

**Workshop Nanotecnologias:
expectativa da indústria
brasileira**



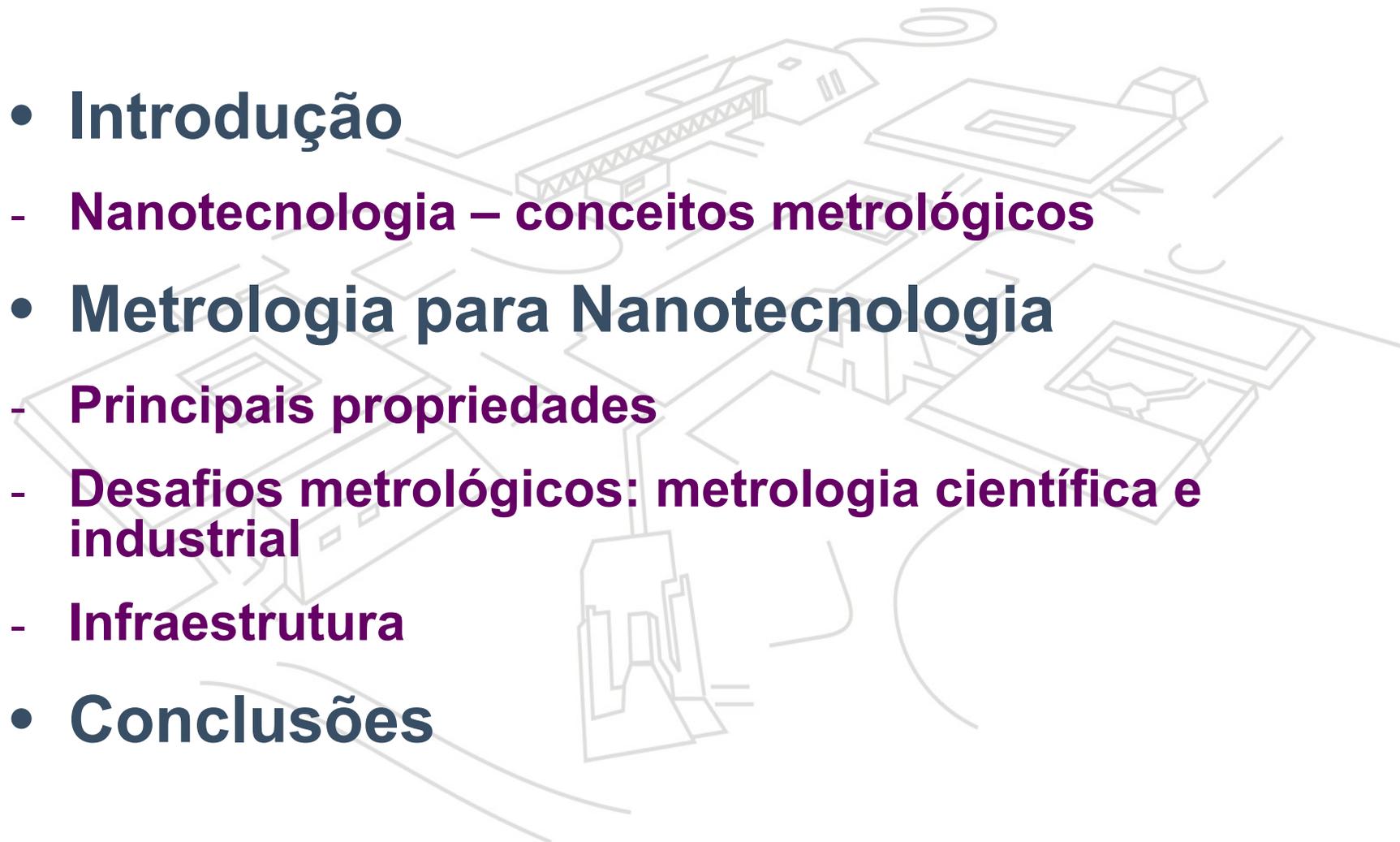
Ministério do
Desenvolvimento, Indústria
e Comércio Exterior



Serviços Metrológicos para Nanotecnologias

Oleksii Kuznetsov

Divisão de Metrologia de Materiais (DIMCI/DIMAT)
Inmetro, Duque de Caxias, Rio de Janeiro

