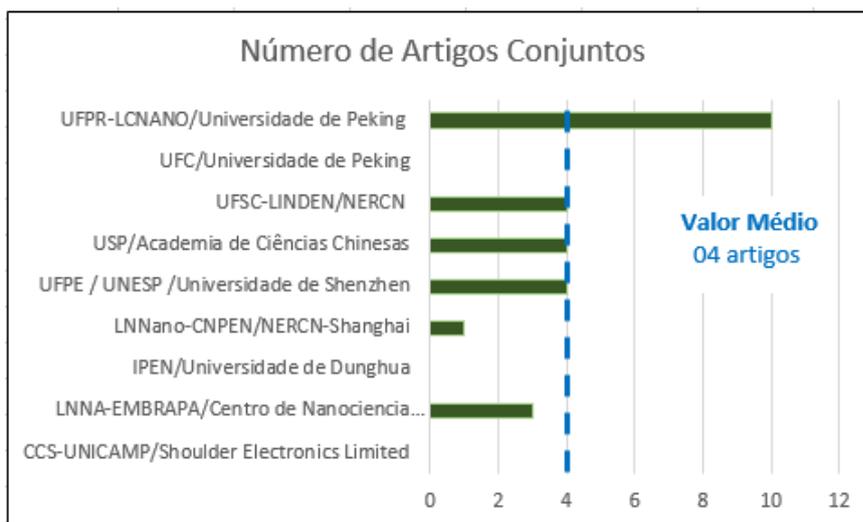
#### 1.4. Principais resultados

O Centro Brasil-China de Pesquisa e Inovação em Nanotecnologia (CBCIN) viabilizou a capacitação científico-tecnológica dos parceiros, contribuindo para aproximar as equipes de pesquisa e consolidar o desenvolvimento da nanotecnologia nas áreas pré-definidas. Prioritariamente, foram apoiados projetos nas áreas de biomedicina, meio ambiente e grafeno, sendo que alguns atuaram em conjunto em duas áreas, conforme apresentado no gráfico a seguir:



**Fonte:** Elaborado pela CGTH-DETAP-SEMPI-MCTI, a partir dos dados enviados pelos pesquisadores do CBCIN

Os projetos trouxeram benefícios para ambas as equipes de pesquisa, por meio da melhoria na capacitação de recursos humanos e fortalecimento da integração entre os sistemas de CT&I. O número de artigos publicados foi bastante expressivo. Ao todo, foram publicados 26 artigos conjuntos, sendo que dois artigos, entre o Centro de Componentes Semicondutores (CCS/UNICAMP) e pelo *Shoulder Electronics Limited* (China), estão em fase de preparação e dois artigos entre o LNNano-CNPEM/NERCN-NCNST estão em fase de conclusão. Destaca-se, ainda, que foram publicados três artigos oriundos dos projetos Biocarb-Biosafety, sem a colaboração direta de chineses como coautores.



**Fonte:** Elaborado pela CGTH-DETAP-SEMPI-MCTI, a partir dos dados enviados pelos pesquisadores do CBCIN

A execução dos projetos contribuiu para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 3, 4, 6, 9 e 17.



Objetivo 3. Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades;

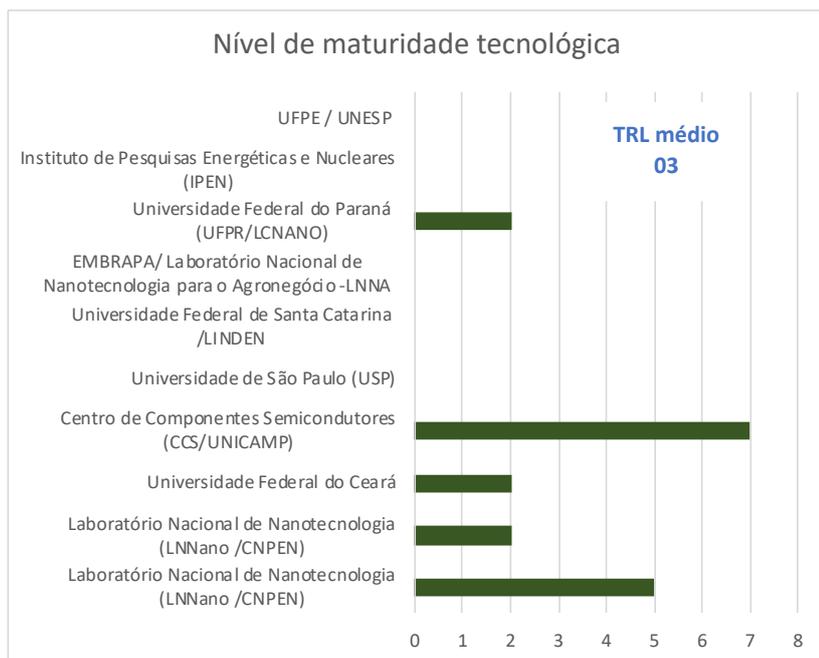
Objetivo 4. Assegurar a educação inclusiva e equitativa e de qualidade, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos;

Objetivo 6. Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos;

Objetivo 9. Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação;

Objetivo 17. Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável.

Constatou-se que o nível de maturidade tecnológica – *Technology Readiness Level* – dos projetos variou desde o TRL 2, ou seja, no que se refere ao conceito tecnológico ou a formulação da aplicação, ao TRL 7, ou seja demonstração do protótipo em um ambiente operacional. Ressalta-se que quatro projetos não responderam ao questionário em relação a esse quesito.



**Fonte:** Elaborado pela CGTH-DETAP-SEMPI-MCTI, a partir dos dados enviados pelos pesquisadores do CBCIN

Como apresentado nos relatórios finais dos projetos, os principais beneficiários foram as equipes de pesquisadores de ambos países, estudantes de graduação, de mestrado e de doutorado, bem como o sistema produtivo nacional, que poderá contar com os avanços tecnológicos desenvolvidos e com a disponibilidade de recursos humanos especializados, egressos dos projetos.

### 1.5. Desdobramentos em outros projetos

Cabe destacar que diversos novos projetos e iniciativas foram nucleadas a partir da interação entre os pesquisadores brasileiros e chineses no âmbito do Centro Brasil-China de Pesquisa e Inovação em Nanotecnologia (CBCIN), com especial destaque para:

- A participação do Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LNNano / CNPEN), do Laboratório Interdisciplinar para o Desenvolvimento de Nanoestruturas (LINDEN/UFSC), do Laboratório Nacional de Nanotecnologia para o Agronegócio (LNNA/EMBRAPA) na Chamada BRICS entre o CNPq, o MCTI e a Finep, cujo objetivo é apoiar projetos conjuntos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) que visem contribuir significativamente para o desenvolvimento científico e tecnológico e a inovação do País; e
- O projeto BioSafety teve uma proposta de pesquisa aprovada no Laboratório de Luz Síncrotron de Shanghai (SSRF), para análises na linha de XRF, com foco em dimensão nanométrica, ainda em fase de execução.

Cabe registrar que integrantes de todos os projetos conjuntos participaram/organizaram ações de difusão científica, tais como seminários e workshops, bem como expediram convites para atividades futuras, como a participação como co-chair na Conferência Internacional de Nanofotônica, prevista para ocorrer em Shenzhen-China em 2020.

Diversos produtos/aperfeiçoamentos foram desenvolvidos ou estão em fase de desenvolvimento, tais como: aerogéis nanocompósitos, floculante para descontaminação de água, fabricação e testes de sensores SAW, bem como o desenvolvimento de um Procedimento Operacional Padrão (POP), visando à avaliação da toxicidade de nanomateriais em culturas de *Caenorhabditis elegans* (*C. elegans*).

### 1.6. Perspectivas para o CBCIN 2.0

Considerando que a China é um dos principais parceiros comerciais e científicos do Brasil e que os dados apresentados anteriormente retratam o êxito do primeiro ciclo do Centro Brasil-China de Pesquisa e Inovação em Nanotecnologia (CBCIN), ressalta-se a importância da continuidade desta cooperação bilateral. Nesse sentido, são apresentadas potenciais áreas temáticas para cooperação em segundo ciclo do Centro:

- Articular programas de desenvolvimento tecnológico e inovação conjuntos, com vistas a atrair investimentos e parceiros internacionais para laboratórios e empresas brasileiras, bem como incentivar a transferência de conhecimento e tecnologia entre os países;
- Iniciar uma interface de aproximação entre o Centro e o grupamento BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África Do Sul);
- Estimular a integração, por meio de projetos conjuntos, de temáticas estratégicas para o Brasil, tais como o empreendedorismo e a inovação de base tecnológica, a transferência de tecnologia entre academia e setor privado, a pesquisa disruptiva em materiais avançados (grafeno, metamateriais, nióbio e outros) e o desenvolvimento de tecnologias para a indústria 4.0.

### 1.7. Informações detalhadas sobre os projetos desenvolvidos no CBCIN

Nos capítulos a seguir, serão apresentadas informações sobre os principais projetos desenvolvidos no âmbito do Centro Brasil-China de Pesquisa e Inovação em Nanotecnologia (CBCIN), sendo que a responsabilidade pela veracidade das informações é dos coordenadores dos respectivos projetos.

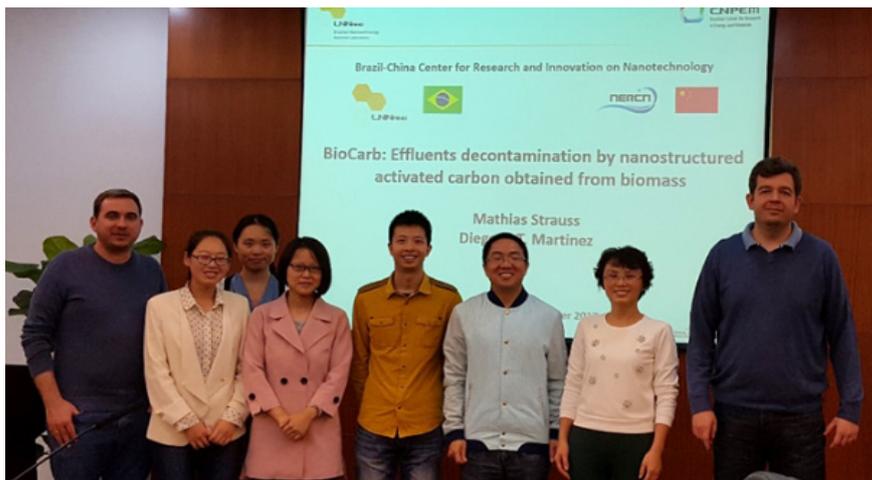
## 2. PROJETO BIOCARB - DESCONTAMINAÇÃO DE EFLUENTES UTILIZANDO CARVÃO ATIVO NANO-ESTRUTURADO PRODUZIDO A PARTIR DE BIOMASSA



*Dr. Mathias Strauss é pesquisador do Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LNNano) do CNPEM. Doutor em química pela Universidade Estadual de Campinas com período de doutoramento na Leibniz Universität Hannover na Alemanha. O principal objetivo de sua linha de pesquisa é produzir materiais de maior valor agregado a partir de recursos abundantes do setor agroflorestal brasileiro. Enfoque é dado ao desenvolvimento de biocarbons nanoestruturados produzidos a partir de fontes renováveis aplicados nas áreas de meio-ambiente, energia e materiais estruturais.*

### 2.1. Resumo do projeto

O projeto tem como objetivos produzir carvões ativos nanoestruturados a partir de bagaço de cana-de-açúcar; correlacionar os parâmetros de preparação dos carvões ativos com as propriedades críticas (porosidade, área superficial, química de superfície); a performance na descontaminação de água e ar; e a sua viabilidade técnico-econômica. Foi produzida uma série de carvões ativos de bagaço de cana nos quais a porosidade, área superficial e química da superfície dos materiais são controladas pela quantidade de agente de ativação utilizado durante o preparo. Os carvões ativos de bagaço mostraram performance na descontaminação de água e ar semelhante ou maior do que carvões ativos comerciais em testes realizados no LNNano e no NERCN. Em colaboração com o Laboratório Nacional de Biorrenováveis – LNBR/ CNPEM, foi realizado um estudo de viabilidade técnico-econômica do processo, que se mostrou vantajoso frente aos materiais comerciais em ampla faixa dos parâmetros de preparo.



Dr. Diego Martinez, Dra. Tong, Dra. Yuan, Dr. Guilin Yin e Dr. Mathias Strauss (1o, 2a, 4a, 6o e 8o da esquerda para a direita na foto) após reunião técnica no NERCN em Shanghai/China.

## 2.2. Informações sobre o projeto

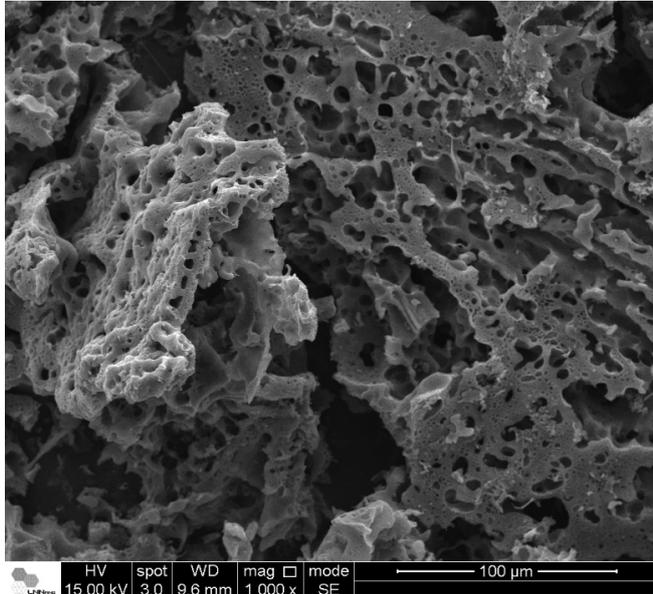
O principal objetivo do presente projeto foi a produção de carvões ativos nanoestruturados a partir de resíduos da indústria sucroenergética e sua utilização na descontaminação de efluentes (água e ar). Foi realizado com sucesso um estudo completo da preparação de carvões ativos a partir das cinzas oriundas do processo de cogeração de energia elétrica nas usinas bem como a partir do bagaço de cana pirolisado.

Os carvões ativos foram submetidos a uma caracterização físico-química completa utilizando a infraestrutura do LNNano. Nessa etapa, foram determinadas as propriedades físicas e químicas dos materiais preparados em escala de laboratório, que foram correlacionadas aos protocolos de preparação empregados. Em seguida, a performance dos melhores candidatos foi avaliada quanto à capacidade de descontaminação de poluentes em água no LNNano/NERCN e em ar no NERCN. Verificou-se a possibilidade de obter carvões ativos com performances competitivas aos materiais disponíveis de mercado. Foram realizados, também, ensaios de ecotoxicidade dos carvões ativos produzidos em bactérias, organismos aquáticos e de solo, e os materiais testados não apresentaram toxicidade aguda até 100 mg/L. Este trabalho de toxicidade dos materiais foi publicado na forma de um artigo científico.

Especificamente no ano de 2017, foram realizados estudos para escalonamento da produção dos carvões ativos de biocarvões de bagaço de cana em escala de bancada. Foram produzidos, na infraestrutura do laboratório de processos do LNNano, até 0,5 kg/dia de materiais com propriedades e performance equivalentes aos materiais produzidos em escala de laboratório.

Esses materiais escalonados foram utilizados na produção de aerogéis nanocompósitos de carvão ativo e nanocelulose. Tais produtos foram testados para descontaminação de ar pelo parceiro chinês. Testou-se a capacidade de remoção de formaldeído, benzeno e

propano por estes aerogéis compósitos, e os resultados obtidos mostraram performance excelente em relação a outros materiais já testados no NERCN/Shanghai. Com o carvão ativo escalonado foi produzido, também em parceria com os chineses, um floculante para descontaminação de água, que foi testado com sucesso na descontaminação de águas residuárias de indústrias chinesas de galvanoplastia e de aromas.



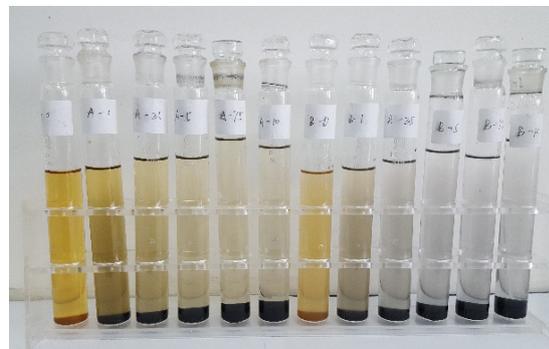
Micrografia eletrônica de varredura de uma partícula de carvão ativo de bagaço de cana.

Por fim, ainda em 2017, com o apoio da equipe da Biorrefinaria Virtual de Cana (BVC) do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol-CTBE/CNPEM, foi avaliada a viabilidade técnico-econômica da produção dos carvões ativos oriundos do bagaço da cana. Para este estudo, foram utilizadas as informações e dados coletados durante a execução do projeto nas etapas de preparação dos materiais em escalas de laboratório e bancada. O estudo mostrou que os carvões ativos de bagaço de cana são economicamente viáveis em uma ampla faixa de processos de preparação

e competitivos economicamente com os materiais disponíveis no mercado. O estudo que correlaciona as propriedades físico-químicas dos carvões ativos de bagaço com a sua viabilidade técnico-econômica foi publicado na revista *Waste and Biomass Valorization* com participação de autores do LNNano, CTBE e NERCN/Shanghai.

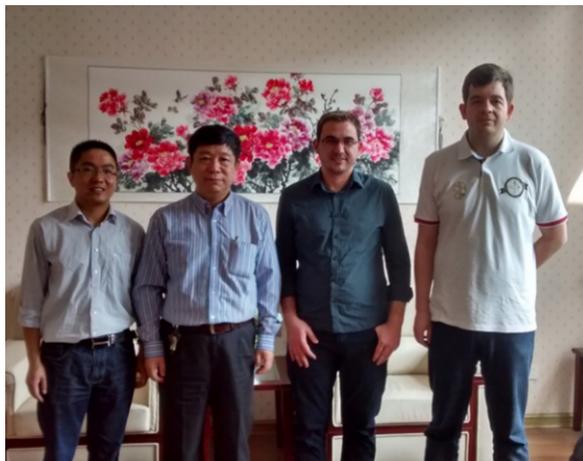


Carvão ativo de bagaço de cana.



Ensaio de descontaminação de água com floculante contendo carvão ativo de bagaço.

### 2.3. Missões realizadas



Visita técnica ao NERCN-Shanghai e ao NCNST-Beijing para negociação de novos projetos de cooperação, realizada em 19 de outubro a 2 de novembro de 2014.

Pesquisadores envolvidos: Dr. Diego Stéfani Teodoro Martinez e Dr. Mathias Strauss.



Visita técnica ao NERCN-Shanghai e ao NCNST-Beijing sobre toxicologia de nanomateriais de carbono e ao SSRF-Shanghai (Shanghai Synchrotron Radiation Facility), realizada de 09 a 30 de maio de 2016.

Pesquisadores envolvidos: Dr. Diego Stéfani Teodoro Martinez e Dr. Mathias Strauss.



Visita técnica ao NERCN-Shanghai e ao NCNST-Beijing sobre toxicologia de nanomateriais de carbono e ao SSRF-Shanghai (Shanghai Synchrotron Radiation Facility), realizada de 14 a 31 de outubro de 2017.

Pesquisadores envolvidos: Dr. Diego Stéfani Teodoro Martinez, Dr. Mathias Strauss e Dr. Carlos Perez (convidado do LNLS/CNPEN).

## Contatos e Interlocução

**Instituição Executora Brasileira:** Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LNNano) – Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM)

**Participantes:** Mathias Strauss (coordenador e pesquisador) e Diego Martinez (pesquisador)

**Contatos do coordenador:** Dr. Mathias Strauss – (19) 3517-5111- email: mathias.strauss@lnnano.cnpem.br

**Instituição Executora Chinesa:** National Engineering Research Center for Nanotechnology (NERCN) em Shanghai/China. Dr. Guilin Yin (glyin@nercn.com.cn)

### 3. PROJETO BIOSAFETY - AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DE NANOCARBONOS: CARACTERIZAÇÃO DA NANOBIOINTERFACE E IMPACTOS DA INTERAÇÃO COM POLUENTES AMBIENTAIS

*Dr. Diego Martinez é pesquisador do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM) no Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LNNano) em Campinas, São Paulo. É responsável científico pela área de Nanotoxicologia e Nanosseguurança do LNNano/CNPEM, onde realiza estudos e pesquisas sobre os impactos de nanomateriais em sistemas biológicos e no ambiente, na direção de inovação responsável e sustentabilidade em nanotecnologia.*



#### 3.1. Resumo do projeto:

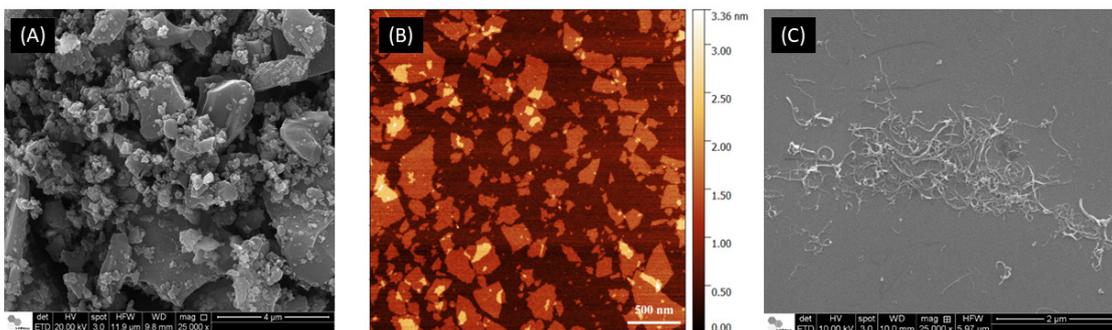
O projeto Biosafety teve como objetivo principal estudar a toxicidade de nanocarbonos [i.e. carvão ativo nanoestruturado de bagaço de cana-de-açúcar (CAN), óxido de grafeno (GO) e nanotubos de carbono de paredes múltiplas oxidados (o-MWCNT)] sobre o organismo-modelo *C. elegans* (nematóide), bem como realizar uma caracterização avançada da nanobio-interface (formação de biocoronas) e impactos da interação dos nanocarbonos com poluentes ambientais sobre a toxicidade (co-exposição).

Foi realizada a preparação e a caracterização físico-química das amostras CAN, GO e ox-MWCNT para estudos toxicológicos, monitoramento da estabilidade coloidal no meio de cultivo e ensaios biológicos de toxicidade aguda e crônica sobre o *C. elegans*. Verificamos que a morfologia e superfície química dos nanocarbonos estudados exercem um papel crítico na toxicidade sobre o *C. elegans* (GO > o-MWCNT > CAN). Ademais, verificamos que a formação de biocoronas (revestimento dos nanocarbonos com proteínas) contribui para a mitigação dos efeitos toxicológicos desses materiais. Estão em fase final execução os estudos de interação com poluentes inorgânicos modelos (i.e. chumbo e prata), todavia, resultados indicam potencial efeito sinérgico durante experimentos de coexposição. Prevê-se a realização de análises de microfluorescência de raios-X ( $\mu$ -XRF), utilizando Luz Síncrotron, em colaboração com o Shanghai Synchrotron Radiation Facility (SSRF) no primeiro semestre de 2020. Tais resultados serão muito importantes para avançar no entendimento dos mecanismos de internalização e biodistribuição de poluentes ambientais sobre o organismo

modelo *C. elegans* após interação com nanocarbons. O objetivo é compreender possíveis cenários de coexposição ambiental, conhecimento necessário para o avanço da fronteira da ciência em nanotoxicologia ambiental.

### 3.2. Informações sobre o projeto

O desenvolvimento de nanomateriais em bases seguras e responsáveis é um grande desafio em nanotecnologia. Nesse sentido, a avaliação da nanotoxicidade é um passo fundamental para a avaliação dos riscos e impactos dos nanomateriais sobre a saúde humana e ambiental. Atualmente, o nematoide *C. elegans* é considerado um dos principais modelos biológicos para pesquisa em (nano)toxicologia, sendo um promissor candidato junto aos Métodos Alternativos em Experimentação Animal. De fato, esse organismo modelo contribui para a implementação do Princípio 3'R – *Reduction, Replacement and Refinement* (Redução, Substituição e Refinamento). Contudo, são escassos os trabalhos realizados no Brasil envolvendo este organismo modelo e nanomateriais estratégicos, como os oriundos de biomassa, grafenos e nanotubos de carbono funcionalizados (figura 1).



**Figura 1.** Imagens de microscopias dos nanomateriais de carbono estudados neste projeto: (A) carvão ativo nanoestruturado de bagaço de cana-de-açúcar (CAN)- microscopia eletrônica de varredura (SEM); (B) óxido de grafeno (GO)- microscopia de força atômica (AFM) e (C) nanotubos de carbono de paredes múltiplas oxidados (o-MWCNT)- microscopia de eletrônica de varredura (SEM).

Desse modo, a execução do projeto Biosafety junto ao Centro Brasil-China de Pesquisa e Inovação em Nanotecnologia contribuiu de maneira bastante positiva para avançar em pelo menos dois pontos importantes dentro do contexto brasileiro: i) implementação do modelo biológico *C. elegans* na rotina de pesquisa do Laboratório de Nanotoxicologia do LNNano/CNPEM, em especial para estudos de nanomateriais de carbono; e ii) estabelecimento de colaboração com destacados centros de pesquisa na China: o National Center for Nanoscience and Technology (NCNST-Beijing) e o Shanghai Synchrotron Radiation Facility (SSRF-Shanghai), ambos com foco de pesquisa na área de nanotoxicologia e nanosseguurança. Essa colaboração será muito importante para futuros experimentos no Sirius.

Deve ser mencionado que o LNNano não possuía nenhuma experiência prévia com o modelo biológico *C. elegans*, um dos objetos centrais desta colaboração. Desse modo, os pesquisadores Diego Martinez e Mathias Strauss visitaram o grupo do Prof. Nie (NCNST), em Beijing em maio de 2016, para treinamento básico na manutenção e realização de testes de toxicidade com o nematoide, uma vez que o grupo de pesquisa do Prof. Nie possui experiência no modelo (figura 2).



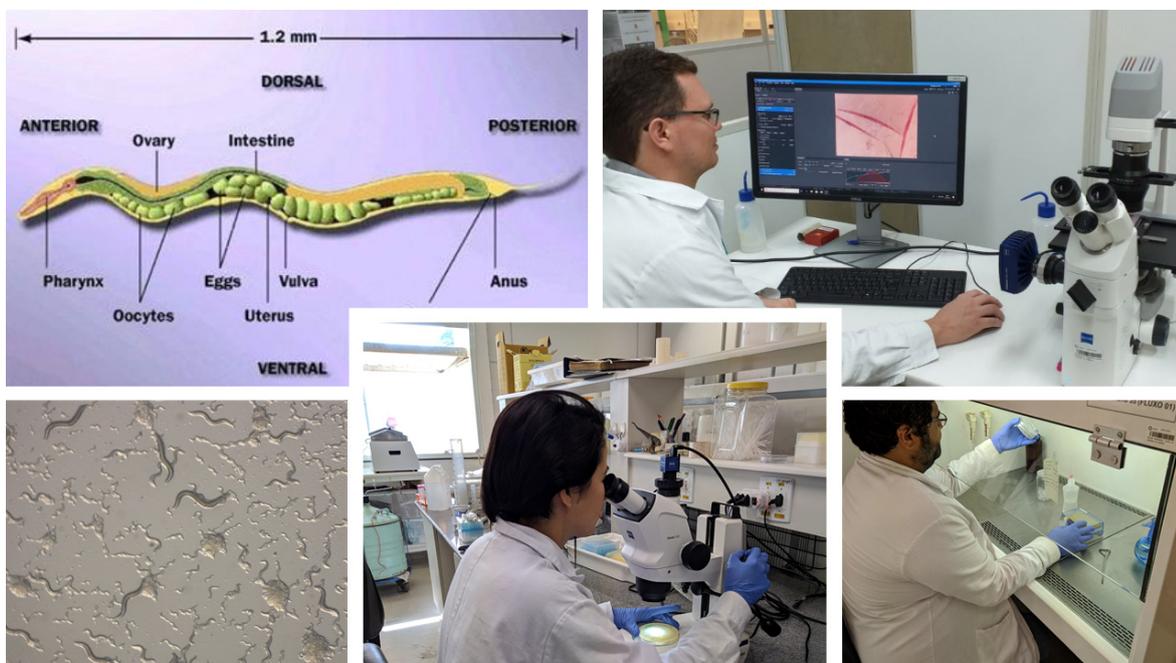
**Figura 2.** Visita técnica dos pesquisadores brasileiros Diego Martinez (esquerda) e Mathias Strauss (direita) ao Laboratory of Biological Effects of Nanomaterials and Nanosafety do NCNST-Beijing, em maio de 2016, para treinamento no modelo *C. elegans* e discussões técnico-científicas junto ao grupo do Prof. Guangjun Nie (ao centro).

Após treinamento básico, coleta de informações e discussões com o grupo do Prof. Nie em Beijing, iniciou-se o processo de adequação das instalações do Laboratório de Nanotoxicologia do LNNano, para implementação de estudos com esse importante modelo biológico. Para tanto, foram importadas linhagens de *C. elegans*, da bactéria *E. coli* (OP 45), meios de cultura específicos, estufas tipo BOD, lupas e estereomicroscópio. Esses equipamentos foram adquiridos com recursos do projeto Biosafety, financiado junto ao CBCIN, e estão atualmente instalados e em operação do LNNano (figura 3).