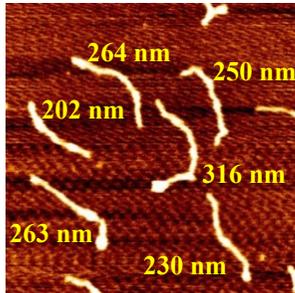
- **Introdução**
 - **Nanotecnologia – conceitos metrológicos**
 - **Metrologia para Nanotecnologia**
 - **Principais propriedades**
 - **Desafios metrológicos: metrologia científica e industrial**
 - **Infraestrutura**
 - **Conclusões**
- 

Nanotecnologia - conceitos

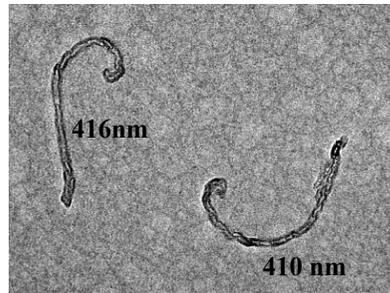


Ministério do
Desenvolvimento, Indústria
e Comércio Exterior

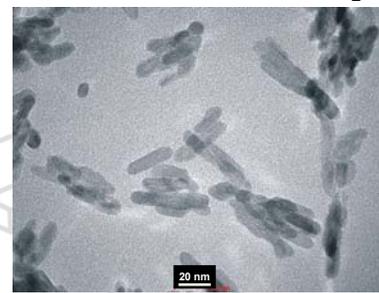
Moléculas de DNA



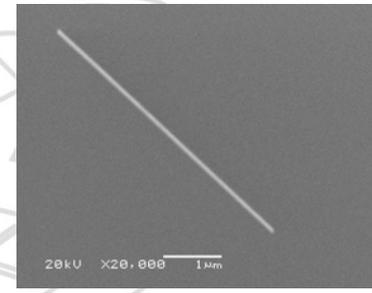
Nanotubos de Carbono



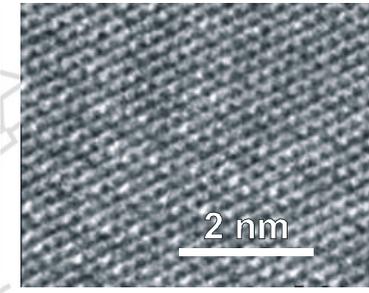
Nanocristalitos de TiO₂



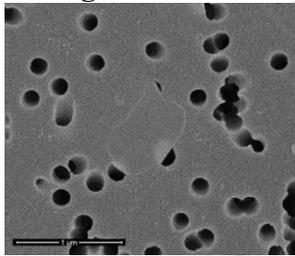
Nanofio de ZnO



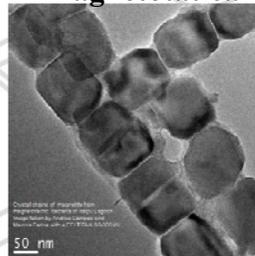
Grafeno



Argila esfoliada



Magnetita de bactéria
magnetotática

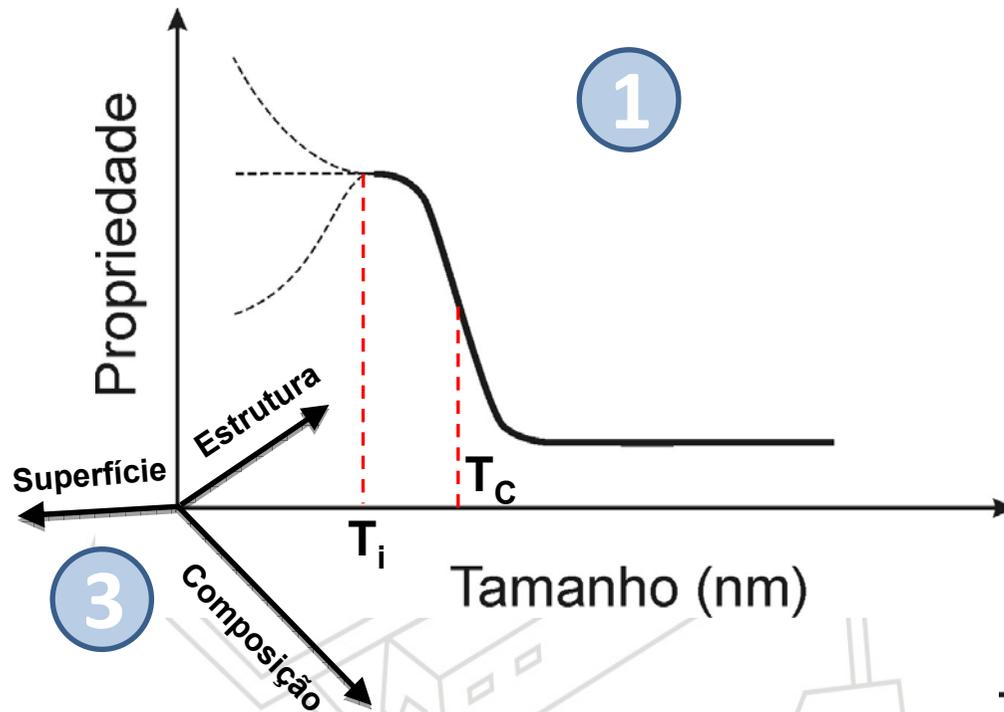


..., etc.

**Funcionalidade de um nanosistema
se baseia na correlação
propriedade – tamanho.**

Nanosistema ideal é um sistema atômicamente perfeito:

- Um determinado arranjo atômico – estrutura
- Uma determinada extensão (conformação) espacial – dimensão e forma

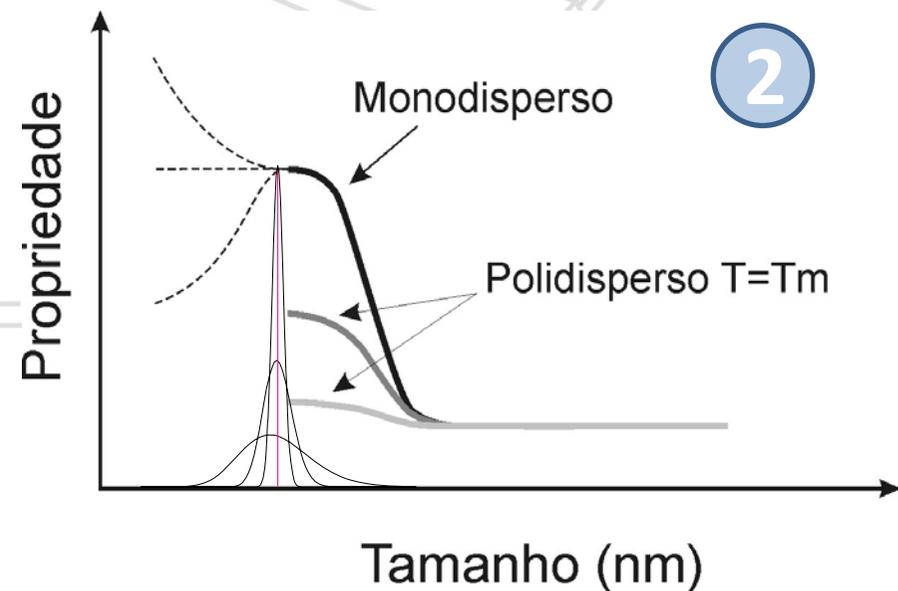


Fenômeno descontínuo

Tamanho certo (ideal) =
maior proveito =
maior eficiência =
melhor qualidade

Efeito da distribuição de tamanho

Distribuição dispersa de tamanhos =
redução do proveito geral =
redução da eficiência geral =
redução da qualidade



Contexto:

Estamos falando sobre a fabricação de **produtos reais**.
Fabricação significa:

Cadeia de produção:



De matéria prima até o produto final. A nanotecnologia estará (diretamente ou indiretamente) em todos os elos da cadeia.
A falha de um elo significa a falha de toda cadeia !!!

O que controlar?

Abordagem exaustiva: todos os processos.
Abordagem econômica: pontos críticos.
Abordagem ideal: (Nano)Manufatura final.

desenvolvimento



Escala industrial

Qual é o meio de controle específico para nanotecnologia?