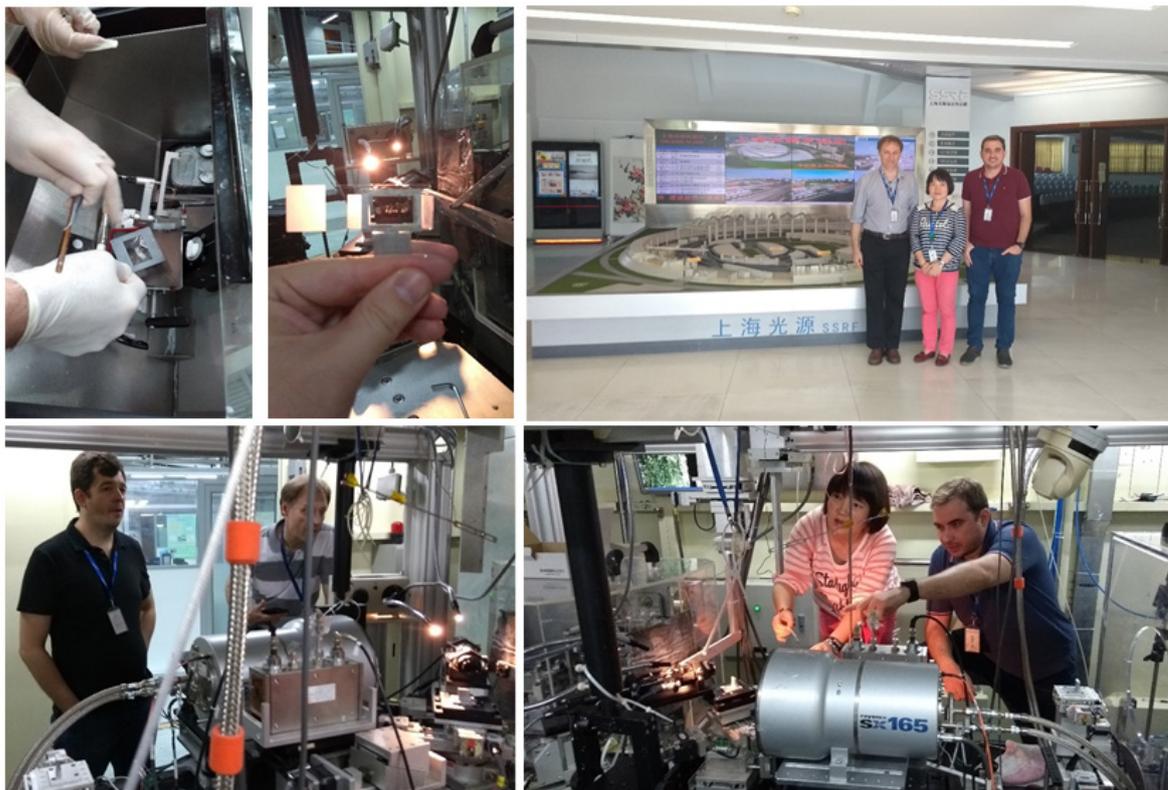
Em outubro de 2017, foi realizada outra visita técnica dos pesquisadores brasileiros Diego Martinez, Mathias Strauss e Carlos A. Perez ao Shanghai *Synchrotron Radiation Facility* (SSRF) e ao NCNST-Beijing. Durante essa visita, discutiu-se resultados do projeto Biosafety, bem como realizou-se treinamento prático na preparação de amostras biológicas (*C. elegans*) para estudos de biodistribuição de metais e nanopartículas, utilizando radiação Síncrotron (microscopia de fluorescência de raios-X;  $\mu$ -XRF). Esse treinamento foi fornecido pela

Dra. Lili Zhang, especialista em  $\mu$ -XRF aplicado em sistemas biológicos e pesquisadora na linha de  $\mu$ -XRF do SSRF (figura 4).

Ainda nessa visita técnica à China, em outubro de 2017, realizou-se reunião técnica com a Profa. Chuying Chen e o Prof. Guangjun Nie sobre os avanços do projeto Biosafety e as perspectivas do Projeto Sirius/Brasil em nanotoxicologia. Foi elaborada e submetida uma proposta ao SSRF-Shanghai, conforme discutido com a Dra. Zhang e a Profa. Chen - experimentos previstos para as atividades do pacote de trabalho: avaliação da toxicidade dos carvões sobre *C. elegans*. Essa proposta foi aprovada pelo comitê científico do SSRF (*“Environmental interaction of Nano-carbons with Pb: metal biodistribution in the C. elegans model”* – Ref. No. 2018SSRF15U10004), e atualmente, amostras de *C. elegans* após coexposição com metais pesados (poluentes ambientais) estão sendo preparadas no LNNano e com previsão de análise no primeiro semestre de 2020, em Shanghai.



**Figura 3.** Equipamentos instalados e em operação no Laboratório de Nanotoxicologia do LNNano para realização de ensaios padronizados de nanotoxicidade com o organismo modelo *C. elegans*.



**Figura 4.** Visita dos pesquisadores brasileiros Diego Martinez, Mathias Strauss e Carlos Perez (CNPEM) ao Shanghai Synchrotron Radiation Facility (SSRF), em outubro de 2017, para treinamento no preparo de amostras e discussões com a pesquisadora Dra. Lilli Zhang.

### Contatos e Interlocução

**Instituição Executora Brasileira:** Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LNNano) – Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM).

**Participantes:** Dr. Diego Stéfani Teodoro Martinez (LNNano/CNPEM); Dr. Mathias Strauss (LNNano/CNPEM); e Dr. Carlos A. Pérez (LNLS/CNPEM).

**Contatos do coordenador:** Dr. Diego Stéfani Teodoro Martinez - [diego.martinez@lnnano.cnpem.br](mailto:diego.martinez@lnnano.cnpem.br)

**Instituição Executora Chinesa:** Shanghai Synchrotron Radiation Facility (SSRF) e ao NCNST-Beijing.

**Participantes:** Profa. Chuying Chen, Prof. Guangjun Nie e Dra. Lilli Zhang.

## 4. ESPECTROSCOPIA RAMAN INTENSIFICADA PELA PRESENÇA DE GRAFENO APLICADA PARA O DIAGNÓSTICO DE DOENÇAS



*Dr. Antonio Gomes de Souza Filho é físico e pesquisador na área de nanociência e nanotecnologia desde 2000. Sua pesquisa tem foco no uso de espectroscopia óptica no estudo de nanomateriais de carbono, tais como nanotubos de carbono e grafeno. Recebeu, em 2009, o prêmio Somiya Award da International Union of Materials Research Societies, pelo trabalho colaborativo em “Carbon Nanostructured Materials” (Materiais de Carbono Nanoestruturados).*

### 4.1. Resumo do projeto:

Neste projeto, foi proposto o estudo do efeito de intensificação do espectro Raman em biomoléculas para possíveis aplicações em diagnóstico e tratamento de doenças. Essa proposta foi baseada em estudos teóricos que faziam essa previsão, e decidiu-se investigar para comprovação. No entanto, o efeito esperado não foi plenamente exibido pelas moléculas, sendo o investimento realizado no projeto majoritariamente dedicado às interações científicas entre Brasil e China.

A principal atividade consistiu na missão científica do Prof. Lianming Tong, do grupo do Prof. Jin Zhang, à Fortaleza em julho de 2017. Durante essa visita, o Prof. Tong discutiu com os participantes do projeto as principais oportunidades e perspectivas para a área e foi estabelecido o interesse no envio de substratos de grafeno crescidos para a deposição de moléculas orgânicas e estudo do Efeito GERS nessas moléculas. As amostras foram enviadas e os estudos preliminares foram realizados sem, no entanto, se observar efeito significativo de amplificação Raman para as moléculas estudadas. Várias medidas adicionais foram realizadas pela equipe atuante no projeto e estão descritas no Relatório Técnico consolidado do Centro Brasil-China de Pesquisa e Inovação em Nanotecnologia (CBCIN).

Os resultados preliminares não foram capazes de demonstrar um efeito significativo de amplificação do sinal Raman nas moléculas de açúcar utilizadas como modelo sobre a camada de grafeno. Concluiu-se ser necessária uma estratégia mais eficiente de seleção das amostras a serem estudadas. Uma possível metodologia seria utilizar aprendizado assistido por máquina na seleção de moléculas com características para seu espectro Raman ser intensificado pela presença do grafeno. Essa linha é uma perspectiva futura para esse tipo de projeto.

## Contatos e Interlocução

**Instituição Executora Brasileira:** Central Analítica ([www.centralanalitica.ufc.br](http://www.centralanalitica.ufc.br))

**Participantes:** Antonio Gomes de Souza Filho; Eduardo Bede Barros

**Contatos do coordenador:** Antonio Gomes de Souza Filho, Professor de Física- [agsf@fisica.ufc.br](mailto:agsf@fisica.ufc.br)

**Instituição Executora Chinesa:** Professor Lianming Tong, do grupo do Professor Jin Zhang

## 5. DESENVOLVIMENTO DE NOVA GERAÇÃO DE SENSORES SAW (ONDAS ACUSTICAS DE SUPERFÍCIE) BASEADOS EM CAMADAS SENSÍVEIS NANOESTRUTURADAS



*Dr. Stanislav Moshkalev é graduado e mestre em Física Aplicada pela Universidade Politécnica de São Petersburgo e doutorado em Física e Química de Plasmas pelo Instituto de Física e Tecnologia da Academia de Ciências da Rússia (1984). Atualmente, é coordenador do Centro de Componentes Semicondutores e Nanotecnologias da Universidade Estadual de Campinas. Tem experiência na área de Física, com ênfase em Física de Plasmas e Descargas Elétricas; e Micro e Nanofabricação e Caracterização, atuando, principalmente, nos seguintes temas: reactive ion etching, plasma, espectroscopia óptica, técnicas de micro e nanofabricação, síntese e caracterização de nanotubos de carbono, grafeno, óxido de grafeno, materiais híbridos nanoestruturados, fabricação de micro e nanodispositivos, nanocaracterização (FIB, SEM, TEM, AFM, Raman).*

### 5.1. Resumo do projeto:

Sensores baseados em ondas acústicas de superfície (SAW – *surface acoustic waves*) são amplamente usados em vários setores de indústria, inclusive para medidas de umidade de variados produtos (parâmetro conhecido como “atividade de água”). As medidas são baseadas em monitoramento da frequência de ressonância do sensor que depende da quantidade de moléculas de água adsorvidas na camada sensível do sensor durante medidas. A medição é realizada pela comparação dos sinais obtidos em dois canais, onde um dos canais serve como referência. Essa abordagem de medida diferencial contribui para melhora da precisão e estabilidade de medidas, diminuindo os efeitos negativos da variação de temperatura e outros. Para obter alta sensibilidade do sensor, a camada sensível deve ter espessura nanométrica e densidade baixa. Para aumentar ainda mais a sensibilidade, é necessário aumentar a frequência do oscilador RF (radiofrequência) do sensor- geralmente, a faixa utilizada é de 50-160 MHz.

O principal objetivo deste projeto foi o desenvolvimento de um sensor SAW portátil para medidas de umidade de produtos com frequência do oscilador de 260 MHz, utilizando os filmes de óxido de grafeno com espessura de alguns nanômetros como material da camada sensível, depositados na superfície de cristais SAW, utilizando um método original desenvolvido pelo grupo.

Importante ressaltar que o problema de casamento de impedâncias na malha de realimentação do sensor de SAW pode ser resolvido de maneira relativamente fácil para a faixa de frequências 30 – 100 MHz. Porém, para as frequências usadas neste projeto (igual ou maior que 260 MHz) o casamento de impedâncias é muito mais complicado, portanto foi necessário desenvolver um sistema novo complexo de casamento de impedâncias em dois canais.

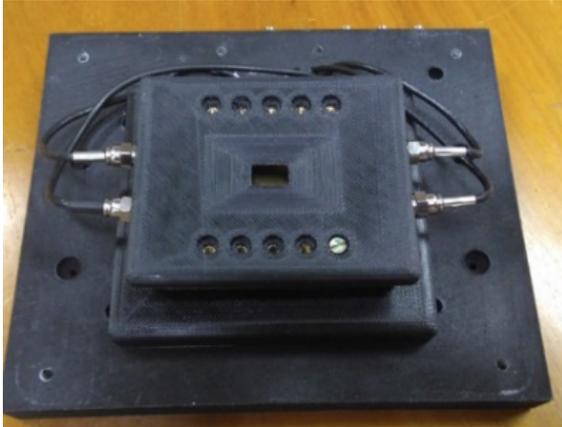
Como resultado de trabalho, foi desenvolvido e fabricado um novo sensor com frequência de 260 MHz de dois canais, utilizando um filme de óxido de grafeno como camada sensível para medidas ultrasensíveis de umidade de produtos (atividade de água), permitindo medidas com precisão na faixa de ppm (parte por milhão). Os circuitos SAW de alta qualidade foram fabricados na empresa Shoulder Electronics, Wuxi, Jiangsu, China. Foi demonstrada, também, a possibilidade de criar sensores SAW com frequências até 600 MHz, o que abre caminho para medidas de quantidades ultrabaixas de água em ambientes variados para aplicações em laboratórios de pesquisa e empresas.

## 5.2. Informações do projeto

Durante execução do projeto, foram desenvolvidas várias novas tecnologias e testadas abordagens inovadoras que permitiram desenvolver um novo tipo de sensor compacto, baseado em nodas acústicas de superfície (SAW) para medidas de umidade de variados produtos como farinhas, nozes, grãos de café, soja, algodão, sucos congelados e outros, com alta precisão e estabilidade.

Para adsorção de moléculas de água, foi utilizada uma tecnologia nova de deposição de camadas ultrafinas de óxido de grafeno pelo spray-atomizador, também baseada em ondas acústicas de superfície SAW. Algumas imagens demonstrando a técnica de spray e resultados de deposição são apresentadas a seguir.

## Etapas de fabricação do sensor SAW de umidade



O dispositivo utilizado para deposições de filmes sensíveis através de *spray* de suspensões aquosas de óxido de grafeno.



Sequência do processo de deposição a partir de uma gotícula (volume < 1 microlitro) de suspensão de baixa densidade, gradualmente transformando o líquido em jato de vapor a ser depositado.