A medição !!! de propriedades de nanomateriais (nanoobjetos, materiais nanoestruturados)

Propriedades

- ✓ Dimensionais: **comprimentos, forma, distribuição de comprimentos.**
- ✓ Químicas: **composição, impurezas.**
- ✓ Estruturais: **composição de fases e parâmetros estruturais.**
- ✓ De superfície: **área, composição química, estrutura, reatividade, etc.**
- ✓ Outros: **mecânicas, ópticas, elétricas, termofísicas, etc.**

Métodos:

- **Microscópicos, aplicados a nanoobjetos**



- **Macroscópicos, aplicados a materiais nanoestruturados**

Tamanhos

- SEM;
- TEM;
- AFM;
- STM;

Química

- EDS;
- EFTEM (map);
- EELS;
- XPS (1-d);

Estrutura

- TEM;
- LEED (1-d);
- STM (1-d);
- AFM (1-d);

-
- Difração/luz;
 - Potencial ζ ;
 - XRD;
 - Raman;
 - BET;

- XRF;
- XPS (2-d);
- AAS/AES;
- ICP-AES(MS);
- DSC;

- XRD;
- Raman;
- FTIR;
- DSC.

- **Desenvolvimento de métodos de medida na escala nanométrica**
 - procedimentos de medidas primárias
 - procedimentos de medidas de referência
- **Desenvolvimento de instrumentação e procedimentos de calibração**
- **Desenvolvimento de padrões e materiais de referência**
- **Controle metrológico (certificação) de parâmetros, propriedades, processos tecnológicos, sistemas de medição, etc.**

Itens específicos em nanometrologia:

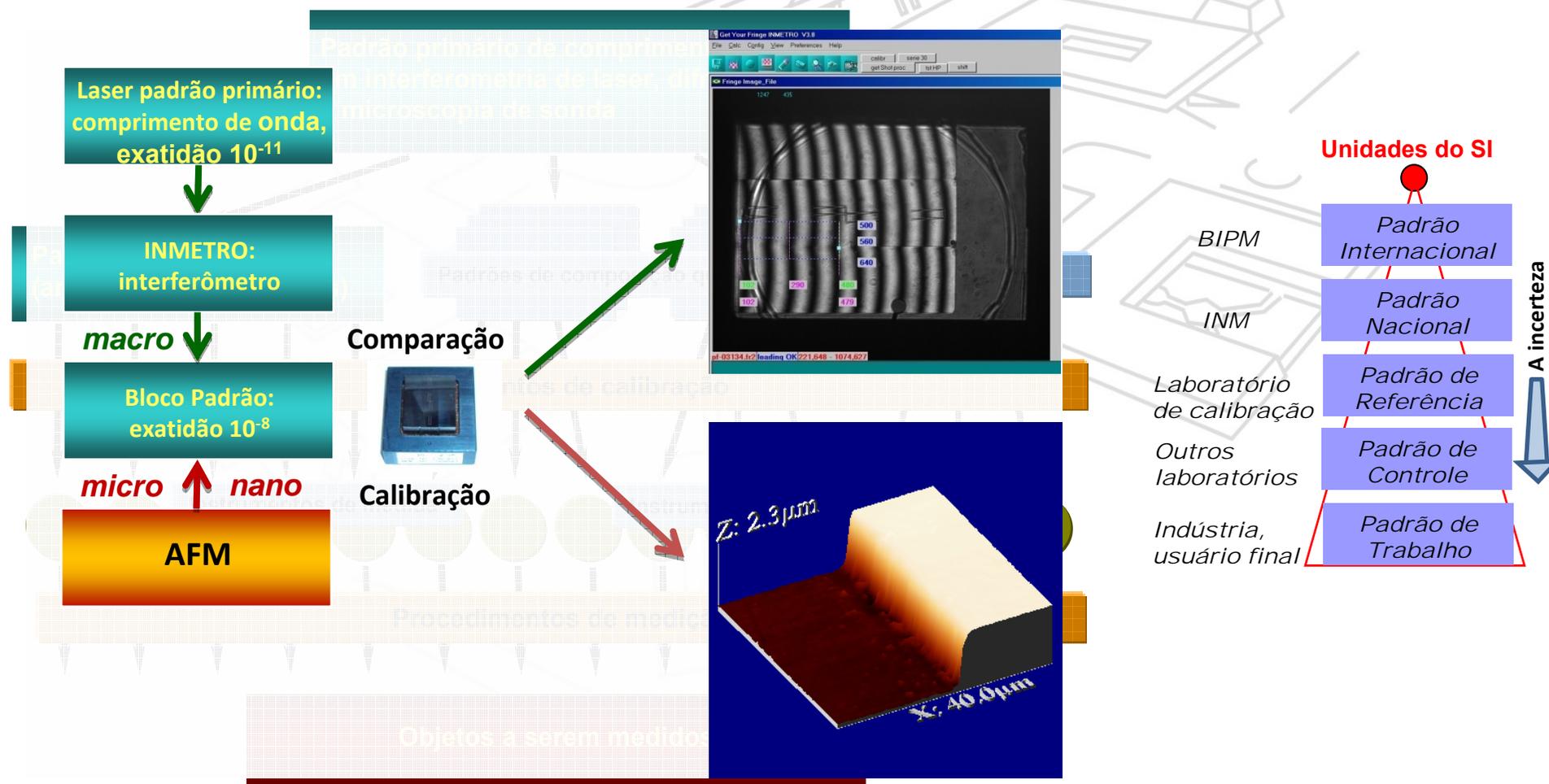
- ✓ **passar de medidas de exatidão relativas para absolutas na escala nano**
- ✓ **desenvolver métodos de caracterização de tamanho baseados nas medidas das propriedades usando a relação tamanho-propriedade**
- ✓ **estender propriedades e comportamento de materiais da escala nano para a escala macro**