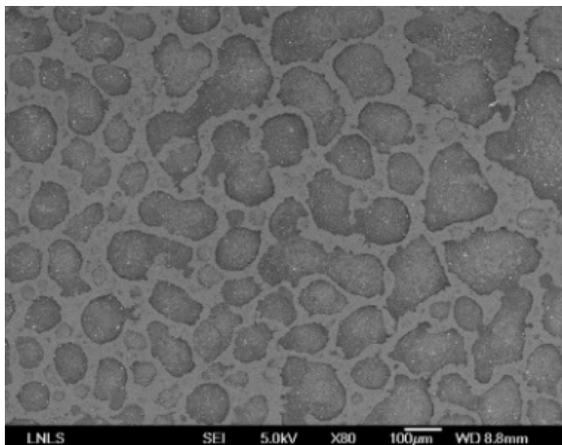
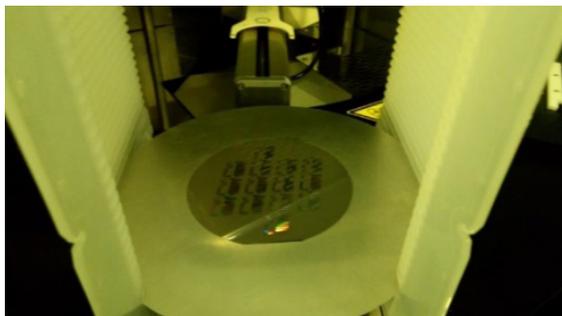
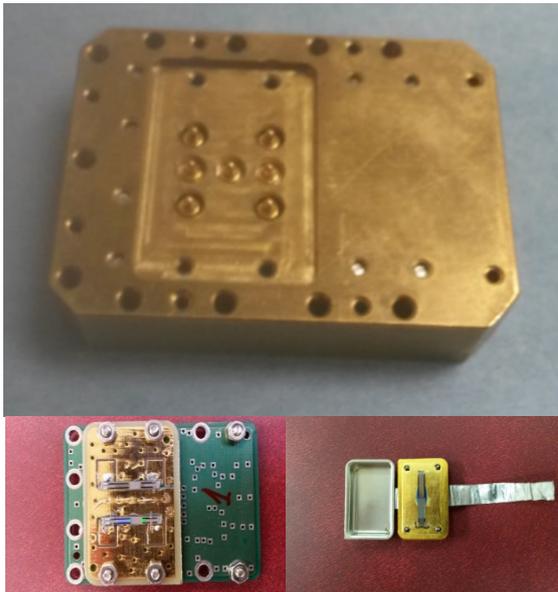


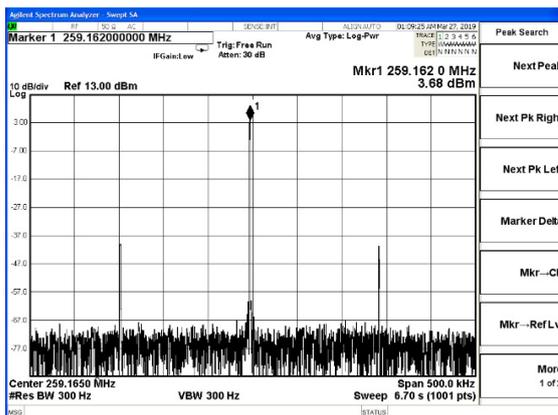
Imagem de microscopia eletrônica de varredura: resultado de deposição de filmes de óxido de grafeno, com espessura de alguns nanômetros em cima de um cristal SAW do sensor.



Lâmina de cristal de quartzo com estruturas SAW fabricadas



Circuito SAW com dois canais montado em placa fechada (acima), montado em placa (à esquerda), montado em cápsula sem tampa (à direita).

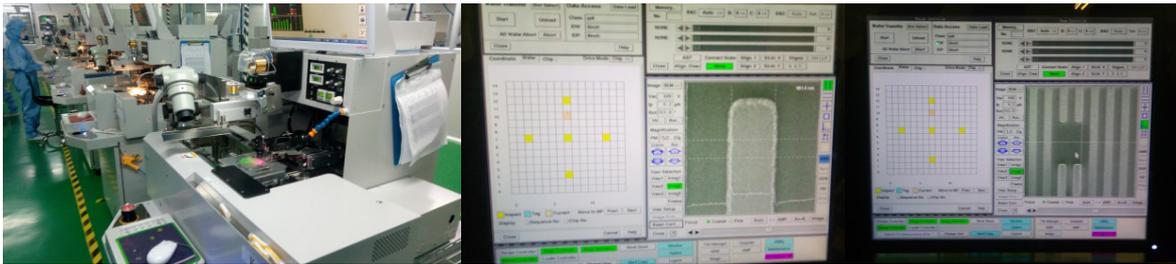


Resposta do oscilador (canal de sensor) em banda estreita de frequência, com centro perto de 260 MHz, demonstrando boa qualidade do circuito (pico central estreito).

As principais atividades de desenvolvimento do sensor foram realizadas no Brasil, as etapas do design e de preparação de fabricação foram conduzidas através de comunicações entre as equipes por e-mail e *Skype*. Os ajustes finais do design e a fabricação dos sensores SAW foram realizados durante missão da equipe brasileira à China, em agosto de 2018. No final de 2018 e início de 2019, os chips produzidos na China foram testados no Brasil e, finalmente, os sensores SAW foram montados e testados com sucesso. A interação com a equipe da China foi fundamental para produzir chips de alta qualidade, contribuindo para o sucesso do projeto. Resumindo, como principal resultado da colaboração entre equipes do Brasil e da China, foi desenvolvido e fabricado um sensor de umidade com alta sensibilidade e estabilidade. A empresa chinesa mostrou interesse na fabricação dos sensores em série.



Fotos da equipe que participou de missão à China: (a) Drs. S. Moshkalev (à esquerda) e S. Balashov (à direita) dentro da sala limpa durante o processo de fabricação, (b) S. Balashov, (c) S. Moshkalev



(a) foto da sala limpa da fábrica, (b) e (c) imagens das estruturas fabricadas de alta qualidade.

A fábrica da Shoulder Electronics na cidade Wuxi (perto de Shanghai), China, tem aproximadamente 1000 empregados e possui capacidade de produzir circuitos SAW em cristais de quartzo e niobato de lítio em grandes quantidades. A empresa produz componentes para indústrias de *smartphones*, telecom, eletrônica automotiva, IoT, indústria aeroespacial, e outros setores econômicos. A lista de clientes inclui empresas como Samsung, Lenovo, Xiaomi, ZTE, Yulong, Gionee, Foxconn e outras de grande porte.

## Contatos e Interlocução

**Instituição Executora Brasileira:** CCSNano-UNICAMP e CTI Renato Archer (Campinas, SP)

**Participantes:** Dr. Stanislav Moshkalev, CCSNano – UNICAMP; Dra. Raluca Savu – CCSNano-UNICAMP; Dr. Sergey Balashov – CTI Renato Archer; e Dra. Olga Balachova – empresa SAWDES (Campinas, SP).

**Contatos do coordenador:** Dr. Stanislav Moshkalev – (19)3521-5213 – stanisla@unicamp.br

**Instituição Executora Chinesa:** Shoulder Electronics Ltd, Wuxi, Jiangsu, China.

## 6. MATERIAIS NANOPARTICULADOS NA DESCONTAMINAÇÃO AMBIENTAL: O PAPEL FOTOCATALÍTICO DE HETEROESTRUTURAS SEMICONDUTORAS NA REDUÇÃO DE CO<sub>2</sub> PARA HIDROCARBONETOS

*Dr. Caue Ribeiro graduou-se em Engenharia de Materiais, é Ph.D. em Físico-Química pela Universidade Federal de São Carlos. É orientador do Programa de Graduação em Química da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e da Universidade de São Paulo (USP). Desde 2012, é coordenador da Rede AgroNano, apoiada pela Embrapa. Atuou como secretário-executivo do Comitê Técnico Interno da Embrapa Instrumentação e como chefe adjunto de Transferência de Tecnologia da Embrapa Instrumentação, responsável pelas relações comerciais com o setor privado e outras instituições. Em 2018, foi pesquisador convidado no Centro Nacional de Nanociência e Tecnologia de Pequim, China, e de 2018 a 2020, pesquisador visitante no Forschungszentrum Jülich, Alemanha.*



### 6.1. Resumo do projeto

A mitigação das alterações climáticas passa por vias de redução adequada das emissões de gases com efeito de estufa. O gás de efeito estufa mais importante é o CO<sub>2</sub>, o mais abundante e subproduto de muitas atividades industriais. Portanto, é altamente desejável desenvolver diferentes estratégias para converter esse gás em hidrocarbonetos valiosos, especialmente moléculas de cadeia longa, de forma a evitar a emissão gasosa. No entanto, esse é um processo complicado, uma vez que a estabilidade desse gás torna qualquer estratégia de redução muito cara, exigindo grandes quantidades de energia. Por outro lado, a energia solar está disponível e, de fato, é a força motriz do processo mais eficiente de conversão de CO<sub>2</sub> em energia: a fotossíntese biológica. Trabalhos de investigação anteriores mostram que é possível obter, através dos mecanismos de oxidação-redução em semicondutores fotoexcitados, um processo semelhante de redução de CO<sub>2</sub>, que poderia, em última análise, proporcionar um caminho para sua reciclagem em diferentes processos industriais - como as altas quantidades de CO<sub>2</sub> produzidas na fermentação do etanol.

Os desafios nesse tópico envolvem uma seleção adequada de materiais, uma vez que o semicondutor fotoativo mais utilizado - o TiO<sub>2</sub> na fase anatase - é muito eficiente para reações de oxidação, mas não muito eficaz para reações de redução. Geralmente, CuO e Cu<sub>2</sub>O, quando fixados na superfície de TiO<sub>2</sub>, são ativos para essa reação, apesar de a produção de CH<sub>4</sub> ou CO ainda ser muito baixa. Essas estruturas complexas - chamadas heteroes-

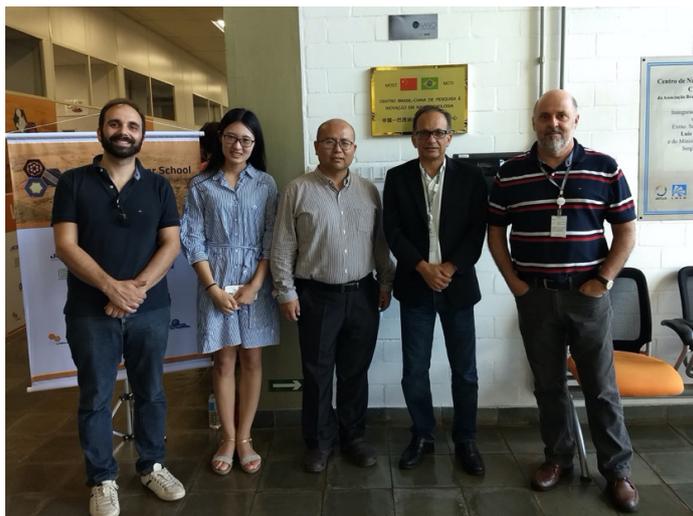
truturas – são hoje uma das estratégias mais importantes para essas reações, já que parte da estrutura (uma fase) atuaria como cátodo (geralmente um semicondutor tipo p), enquanto a outra fase atuaria como ânodo (semicondutor tipo n). Então, essa célula eletroquímica, idealmente composta por uma nanopartícula complexa formada por duas fases alinhadas, ligadas epitaxialmente, demanda métodos adequados para produzir tais nanoestruturas e metodologias para avaliar sua efetividade.

Os pesquisadores do LNNA vêm, desde 2007, desenvolvendo técnicas para a produção de nanocristais fotoativos por métodos químicos, e a cooperação com o Key Laboratory of Nanosystem and Hierarchy Fabrication, do National Center for Nanoscience and Technology foi extremamente adequada nesse contexto pela sua longa experiência na avaliação de fotorredução de  $\text{CO}_2$ . A troca de experiências permitiu que a equipe brasileira adquirisse *expertise* necessária para a realização de experimentos de fotorredução de  $\text{CO}_2$  e demonstrou novos materiais com potencial como catalisadores dessa reação, consolidando a linha de pesquisa no país. Como contrapartida, a equipe chinesa absorveu novas técnicas de preparação dos catalisadores, abrindo perspectivas em semicondutores ainda não explorados. A parceria resultou em três missões de pesquisa da equipe brasileira à China e uma missão de pesquisa da equipe chinesa ao Brasil, durante a qual o coordenador chinês, Prof. Tao He, ministrou um curso para alunos de pós-graduação em Química sobre técnicas de aproveitamento energético da energia solar. Foram publicados dois artigos científicos, além de fomentados novos projetos para a continuidade da frutífera parceria.

## 6.2. Informações sobre o projeto

O projeto envolveu etapas de aproximação entre as equipes de pesquisa, por videoconferências, seguidas por missões presenciais que tiveram como objetivo compreender as expectativas de cada parte, executar experimentos conjuntos e discutir os resultados. Como itens de destaque na execução, o coordenador brasileiro da proposta, Dr. Caue Ribeiro, esteve em missão inicial à China em setembro de 2017, participando como palestrante convidado do ChinaNano 2017, o maior congresso de nanotecnologia daquele país. Em sequência, em janeiro de 2018, o Prof. Dr. Tao He, coordenador chinês do projeto, veio ao Brasil para ministrar curso de curta duração (20 horas) no Programa de Pós-graduação em Química – UFSCar, “*Nanotechnology for Solar Energy Utilization*”, com participação de 15 alunos de pós-graduação, sendo que na primeira semana e na subsequente o Prof. He visitou diferentes laboratórios na região de São Carlos, SP, além do Laboratório Nacional de Nanotecnologia e o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron. No mesmo período, a Dra. Yanjie Wang, pós-doc sob responsabilidade do Prof. He e membro do projeto de pesquisa, executou experimentos relacionados à proposta no LNNA-Embrapa, com o auxílio da equipe local. O objetivo principal dos ensaios foi comparar a eficiência de fotorredução do sistema utili-

zado na China com o sistema recentemente construído no Brasil, de forma a garantir a comparabilidade de resultados. Esses experimentos foram discutidos no artigo *Enhancing  $TiO_2$  activity for  $CO_2$  photoreduction through  $MgO$  decoration*. *Journal of  $CO_2$  Utilization* (Juliana A. Torres, André E. Nogueira, Gelson T. S. T. da Silva, Osmando F. Lopes, Yanjie Wange, Tao He, Caue Ribeiro; DOI: 10.1016/j.jcou.2019.09.008). Essa publicação incluiu, ainda, resultados dos experimentos executados pela Dra. Juliana Arriel Torres e Dr. Gelson Tiago Tavares da Silva, em missão à China em dezembro de 2017.



Visita da equipe chinesa ao coordenador do Centro Brasil-China de Pesquisa e Inovação em Nanotecnologia, Prof. Dr. Adalberto Fazzio. Da esquerda para direita: Dr. Caue Ribeiro (coordenador brasileiro da proposta); Dr. Yanjie Wang; Prof. Dr. Tao He (coordenador chinês); Prof. Dr. Fazzio; Prof. Dr. Edson Leite (diretor científico do LNNANO).



Visita da equipe chinesa ao LNLs. Da esquerda para a direita: Dr. Andre Nogueira (pesquisador do LNNANO); Dra. Yanjie Wang; Prof. Dr. Tao He; Dr. Caue Ribeiro.

No mesmo período, uma importante iniciativa da equipe chinesa foi a solicitação de recurso complementar local através do programa *Chinese Academy of Sciences Presidential Fellowship*, na modalidade *Full Professor*. Essa solicitação permitiu custear a ida do coordenador brasileiro, Dr. Caue Ribeiro, para uma missão de dois meses à China (julho e agosto de 2018) para trabalhos em parceria, além dos recursos locais para manutenção de experimentos. As discussões desse período resultaram no artigo *Solar-heating boosted catalytic reduction of  $CO_2$  under full-solar spectrum*. *Chinese Journal of Catalysis* (Hongjia

Wang, Yanjie Wang, Lingju Guo, Xuehua Zhang, Caue Ribeiro, Tao He; DOI: 10.1016/S1872-2067(19)63393-0). Nessa missão, o coordenador brasileiro também ministrou duas palestras para o NCNST e acompanhou experimentos de fotorredução de CO<sub>2</sub> para amostras de TiO<sub>2</sub>:MO (M = Mg, Ca, Sr e Ba), para compreensão do papel de diferentes óxidos de metais alcalino-terrosos no aumento da fotoatividade para redução do TiO<sub>2</sub>. Esses experimentos também foram acompanhados pela Dra. Juliana Torres, que também participou da mesma missão à China. A possibilidade da missão de média duração, financiada com recursos chineses, foi extremamente importante para identificar possibilidades de continuidade do projeto, além de avaliar as dificuldades inerentes da parceria.

Como esforços dignos de nota da equipe chinesa, por iniciativa própria do coordenador chinês, foi articulada aproximação com outros grupos do NCNST (notadamente com o Prof. Baohang Han) para uso de outras técnicas de caracterização; e articulação de propostas complementares de pesquisa, incluindo outros grupos internacionais, como o grupo indiano coordenado pelo Prof. Dr. Kuruvilla Joseph, do Indian Institute of Space Science and Technology – IIST, e o grupo russo coordenado pelo Prof. Alexander Vvedenskii, da Voronezh State University – VSU.

Houve grande empenho da equipe chinesa, com dedicação extensiva da pós-doc Dr. Yanjie Wang ao projeto (custeada com recursos próprios do NCNST) e busca de alternativas para manter o projeto ativo. Nesse sentido, a parceria foi muito satisfatória e produtiva.

## Contatos e Interlocução

**Instituição Executora Brasileira:** Laboratório Nacional de Nanotecnologia para o Agronegócio – LNNA/Embrapa

**Participantes:** Dr. Luiz Henrique Caparelli Mattoso – Pesquisador A, Coordenador do LNNA/Embrapa; Dr. Gelson Tiago dos Santos Tavares da Silva – Pos-doutorando (bolsista CNPq), LNNA/Embrapa; e Dra. Juliana Arriel Torres – Pos-doutoranda (bolsista FAPESP), LNNA/Embrapa

**Contatos do coordenador:** Dr. Caue Ribeiro- caue.ribeiro@embrapa.br

**Instituição Executora Chinesa:** Key Laboratory of Nanosystem and Hierarchy Fabrication, Chinese Academy of Sciences / National Center for Nanoscience and Technology- Dr. Tao He.

## 7. NANOMATERIAIS E NANOCOMPÓSITOS PARA DESCONTAMINAÇÃO AMBIENTAL

*Dr. Dachamir Hotza possui graduação em Engenharia Química (1988) e mestrado em Engenharia Mecânica (1991) pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); doutorado em Engenharia de Materiais (1996) pela Technische Universität Hamburg-Harburg (TUHH), Alemanha. Professor titular da Universidade Federal de Santa Catarina (2014), pertence ao grupo de pesquisa Núcleo de Materiais Cerâmicos e Compósitos (CERMAT) e coordena o Laboratório de Processamento Cerâmico (PROCER). Tem experiência na área de Tecnologia Química e Engenharia de Materiais, com ênfase em processamento, sustentabilidade e nanotecnologia.*



### 7.1. Informações sobre o projeto:

Os objetivos deste projeto conjunto visaram atender às necessidades de cunho institucional, regional, nacional e internacional no que diz respeito ao desenvolvimento de obtenção de nanopartículas e revestimentos nanoestruturados com características desejáveis para a solução dos problemas de remediação ambiental, tendo em vista a possibilidade de transferência tecnológica. Com isso, diferentes técnicas foram empregadas na obtenção das nanopartículas e tratamentos superficiais tendo como principal problema a ser abordado, o desenvolvimento e a aplicação de nanomateriais para uso na descontaminação do meio ambiente, seja em meio sólido, líquido ou gasoso, capacitando e formando pesquisadores especializados na área de nanotecnologia e suas aplicações. Ainda como parte dos objetivos propostos, no desenvolvimento deste projeto foram confrontados métodos de investigação científica e tecnológica, ampliando o intercâmbio de conhecimento entre os pesquisadores envolvidos. Essa sinergia de competências propiciadas pela associação entre as instituições proponentes permitiu alcançar inovadores avanços científicos.

No que diz respeito à cooperação conjunta entre o LINDEN/UFSC e NERCN, a sinergia entre as pesquisas foi de suma importância para o desenvolvimento de soluções de nanotecnologia para a descontaminação ambiental. Dessa forma, através de trabalhos realizados em cooperação, as necessidades de cada instituição foram supridas pelas outras,

considerando a complementaridade das competências dos pesquisadores envolvidos no presente projeto. Assim, os principais resultados alcançados foram a contribuição para o desenvolvimento científico e tecnológico, bem como a formação de pessoal de nível superior com sólidos conhecimentos na área de nanotecnologia.

## 7.2. Divulgação Científica

As missões de trabalho e workshops realizados estão resumidas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Missões de pesquisadores brasileiros à China e de pesquisadores chineses ao Brasil, no período de 2016 a 2019.

Missão	Pesquisadores	Período	Atividade
Xangai Florianópolis	Guilin Yin; Shaohong Xu	nov/16	1st Workshop (Brazil) Nanotradeshaw (S.Paulo)
Florianópolis Xangai	Antonio A. U. Souza; Dachamir Hotza	mai/17	2nd Workshop (China)
Florianópolis Xangai	Sarah Pasini	set/17	Missão de estudo/ pesquisa
Florianópolis Xangai	Alexsandra Valerio	dez/18	Missão de estudo/ pesquisa
Florianópolis Xangai	Cesar Franco Gabriel Nunes	fev/19	3rd Workshop (China)



**Figura 1.** Missões de trabalho: (a) NERCN na UFSC (2013); (b) UFSC no NERCN (2017)

A Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e o Centro Nacional de Pesquisa em Engenharia para a Nanotecnologia (NERCN), com sede em Xangai, na China, assinaram um acordo de cooperação em março de 2013. Naquela oportunidade, Figura 1(a), participaram da cerimônia a reitora Roselane Neckel; Le Lia, representante do Ministério da Ciência e Tecnologia da China; e o diretor-geral do NERCN, Dannong He, acompanhados pelos seus assessores. Também estava presente o Prof. Cesar Franco, professor de Química da UFSC, en-

tão coordenador do Laboratório Interdisciplinar para o Desenvolvimento de Nanoestruturas (Linden), que foi implantado naquele mesmo ano.

A partir de 2016, já com o projeto de pesquisa Brasil-China em andamento, foi organizado um workshop em novembro de 2016 no Brasil, com a visita do Dr. Guilin Yin e do Dr. Shaohong Xu. Um segundo workshop foi realizado em maio de 2017, em Xangai, associado à missão de trabalho de dois pesquisadores do LINDEN/UFSC, Antonio Ulson de Souza e Dachamir Hotza.<sup>1</sup>, Figura 1(b). Em novembro/dezembro de 2017 e em dezembro de 2018, foram realizadas missões de pesquisa, por Sarah Pasini e Alexandra Valerio, respectivamente, que resultaram na elaboração de artigos científicos em parceria com colegas do NERCN. Por fim, em fevereiro de 2019, foi realizado um workshop final de avaliação do projeto, acooplado à missão de trabalho de Cesar Franco e Gabriel Nunes à China.

Além disso, nova proposta de trabalho de pesquisa cooperativa foi desenvolvida em parceria com os colegas da NERCN no âmbito do Programa BRICS, cujas agências de apoio no Brasil são o CNPq e a FINEP, via MCTI. A proposta, intitulada “*Nanomaterials and nanocomposites for drug delivery systems*”, foi submetida à avaliação em abril de 2019, aprovada em novembro do mesmo ano e iniciada em 2020. O projeto é coordenado, na China, pelo Prof. Xiaoyu Huang (NERCN, Xangai Institute of Organic Chemistry); no Brasil, pelo Prof. Pedro Araújo (LCP, laboratório associado ao LINDEN-UFSC); e, na Índia, pelo Dr. Amit K. Goyal (National Institute of Animal Biotechnology, NIAB).

Na execução do projeto atual, novos conceitos e procedimentos para obtenção de nanopartículas e nanocompósitos estão sendo investigados, bem como técnicas para avaliação do desempenho de materiais e produtos desenvolvidos quando aplicados em descontaminação ambiental. Em particular, compósitos nanoestruturados funcionalizados em matriz polimérica (fibras/tecidos ou substratos fabricados por eletrofiliação e tratados por plasma frio) estão sendo investigados para aplicação no tratamento de água e efluentes.

De modo geral, foi uma experiência enriquecedora para todos os pesquisadores envolvidos no intercâmbio de ideias, saberes e culturas. Trata-se de duas grandes nações, representadas por duas instituições/laboratórios de referência, com interesses comuns e pessoal profissional e engajado, que desempenharam suas atividades com competência e dedicação.

As principais dificuldades foram advindas da comunicação, apesar de a maioria dos envolvidos nas duas instituições ser proficiente em inglês. Outra questão importante foi, naturalmente, a distância entre os países, o que prejudicou o deslocamento, limitando o número de missões e workshops inicialmente previstos. Até as videoconferências tiveram

que ser feitas em horários fora dos respectivos turnos normais de trabalho, em virtude da diferença de fuso horário (11 horas).

### 7.3. Resultados

Este projeto promoveu grande avanço nos esforços entre os laboratórios associados ao LINDEN, visando ao desenvolvimento de ciência e à tecnologia de tratamento ambiental (água e atmosfera) com o uso de nanopartículas e materiais nanoestruturados. Ao final dessa cooperação, tanto o LINDEN como o NERCN complementaram os conhecimentos, competência e técnicas desenvolvidas nessas duas linhas, visando traçar um rumo único para o desenvolvimento de soluções de remediação ambiental. Ao longo desse período de cooperação, quatro artigos científicos foram escritos e submetidos a periódicos indexados internacionais.

### Contatos e Interlocução

**Instituição Executora Brasileira:** Laboratório Interdisciplinar para o Desenvolvimento de Nanoestruturas (LINDEN) Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

**Participantes:** Antonio Augusto Ulson de Souza, professor titular do Departamento de Engenharia Química (EQA) Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); Cesar Vitorio Franco, professor titular do Departamento de Química (QMC) Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

**Contatos do coordenador:** Dachamir Hotza - dachamir.hotza@ufsc.br; dhotza@gmail.com - (48) 3721- 2518/ 98811-1510

**Instituição Executora Chinesa:** National Engineering Research Center for Nanotechnology (NERCN) Xangai, China

## 8. PROJETO COMPUTACIONAL DE MATERIAIS NANOESTRUTURADOS PARA APLICAÇÕES AMBIENTAIS EM CONDIÇÕES EXTREMAS E SEVERAS

*Dr. Caetano Rodrigues Miranda possui bacharelado em Física Aplicada pela Universidade Estadual de Campinas (1996), mestrado em Física (1999) e doutorado em Ciências, também pela Unicamp (2003), com sanduíche na University of Cambridge (Reino Unido). Pós-doutoramento no ICTP (Itália) e MIT (EUA). Professor Doutor no Instituto de Física da USP, coordena os grupos de Simulação Aplicada a Materiais: Propriedades Atômicas (SAMPA) e NanoPetro. Atua na área de Simulação Computacional de Materiais para desenvolvimento de materiais nanoestruturados e avançados para aplicações em energia e meio ambiente. Desenvolve projetos envolvendo Ciência e Arte, plataformas imersivas e empreendedorismo social através da Ciência e Tecnologia. Bolsista de Produtividade em Pesquisa - PQ 1D – CNPq.*



### 8.1. Resumo do projeto:

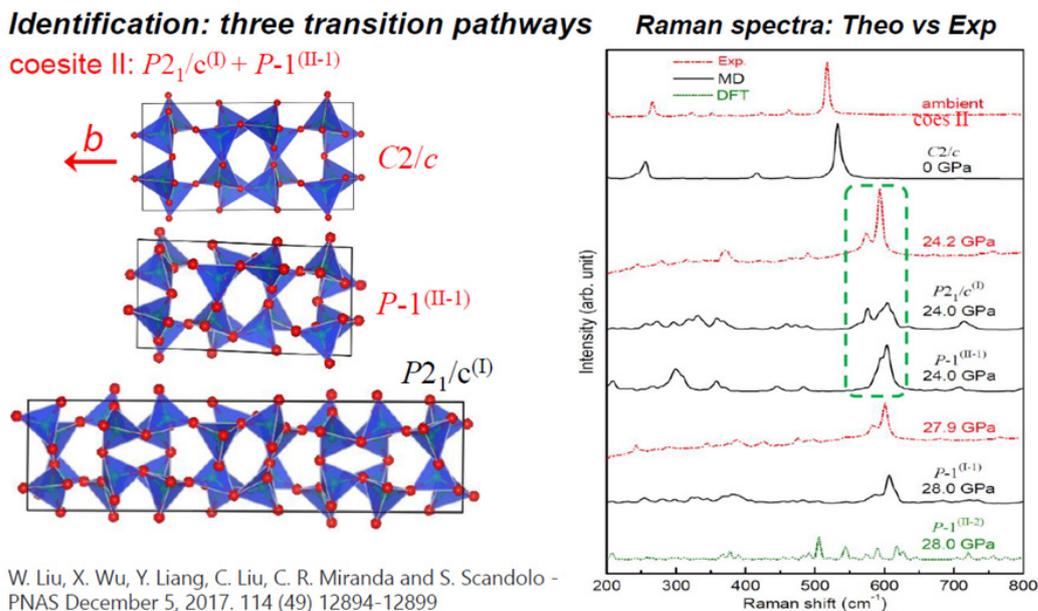
Os objetivos primários do projeto consistiam na modelagem computacional de materiais nanoestruturados em condições extremas (remediação de danos por radiação, alta salinidade e condições de pressão) e design computacional de nanossensores para controle da poluição do ar em megacidades brasileiras e chinesas. Entre as metas esperadas na cooperação estava a troca de conhecimento na área de modelagem computacional de materiais envolvendo cálculos de primeiros princípios, transporte eletrônico, dinâmica molecular, Monte Carlo Cinético e aprendizado de máquinas. Essa troca ocorreu através de seminários (6) e mini-cursos (3) realizados em ambos os países, cuja lista está descrita na tabela 1. Em particular, esforço significativo foi dado à geração de dados através de cálculos *ab-initio* (ISSP / USP) para desenvolver o potencial interatômico para sistemas nanoestruturados (USP) e aplicá-los usando a Dinâmica Molecular Clássica (ISSP / USP) para estudar a pressão, irradiação e corrosão de nanoestruturas sob condições extremas, bem como iniciativas na área de aprendizado de máquinas. Do lado brasileiro, o projeto envolveu seis professores (USP, CNPEM, UFU, UFF, UFSCAR e UFPR), sete pesquisadores doutores e sete discentes da graduação e pós-graduação.