Padronização em Nanotecnologia



Ministério do
Desenvolvimento, Indústria
e Comércio Exterior

Transferência de unidades de medidas para nanoescala





- ***Pesquisa e desenvolvimento de técnicas de análise de propriedades de materiais***
- ***Produção e/ou certificação de materiais de referência***
- ***Pesquisa e desenvolvimento de novos materiais (nanotubos, grafenos, nanopartículas, OLEDs) e sua caracterização***
- ***Serviços de ensaios em materiais***
- ***Atendimento a demandas da sociedade ou governamentais***
- ***Provimento de rastreabilidade em grandezas***

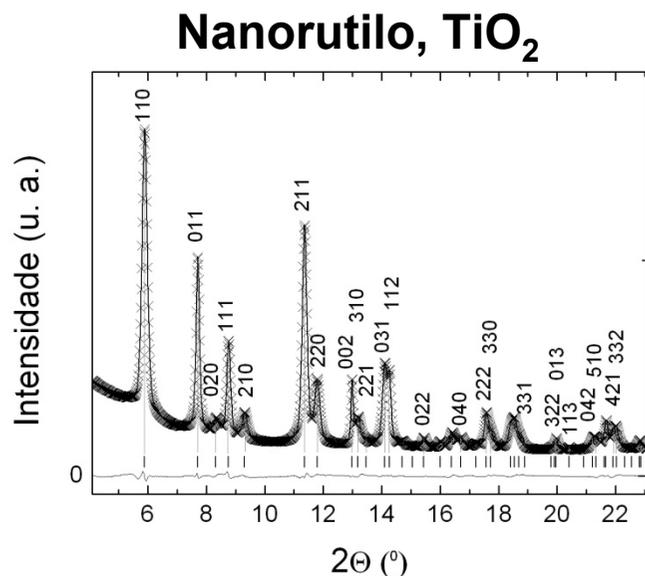
(Nano)Metrologia orientada para indústria