## 8.2. Informações sobre o projeto

O projeto envolveu o estudo de materiais sob condições extremas. Sob essas condições, os materiais podem se comportar diferentemente, podendo emergir novos fenômenos e processos físicos. Neste tópico, os esforços da colaboração direcionam-se em três linhas: i) materiais sob condições extremas de temperatura e pressão (como encontrado em interiores de planetas) e ii) materiais sob irradiação e iii) processos de abatimento do CO<sub>2</sub> em condições de reservatórios geológicos.

Realizamos estudos das transições induzidas por pressão na fase da Sílica conhecida como coesita. Este trabalho foi publicado na prestigiosa revista científica *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (PNAS) e teve repercussão considerável na mídia. A relevância científica do trabalho decorre da coesita (polimorfo da Sílica) ser um importante mineral geológico, em particular, por apresentar complexas transformações de fase sob compressão. Essa importância decorre da coesita ser encontrada na Terra apenas em situações extremas de temperatura e pressão, comparáveis às que ocorrem na explosão de uma bomba nuclear ou na hipótese de choques com asteroides. Apesar de sua importância, a ciência não conhecia adequadamente os mecanismos de transição de fase. O mais interessante desses estudos foi conciliar as diferentes observações experimentais conflitantes e propor o mecanismo de ocorrência dessas transições induzidas por pressão. É importante salientar o esforço metodológico para realizar esses estudos, em especial, a implementação de formas de cálculo do espectro Raman, a partir de dinâmica molecular usando potenciais polarizáveis, possível graças à expertise complementar entre as equipes da USP e do ISSP na China.



**Figura 1:** Trabalho de destaque no projeto pelo estudo dos múltiplos caminhos na transição de fase da coesita publicado no PNAS em 2017.

O entendimento fundamental das propriedades interfaciais é crucial no design de materiais e nas previsões de sua vida útil, em particular, sob irradiação. Nessa linha, foram explorados, através de primeiros princípios, a estabilidade, adesão e fragilização induzida por impureza de interfaces entre carbonetos de tungstênio (W) e de metal de transição (TMC = ZrC, TiC, TaC, HfC, MoC e VC). As impurezas hidrogênio, hélio, oxigênio e nitrogênio tendem a segregar nas interfaces coerentes e agem como fortes fragilizadores. Além disso, a interface apresenta-se como um canal de baixa barreira para facilitar o transporte de hidrogênio e hélio. O estudo forneceu informações mecânicas importantes para a interpretação de experimentos recentes da estrutura da interface e da retenção de isótopos de hidrogênio em materiais W-ZrC, W-TiC e W-TaC sob irradiação e guia a preparação de futuros materiais baseados em W com boa resistência a danos por irradiação.

Finalmente, para mitigar o “Efeito do Aquecimento Global” induzido pela emissão antrópica de CO<sub>2</sub>, a captura geoquímica (isto é, mineralização) é considerada a maneira mais eficiente a longo prazo de armazenamento de CO<sub>2</sub>. A visão comum é de que o processo de reação leva centenas de anos. Recentemente, no entanto, testes pilotos em reservatórios demonstraram que dois anos são necessários para converter CO<sub>2</sub> injetado em carbonatos em reservatórios reativos basálticos. Dentre as linhas na colaboração Brasil-China, simulações de dinâmica molecular *ab initio* (MD) foram empregadas para investigar reações químicas entre CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e superfície de quartzo recém-clivado (0 0 1), a fim de entender os mecanismos das reações de carbonatação e hidrólise, que são partes essenciais do CO<sub>2</sub> mineralização.

### 8.3. Missões realizadas

Foram realizadas três missões científicas à China e duas missões dos colaboradores chineses ao Brasil:

- **Missão 1** (1 a 18 de fevereiro 2017) – Visita do Prof. Caetano R. Miranda (USP) ao ISSP em Hefei – China. Discussões sobre os projetos de materiais sob condições extremas. Durante a missão, foram ministrados no ISSP, o minicurso “*Advanced molecular modeling techniques: free energies and fitting potentials*” e o seminário “*Applications of multiscale computational nanoscience towards sustainable energy*”.
- **Missão 2** (11 a 17 de setembro 2017) – Visita dos Profs. Prof. Qianfeng Fang e Prof. Xuebang Wu (ISSP) ao Brasil com participação na 18<sup>th</sup> *International Conference on Internal Friction and Mechanical Spectroscopy* (ICIFMS-18) e visita à USP com discussões científicas que resultaram na publicação do artigo no PNAS.

- **Missão 3** (5 a 19 janeiro 2018) - Visita do Prof. Caetano R. Miranda (USP) à China. Na ocasião, foram ministrados, na China University of Petroleum (Beijing), o minicurso “*Computational Nanoscience applied to Oil & Gas industry*”; e no ISSP, o seminário: “*Computational Nanoscience: applications on energy materials and nanofluidics sensors design*”, com discussões com o grupo do Prof. Changsong Liu sobre materiais para remediação de danos por radiação. Finalização do trabalho em abatimento de CO<sub>2</sub>.
- **Missão 4** (11 a 22 de outubro de 2018) – Visita dos Profs. Prof. Xuebang Wu e Wei Liu (ISSP) ao Brasil com apresentação de seminário no IFUSP, visita ao CNPEM e Unicamp, em Campinas-SP, e discussões das linhas de pesquisa do projeto.
- **Missão 5** (17/1 a 9/2 2019)- Visita do Prof. Caetano R. Miranda (USP) à China, envolvendo atividades em Pequim: minicurso na Beijing University: Lecture I: “*Density Functional Theory: Theoretical Background, New Trends on First-Principles Calculations, and Examples*”, Lecture II: “*Multiscale Simulations: Ideas and Examples*” e o seminário: “*A journey into porous media from nano to macro through multiscale molecular simulations*”; bem como atividades em Hefei, com a finalização dos trabalhos relacionados a materiais sob irradiação e discussões sobre potenciais colaborações em aprendizado de máquina em Ciência dos Materiais.

As publicações oriundas da colaboração desenvolvida nesse projeto consagram os esforços bilaterais do Brasil e da China em promover a excelência científica. Em particular, os trabalhos publicados no PNAS e *The Journal of Physical Chemistry C* tiveram uma significativa divulgação em diversos canais e na mídia. Os seminários e minicursos trouxeram uma integração plena das equipes de trabalho e também troca de experiências e *expertises* entre os grupos.

#### 8.4. Divulgação:

Destaque em Física – Sociedade Brasileira de Física “Estudo elucidar transformações minerais no manto terrestre” - Janeiro de 2018

<http://www.sbfisica.org.br/v1/home/index.php/pt/destaque-em-fisica/645-estudo-elucidar-transformacoes-minerais-no-manto-terrestre>

*News Highlights: between quartz and glass - to put pressure on minerals unveils Earth's inner structure* por Anna Lombardi:

<https://www.ictp.it/about-ictp/media-centre/news/2017/12/coesite.aspx>

Inovação tecnológica: Rumo ao melhor vidro do mundo

<https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=rumo-melhor-vidro-mundo&id=010160171219#.W-Dx1pNKg2w>

Cientistas brasileiros e chineses estudam rochas criadas por meteoros

<http://www.forumchinapl.org.mo/brazilian-chinese-scientists-study-effects-of-meteor-impacts/?lang=pt>

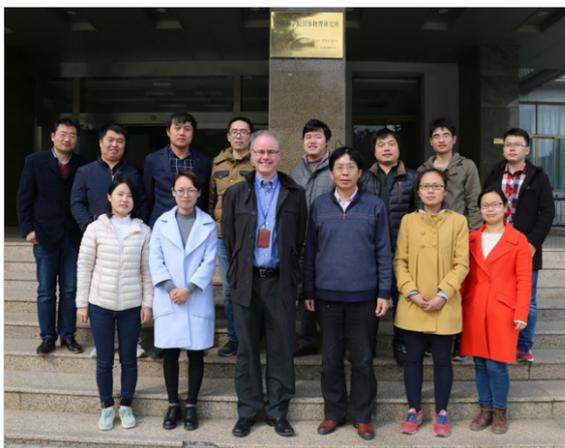
*Science News: CO2 mineralization in geologically common rocks for carbon storage*

<https://www.sciencedaily.com/releases/2019/03/190308133328.htm>

Miranda @ ISSP - Hefei



Miranda @ CUP - Pequim



**Figura 2.** Missões de trabalho da equipe da USP em Hefei e Pequim (China).

## Contatos e Interlocução

**Instituição Executora Brasileira:** Grupo SAMPA – Departamento de Física dos Materiais e Mecânica – Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP)

**Participantes:** Prof. Dr. Caetano Rodrigues Miranda (USP), Prof. Dr. Adalberto Fazio (CNPEN), Prof. Dr. Antônio José Roque da Silva(USP), Prof. Dr. Matheus Paes Lima (UFSCAR), Prof. Dr. Pedro Paulo de Mello Venezuela (UFF), Prof. Dr. Roberto Hiroki Miwa (UFU) Equipe IFUSP: Dr. Alessandro Kirch, Dr. Alvaro Torrez, Dr. Bruno Fedosse Zornio, Dr. Ernane de F. Martins, Dr. Gabriela Dias da Silva, Dr. James Moraes de Almeida, Dr. Michele Aparecida Salvador, Angele Aja-Fowe, Vladivostok Franz Suxo Mamani, Yuri M. Celaschi

**Contatos do coordenador:** Caetano R. Miranda – [cmiranda@if.usp.br](mailto:cmiranda@if.usp.br); [crmiranda@usp.br](mailto:crmiranda@usp.br) - (11) 3091- 7009/ 99644 6060

**Instituição Executora Chinesa:** Institute of Solid State Physics – Chinese Academy of Science – Hefei – China

## 9. NANODISPOSITIVOS PARA DETECÇÃO AMBIENTAL E BIOPROSPECÇÃO DE LEVEDURAS NEGRAS DE INTERESSE CLÍNICO E BIOTECNOLÓGICO

*Dra. Graciela Ines Bolzon de Muniz é doutora em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná (1993). Realizou pós-doutorado em Educação à distância UNED-Espanha (2002). É professora titular da UFPR e atual vice-reitora. É coordenadora do programa de Bioenergia com ampla experiência na área de recursos florestais e engenharia florestal, com ênfase em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais. É coordenadora do LCNano-Sisano da UFPR, atuando em nanotecnologia, e do Sibratec das redes: a) nanomateriais e nanocompósitos e b) nanodispositivos e nanosensores. Bolsista produtividade nível 1B/CNPq.*



### 9.1. Resumo do projeto:

Este projeto foi construído a partir da cooperação entre grupos de pesquisa do Brasil e da China, tendo como base projetos integrados de pesquisas envolvendo leveduras negras de interesse clínico, visando à elucidação de rotas de infecção e epidemiologia de doenças causadas por essas leveduras, incluindo o desenvolvimento de novos procedimentos e tecnologias de detecção precoce de patógenos e infecções. Além disso, objetiva-se a elaboração de ferramentas para identificar a ocorrência de espécies ambientais com potencial biotecnológico com foco em biorremediação, envolvendo a biodegradação de hidrocarbonetos aromáticos. Essas temáticas vêm sendo alvos de investigação do núcleo de pesquisa no estado do Paraná, e vem gerando resultados importantes, abrindo oportunidades para novas cooperações. Para que estudos sobre epidemiologia e bioprospecção possam avançar, é fundamental ter à disposição um método eficiente, capaz de detectar a presença desses agentes em amostras biológicas e ambientais. Métodos moleculares baseados em marcadores específicos têm sido utilizados com sucesso em vários contextos ecológicos para a detecção de DNA de organismos-alvo. Esses são altamente específicos, mas sua sensibilidade tem sido limitada em determinados substratos. Ainda com pouca penetração no cotidiano de laboratórios de análises comerciais e estatais por representar um alto custo em equipamentos e treinamento, o desenvolvimento de novos procedimentos e tecnologias tão eficazes quanto e menos custosas representariam uma mudança no patamar dos controles epidemiológicos. Nesse contexto, a utilização de SERS (*Surface-Enhanced Raman*

*Scattering*) foi proposta como ferramenta alternativa para detecção e bioprospecção de leveduras negras no ambiente. O projeto intitulado “Nanotecnologia na detecção de leveduras negras e bioprospecção ambiental de agentes de interesse clínico e biotecnológico no Brasil e na China” tem como principal objetivo estimular novas estratégias de pesquisa em rede, visando ampliar o conhecimento e a formação de recursos humanos em nanotecnologia. Essa rede de pesquisa envolvendo Brasil e China foi incorporada dentro dos programas desenvolvidos pelo LCNANO/UFPR. A meta principal é o desenvolvimento de um método *in vitro* para a detecção das diferentes espécies fúngicas proximamente relacionadas, baseado em marcadores derivados da sequência genômica associados a técnica SERS, caracterizada pelo espalhamento Raman intensificado por superfície. E assim, permitir a identificação num determinado substrato de leveduras negras ou de moléculas relacionadas a esses agentes.

## 9.2. Informações sobre o projeto

O projeto envolve uma cooperação em rede visando à ampliação do conhecimento e formação acadêmica, a respeito de estudos envolvendo nanotecnologia. Através da nanotecnologia, este projeto visa ao desenvolvimento de novos substratos e métodos para detectar fungos de interesse clínico em amostras biológicas e no ambiente usando a técnica SERS (Surface-Enhanced Raman Scattering), caracterizada pelo espalhamento Raman intensificado por superfície. A referida técnica possibilita aumentar o sinal de Raman de uma molécula em até 10<sup>16</sup> a 10<sup>18</sup> vezes, aumentando a capacidade de se identificar, num determinado substrato, um agente específico e/ou moléculas relacionadas a ele. Sendo assim, essa metodologia representa uma ferramenta diagnóstica alternativa em amostras biológicas, possibilitando, também, a detecção e a bioprospecção ambiental de fungos relevantes do ponto de vista clínico e/ou com potencial biotecnológico. Portanto, o principal objetivo foi desenvolver técnicas de alta sensibilidade, visando à obtenção de uma ferramenta com aplicabilidade nas áreas clínica e ambiental, a fim de detectar de forma efetiva e menos onerosa organismos de alta complexidade e estabelecer novos métodos de investigação epidemiológica. Inicialmente, foram estabelecidos parâmetros moleculares de controle, utilizando dados de sequências nucleotídicas para as espécies em estudo e espectros diferenciais com base no Espalhamento Raman Estimulado e de Microscopia Confocal. Em seguida, foram testadas nanopartículas não convencionais (Cobalto e Bismuto) para determinar a assinatura desses agentes. A partir desses resultados, vem sendo desenvolvidos nanodispositivos para bioprospecção e diagnóstico. Os resultados obtidos até o momento serão norteadores para a continuidade do projeto e da cooperação entre os grupos de pesquisas procedentes do Brasil e da China.

No início, os laboratórios associados ao Laboratório Central em Nanociência e Nanotecnologia (LCNano)/UFPR e os laboratórios de Microbiologia Molecular do Instituto

Westerdijk Institute/CBS e da Universidade de Radboud na Holanda, em colaboração com o Wei Min's Laboratory da Universidade de Columbia/EUA, por meio de parceria prévia estabelecida pelo pesquisador Edilson Silveira, desenvolveram os protocolos de padronização através dos dados de sequências nucleotídicas das espécies e de espectros diferenciais, com base no Espalhamento Raman Estimulado e de Microscopia Confocal. Nesse contexto, foram estabelecidos os padrões SERS para fungos filamentosos e leveduriformes, tomando como base referencial os fungos hialinos *Fusarium oxysporum* (fungo filamentosos) e *Candida albicans* (levedura hialina), ambos de interesse clínico. Com essa técnica, desenvolveu-se um protocolo para obtenção de imagem em condições clínicas sem a necessidade de quaisquer preparações prévias.

Da mesma forma, para as leveduras negras, objetivava-se desenvolver uma ferramenta versátil para diferenciar microrganismos de interesse clínico daqueles de interesse biotecnológico e, assim, realizar bioprospecção destes. Essa etapa tinha como meta estabelecer ferramentas ambientais de alta sensibilidade usando nanopartículas, a fim de elucidar nichos e estabelecer rotas de infecção de doenças. Assim, foram realizados estudos de prospecção ambiental desses agentes em diversos biomas, com características geográficas similares e epidemiologicamente relacionadas a doenças por eles causadas. Essa etapa envolveu o grupo de pesquisa do LabMicro/UFPR, juntamente com os pesquisadores chineses, sob a liderança do professor Sybren de Hoog, que atualmente atua como professor visitante em ambos os países: China e Brasil. Os resultados demonstraram a presença de fungos patógenos de humanos e animais que podem causar doenças em trabalhadores rurais e danos à agricultura e pecuária, revelando a rica diversidade de fungos nesses biomas. Tais dados nortearam a amostragem para a futura investigação da ocorrência ambiental de leveduras negras por nanodispositivos.

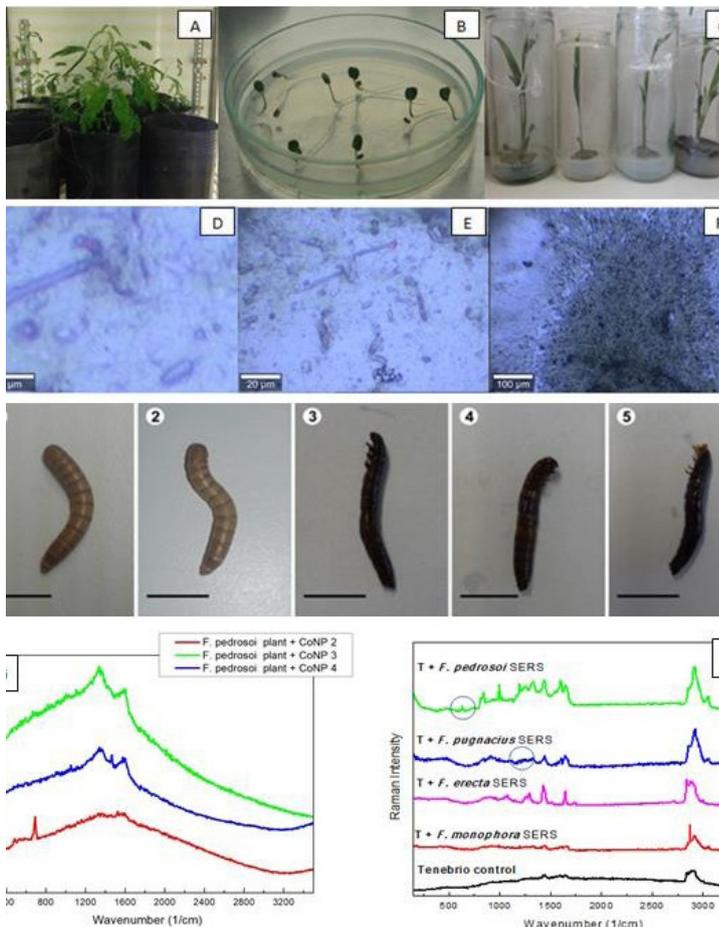
Análises *in vitro* de Raman/SERS foram padronizadas para as linhagens de fungos filamentosos e leveduriformes de interesse clínico, visando ao aprimoramento de técnicas diagnósticas; e assim, orientar novas formas de rastreamento ambiental para as espécies em estudo. Essa etapa envolveu a integração dos laboratórios associados ao Laboratório Central em Nanociência e Nanotecnologia (LCNano) e ao Centro de Microscopia Eletrônica da UFPR ao Laboratório de Microbiologia Molec/Radboud University-Holanda, em colaboração com o Laboratório FotoNanoBio da UTFPR. Experimentos foram realizados utilizando nanopartículas de bismuto e cobalto para detecção e diferenciação de amostras de fungos hialinos (*Candida* spp. e *Fusarium oxysporum*) e das leveduras negras de origem clínica *Fonsecaea pedrosoi* CBS271.37, *F. monophora* CMRP2543, CBS, *F. pugnacius* CBS139.214 e a de origem ambiental *F. erecta* CBS125.763. As espécies *C. albicans* CMRP851 e *Fusarium oxysporum* CMRP1913 foram utilizadas como padrão de referência, tendo como base a literatura existente acerca de espectros Raman/SERS relacionados a esses organismos, e dos

resultados anteriores produzidos juntamente com o Wei Min's Laboratory da Universidade de Columbia/EUA.

As análises do espectro RAMAN/SERS dos fungos em questão revelaram a presença de sinais espécie-específico. A partir dos resultados, verificou-se a distinção entre os sinais Raman/SERS dos fungos negros em relação aos hialinos utilizados como controle neste estudo. Ainda, foi possível observar que as nanopartículas de cobalto (CoNPs) reduziram a fluorescência e auxiliaram significativamente na detecção dos sinais das diferentes espécies. Tais resultados demonstram que essas assinaturas podem ser úteis para caracterizar ou distinguir fungos, principalmente de linhagens proximamente relacionadas.

Os resultados *in vitro* obtidos foram promissores, visto a descoberta de diferentes regiões de amplificações das superfícies fúngicas. Essas análises serão utilizadas como parâmetro para a construção de bibliotecas de SERS para a identificação microbiana.

Nesse contexto, foi realizada a padronização de testes *in vitro* para a identificação de espécies de leveduras negras em tecidos vegetais e animais. Um dos protocolos testados foi a análise SERS para os fungos cultivados não somente *in vitro*, mas também através de modelos de reprodução de infecção em plantas e em modelos de animais invertebrados.



**Figura 1.** Testes *in vitro* utilizando plantas e amostras de animais inoculados por diferentes espécies de leveduras negras. A, B, C, plantas de *Mimosa pudica* produzidas *in vitro* e inoculadas por diferentes espécies de *Fonsecaea* em estudo; 1-5 Larvas de *Tenebrio molitor* inoculadas pelas por diferentes espécies de leveduras negras do genero *Fonsecaea* em estudo. (11G) Espectro gerado da planta inoculada com a espécie *Fonsecaea pedrosoi* utilizando CoNP como substrato SERS. Os picos evidenciados guardam a assinatura de carbono amorfo gerado na queima da amostra devido ao comprimento de onda utilizado no laser. (11H) Sinais SERS no modelo animal: larvas de *T. molitor* infectadas com diferentes linhagens de *Fonsecaea*. A linha verde representa o sinal da infecção larval por *F. pedrosoi*; azul por *F. pugnacius*; rosa por *F. erecta*; vermelho por *F. monophora* e preto a larva controle.

Esses ensaios visavam elucidar questões referentes à ocorrência natural desses agentes e rotas de infecção para as doenças de inoculação traumáticas oriundas de fontes ambientais. Com isso, objetivou-se determinar a eficiência da metodologia Raman/SERS para detecção e identificação desses fungos em amostras biológicas de procedência animal e vegetal. Dessa forma, foram construídas novas alternativas para a elucidação da ocorrência ambiental desses agentes, assim como novas formas de diagnóstico por meio de nanodispositivos. Para tanto, plantas epidemiologicamente relacionadas com a doença de implantação, foram produzidas assepticamente *in vitro* e inoculadas com as linhagens patogênicas, com o objetivo de padronizar a caracterização por SERS dos fungos no interior dos tecidos vegetais. Da mesma forma, foi utilizado um modelo animal a partir da infecção em larvas da espécie *Tenebrio molitor*, cultivado *in vitro* (Figura 1).

O uso das CoNPs para a reprodução SERS gerou picos visíveis para as espécies em questão, demonstrando diferenças de picos entre as larvas infectadas pelas diferentes espécies. Esses resultados mostraram-se promissores na distinção dessas espécies, quando inoculadas em modelos animais. Em relação aos modelos vegetais, os resultados preliminares com as mesmas espécies inoculadas nas plantas, demonstraram que houve limitação devido à interferência do pigmento clorofila. Com o objetivo de contornar essa interferência, foi utilizado um *laser* infravermelho (IR). No entanto, a limitação persistiu, uma vez que a banda de fluorescência do pigmento ainda era visualizada no comprimento do IR. Para que esse problema fosse solucionado, seria necessário a utilização de um *laser* com comprimento de onda na faixa de 1064 nm. Isso, no entanto, não foi possível devido à configuração experimental disponível.

Visando aperfeiçoar esses resultados, outras leituras foram programadas, utilizando um comprimento de onda distinto, que corrigisse os parâmetros para as leituras dos tecidos vegetais infectados. Para isso, vem sendo necessário uma recharacterização de todos os experimentos realizados, o que levará tempo. No entanto, os resultados obtidos até o momento, indicam que a técnica representa uma alternativa eficaz para caracterização e identificação de espécies de ocorrência ambiental proximamente relacionadas e associadas à infecção em hospedeiros animais em um tempo extraordinariamente curto (cerca de 30 segundos para cada amostra).

Ao longo do projeto, foi realizada uma missão de trabalho à China pela Profa. Dra. Vania A. Vicente/UFPR, para a realização do primeiro encontro do grupo de trabalho, ocorrido em Suzhou, na província de Jiangsu, no período de 5 a 10 de novembro de 2017, durante o curso internacional de Micologia Clínica, desenvolvido de forma integrada entre os parceiros deste projeto. Essa reunião de trabalho foi planejada para discutir os resultados do primeiro ano. Na oportunidade, foram reunidos vários pesquisadores membros do referido



consórcio Brasil/China, procedentes de diferentes universidades chinesas (Shanghai, Beijing e Guangzhou) e, também, com a presença do Prof. Sybren de Hoog do Westerdijk Instituto/CBS, atualmente vinculado à Universidade de Radboud, ambos na Holanda, que está credenciado como professor visitante na China e no Brasil (UFPR), integrando assim, todas as instituições afiliadas deste projeto em consórcio. Durante a missão, a Profa. Vânia A. Vicente, além do Hospital de Suzhou, realizou visitas técnicas nas universidades de Shanghai e de Beijing.

Em janeiro de 2018, o Prof. Sybren de Hoog ministrou o curso internacional de Micologia Clínica no Brasil, como atividade da Escola de Altos Estudos/CAPES em Micologia Clínica, coordenada pela Profa. Vania A. Vicente. Nesse evento, os pesquisadores do consórcio Brasil/China participaram virtualmente.

Em junho de 2018, foi realizado um encontro do consórcio durante a reunião de trabalho em Leveduras Negras promovido pela Sociedade Internacional de Micologia Humana e Animal (ISHAM), ocorrida no XX congresso dessa sociedade, realizado na cidade de Amsterdam/Holanda. Em outubro de 2018, em visita à Holanda, para defesa de tese em cotutela do discente Leandro Moreno, membro discente da equipe executora deste projeto, foram discutidos com discentes das universidades chinesas, junto ao Prof. Sybren de Hoog, os resultados obtidos frente às etapas realizadas. Recentemente, em agosto de 2019, em visita técnica realizada na Universidade de Radboud na Holanda, foram acordados entre o referido professor e a pesquisadora Shuwen Deng do Departamento de Micologia Médica do People's Hospital of Suzhou National/China, novos desdobramentos para dar prosseguimento ao projeto. A partir dessas reuniões, definiu-se a continuidade deste estudo por meio de novo projeto de cooperação entre a UFPR/Brasil e o Hospital Público de Suzhu/China.



**Figura 2.** Missões de trabalho. A, B, C e D curso internacional de Micologia Clínica, Hospital Público de Suzhou/ Hi-Tech Industrial Development Zone /China; E, F encontro do grupo de trabalho realizado na Europa, em junho de 2018.

## Contatos e Interlocução

**Instituição Executora Brasileira:** Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná.

**Participantes:** Profa. Dra. Vania Aparecida Vicente UFPR/PR; Prof. Dr. Edilson Silveira UFPR/PR; Prof. Dr. Wido Hewig Schreiner UTFPR/PR e Prof. Dr. Arandi G. Bezerra Jr. UTFPR/PR

**Contatos do coordenador:** Graciela Ines Bolzon de Muniz- [graciela.ufpr@gmail.com](mailto:graciela.ufpr@gmail.com) - +55-41-33605328

**Instituição Executora Chinesa:** Hospital Público de Suzhou/ Hi-Tech Industrial Development Zone /China

## 10. APLICAÇÕES BIOMÉDICAS DE NANOMATERIAIS



*Dr. Anderson Gomes é professor titular no Departamento de Física da UFPE, onde é membro permanente do programa de Pós-Graduação. É membro permanente do PPG em Odontologia da UFPE e membro colaborador do PPG de Ciências dos Materiais da UNIVASF. Lidera o grupo de pesquisa em Fotônica e Biofotônica, no Departamento de Física da UFPE, e coordena o INCT de Fotônica. É membro titular da Academia Brasileira de Ciências e Fellow da Optical Society of America. Atua nas áreas de Óptica Não Linear, Nanofotônica e Biofotônica, nas quais já co-autorou mais de 250 artigos científicos e orientou mais de 40 teses e dissertações. É editor associado da revista Light: Science and Applications, Grupo Nature.*

### 10.1. Resumo do projeto:

O projeto inicialmente concebido, Aplicações biomédicas de nanomateriais, teve como objetivo o desenvolvimento de novos nanomateriais com base em íons de terras raras para aplicações biomédicas, particularmente em Odontologia. Os materiais foram desenvolvidos na Universidade de Shenzhen, e parte da caracterização realizada em Shenzhen e parte em Recife.

O projeto foi estendido para dois outros temas, *Random Lasers* e Diagnóstico de Cáries com *Random Lasers* de Fibras, em colaboração com a Universidade de Eletrônica, Ciência e Tecnologia da China (UESTC), em Chengdu.

No trabalho com nanopartículas, foram desenvolvidas nanopartículas do tipo *core/shell* usando  $Nd^{3+}$  e  $Yb^{3+}$ , as quais foram utilizadas como nanotermômetros para caracterização *in situ* em materiais dentários utilizados na confecção de laminados dentais (lâminas de  $\sim 0.5\text{mm}$  usadas esteticamente em dentes anteriores). Utilizando *laser* de semicondutores, a fluorescência emitida pelos íons de terras raras foi calibrada, e a variação de temperatura diretamente obtida usando o sistema totalmente óptico. O aumento de temperatura foi medido no processo de fotopolimerização do material dentário com luz ultravioleta.

Como extensão das visitas à China, outros trabalhos foram realizados em outro tema de pesquisa, *lasers* aleatórios e aplicações. Devido ao pioneirismo das pesquisas do coordenador deste projeto no tema, foi convidado a interagir com o grupo da UESTC, em

Chengdu, com custos adicionais mantidos pela UESTC. Vários estudantes estiveram envolvidos em três projetos. No primeiro, estudou-se a estatística de Lévy em *random lasers* de fibras baseados em ganho Raman, com a participação do Prof. Ernesto Raposo do DF/UFPE. No segundo trabalho, investigou-se a propagação não linear no regime de excitação cw com *laser* de Yb e fibras convencionais. Foram observados, pela primeira vez, processos de mistura de ondas e Raman em cascata num *random laser* híbrido. No terceiro trabalho, pesquisou-se o uso de um *random laser* de fibra como fonte de luz para geração de imagens em dentes, visando à detecção de cáries, através da técnica de retroespalhamento. A vantagem do *random laser* está no fato de que a luz emitida é livre de *speckle*, resultando em melhor contraste da imagem comparada com *lasers* convencionais.

Os principais resultados tangíveis foram a publicação de dois artigos científicos e submissão de outros dois, um deles em fase final de aprovação. Os artigos envolvem estudantes de mestrado e doutorado da China e do Brasil. Foram também apresentados trabalhos em congressos internacionais, um deles na China, a convite dos colegas chineses.

## 10.2. Informações sobre o projeto

Foram realizadas três missões do Brasil para a China (2016, 2017 e 2018), com visitas a Shenzhen e Chengdu. Foram ministradas oito palestras nessas três visitas, em temas diferentes a cada ano. O projeto foi bastante benéfico, gerando os seguintes resultados (direta ou indiretamente): a próxima conferência “*International Conference on Nanophotonics*”, em sua 12ª Edição (a 10ª edição foi em Recife) será realizada em Shenzhen, com previsão de ocorrer em 2021, e o Dr. Anderson Gomes é um dos *chairs* da Conferência a partir de 2020. O coordenador também é membro do comitê de programa da “*The 8th International Conference on Information, Communication and Networks (ICICN 2020, Track 15 Fiber based applications and devices)*” programado para ocorrer em Xi’an, China, em agosto de 2020. Outro benefício importante é que, também, a partir de participação em conferência na China, o Dr. Anderson Gomes foi convidado a ser editor associado da revista *Light: Science and Applications*, do Grupo Nature.

De forma geral, o ambiente da Universidade de Shenzhen causou muito boa impressão, notadamente as atividades do grupo do Prof. J. Qu, que inclui cerca de 60 pessoas na contagem de alunos, pós-docs e funcionários. A infraestrutura do grupo para o desenvolvimento de aplicações biofotônicas de nanomateriais incorpora uma diversidade de instalações de fabricação e caracterização, incluindo caracterização de rotina, como absorção óptica linear, SEM, TEM, fluorescência induzida a laser, etc., mas também fornece instalações experimentais avançadas, como STED, STORM e FLIM. Entre os nanomateriais preparados,

nanoestruturas dopadas com terras raras (nanocascas e similares) e nanopartículas metálicas com controle de forma têm sido produzidas rotineiramente.

Houve colaboração adicional, em 2017, 2018 e 2019 (esta última já após o encerramento do projeto), com o grupo liderado pelo Prof. Zinan Wang, da Universidade de Eletrônica, Ciência e Tecnologia da China (UESTC) em Chengdu, que trabalha com *lasers* de fibra aleatórios. O grupo do professor Wang é um dos mais fortes da China em desenvolvimentos e aplicações de *lasers* aleatórios de fibra e suas aplicações, com um grupo de mais de 20 alunos. Os laboratórios estão muito bem equipados e os alunos são altamente motivados e trabalham duro.



Grupo de estudantes na conferência ICOCN (<http://www.icocn.org.cn>) em Huangshan, 2019



Professores Junle Qu, Anderson Gomes e Li Wei, em Shenzhen, 2017

## Contatos e Interlocução

**Instituição Executora Brasileira:** Departamento de Física/UFPE e Universidade Estadual Paulista – UNESP.

**Participantes:** Anderson S. L. Gomes, professor titular, DF/UFPE; Sidney Ribeiro (UNESP/Araraquara); Tereza Dias (Doutoranda em Odontologia, UFPE); Ernesto Raposo, professor titular, DF/UFPE.

**Contatos do coordenador:** Anderson S. L. Gomes – [anderson@df.ufpe.br](mailto:anderson@df.ufpe.br); [andersonslgomes@gmail.com](mailto:andersonslgomes@gmail.com).

**Instituição Executora Chinesa:** Universidade de Shenzhen

## 11. PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS DO PROJETO CBCIN

Os equipamentos a seguir foram adquiridos por meio do Projeto do CBCIN e estão sob a responsabilidade do Laboratório Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (LNNano) do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM).



### **Injetora (AX Plásticos)**

Mini injetora para a conformação de corpos de prova de nanocompósitos poliméricos para ensaios mecânicos de tração e flexão.

### **Forno Mufla (EDG Equipamentos)**

Forno mufla para tratamentos térmicos de amostras e sínteses até 1500 oC com opção de instalação de tubo para controle de atmosfera.





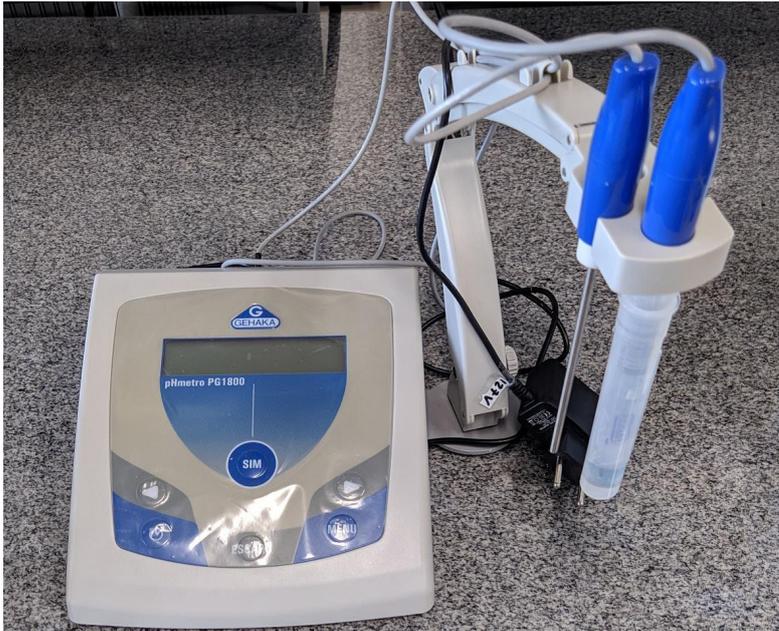
### **Agitador orbital**

Agitador utilizado para homogeneizar soluções, meios de cultura, oferece um controle preciso das rotações possibilitando o uso para crescimento e manutenção de microrganismo, como bactérias, fungos e algas.

### **Placa de aquecimento**

Equipamento utilizado para o aquecimento e controle de temperatura na síntese de materiais, meio de cultura.





### **Phmetro de bancada**

Equipamento utilizado para aferir pH de soluções e meios de cultura.

### **Bomba de vácuo**

Bom de vácuo utilizada para filtragem de dispersões, meio de cultura e soluções, bombas de média potência, sem controle de intensidade de fluxo.





### Estufa com fotoperíodo

Estufa com controle de temperatura e fotoperíodo (simulação de dia e noite) para crescimento, manutenção de modelos biológicos, bem como, a realização de ensaios nanotoxicológicos.

### Incubadora de com CO2

Incubadora para cultivo celular, com controle de Temperatura umidade e controle de fluxo e CO2, para a manutenção das condições ideais para o cultivo celular e a condução de ensaio nanotoxicológicos.





### Autoclave 75L

Equipamento utilizado para a esterilização e descontaminação de meio de cultura e materiais associado a manutenção de cultura de microrganismos.

### Cuba de eletroforese com fonte

Equipamento de eletroforese utilizado para estudos bioquímicos envolvendo proteínas e suas interações com nanomateriais.





### **Estereomicroscópio Trinocular Zeiss Estereomicroscópio**

para a condução de ensaios nanotoxicológicos e manutenção dos modelos biológicos, equipamento equipado com câmeras de captação de imagens para documentação de ensaios biológicos.

### **Sistema de Purificação de Água**

Sistema de osmose reversa, fornecedor de água destilada utilizada para o preparo de meios de culturas, soluções e dispersões de nanomateriais.





### Ultrassom de banho

Banho ultrassônico para preparo de dispersões de nanomaterias em meios aquosos.

### Fluxo laminar classe II tipo A1

Câmara de fluxo laminar utilizada para manipulação de organismos e materiais sensíveis a contaminação, fornece isolamento, filtragem de ar e esterilização com luz UV.





### Banho Maria 125 Tubos

Equipamento utilizado para o controle de temperatura durante o preparo de meios de cultura e soluções, bem como na manutenção de organismos modelos.

### Microcomputador portátil DELL G7 15 7588

Computador portátil, leve, projetado para ser transportado e utilizado em diferentes equipamentos do laboratório, com configuração potente para suportar software de processamento de imagens, microscopia óptica e eletrônica.





**MICROCOMPUTADOR OPTiplex 7060 Minitorre DELL**

Estação de trabalho, projetado para ser transportado e utilizado em diferentes equipamentos do laboratório, com configuração intermediária para suportar software de processamento de dados e estatística.

**Estação de trabalho DELL Precision 3630**

Estação de trabalho, projetado para ser transportado e utilizado em diferentes equipamentos do laboratório, com configuração potente para suportar software de processamento de imagens, microscopia óptica e eletrônica.



## 12. DOCUMENTOS ESTRUTURANTES

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). **Estratégia nacional de ciência, tecnologia e inovação: 2016-2022:** ciência, tecnologia e inovação para o desenvolvimento econômico e social. Brasília: MCTIC, 2016.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). **Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia (IBN)**, instituída pela Portaria nº 3.459, de 26 de julho de 2019.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). Secretaria de Empreendedorismo e Inovação. **Plano de Ação de CT&I para Tecnologias Convergentes e Habilitadoras.** (Vol. I Nanotecnologia; Vol. II Materiais Avançados; Vol. III Fotônica; e Vol. IV Tecnologias para Manufatura Avançada). Disponível em:

[http://www.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/tecnologia/tecnologiasSetoriais/Plano-de-Acao-em-CTI\\_Nanotecnologia\\_FINAL.pdf](http://www.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/tecnologia/tecnologiasSetoriais/Plano-de-Acao-em-CTI_Nanotecnologia_FINAL.pdf)

[http://www.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/tecnologia/tecnologiasSetoriais/Plano-de-Acao-em-CTI\\_Materiais\\_Avancados\\_FINAL.pdf](http://www.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/tecnologia/tecnologiasSetoriais/Plano-de-Acao-em-CTI_Materiais_Avancados_FINAL.pdf)

[http://www.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/tecnologia/tecnologiasSetoriais/Plano-de-Acao-em-CTI\\_Fotonica\\_20x20cm\\_cor-aprovado.pdf](http://www.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/tecnologia/tecnologiasSetoriais/Plano-de-Acao-em-CTI_Fotonica_20x20cm_cor-aprovado.pdf)

<http://www.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/tecnologia/Categoria-destaque/Arquivo/Plano-de-Acao-em-CTI-Manufatura-Avancada-VF.pdf> Acesso em: 13/02/2020

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). **Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias (SisNANO)**, instituído pela Portaria nº 245, de 5 de abril de 2012, e regulamentado pela Instrução Normativa nº 11, de 02 de agosto de 2019.

Memorando de Entendimento assinado entre o Governo da República Federativa do Brasil e o Governo da República Popular da China, para estabelecimento do CBCIN.

Plano de Ação Conjunta 2015/2021 entre o Governo da República Federativa do Brasil e o Governo da República Popular da China, firmado em maio de 2015.

Portaria MCTI Nº 117, de 13 de fevereiro de 2012, que institui o Centro Brasil-China de Pesquisa e Inovação em Nanotecnologia.

Memorando de Entendimento entre a República Federativa do Brasil e a República Popular da China sobre o Estabelecimento da Comissão Sino-Brasileira de Alto Nível de Concertação e Cooperação, firmado em maio de 2004.

### 13. Contatos e Interlocação do MCTI

#### **Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI)**

Secretaria de Empreendedorismo e Inovação (SEMPI)

Departamento de Tecnologias Aplicadas (DETAP)

Coordenação-Geral de Tecnologias Habilitadoras (CGTH)

Esplanada dos Ministérios, Bloco E, sala 390, Brasília-DF, CEP 70.067-900

Email: [cgth@mcti.gov.br](mailto:cgth@mcti.gov.br)

Telefone: +55 61 2033-7424

Gabinete do Ministro do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações

Assessoria Especial de Assuntos Internacionais (ASSIN)

Coordenação-Geral de Cooperação Bilateral (CGCB)

Esplanada dos Ministérios, Bloco E, salas 544/562, Brasília-DF, CEP 70.067-900

Email: [assin@mcti.gov.br](mailto:assin@mcti.gov.br)

Telefone: +55 61 2033-8563



MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÕES



[WWW.MCTI.GOV.BR](http://WWW.MCTI.GOV.BR)



//MCTI