Ministério do
Desenvolvimento, Indústria
e Comércio Exterior

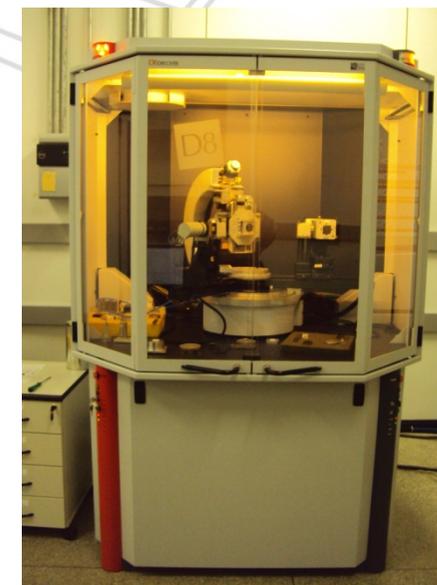
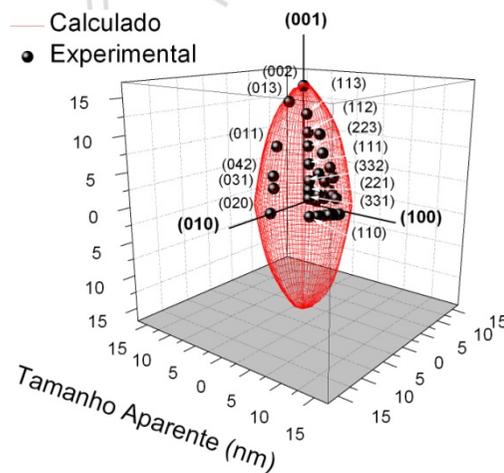
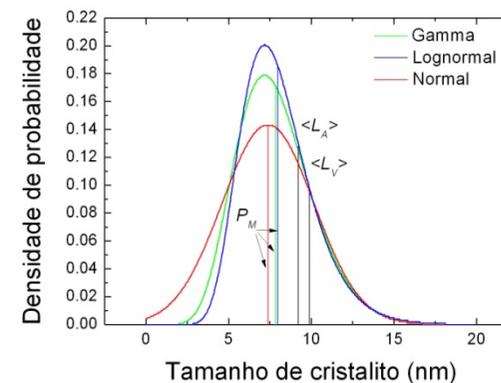
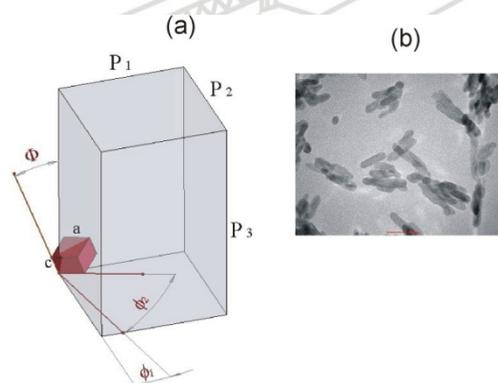
Científica	Industrial
Exige a mais alta exatidão possível	Exige a mais alta eficiência do sistema de medição
Observações controladas visualmente (na maioria dos casos)	Parâmetros quantitativos têm que ser medidos
Número de parâmetros medidos – o maior possível	Número de parâmetros medidos – o mínimo aceitável
Tempo e custo da medida - não são importantes	Tempo e custo da medida - mínimos
Importância significativa das condições ambientais	Medidas nas condições de processo de produção (condições complicadas, afetadas pelas vibrações, contaminação de ar, etc.)

Difração de raios X

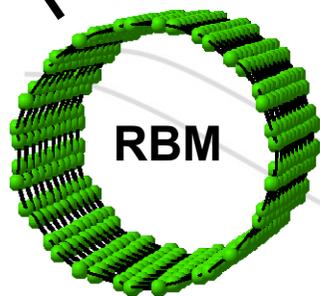
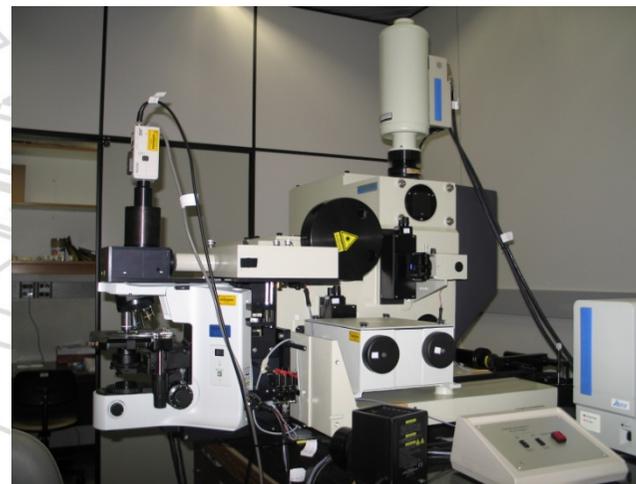
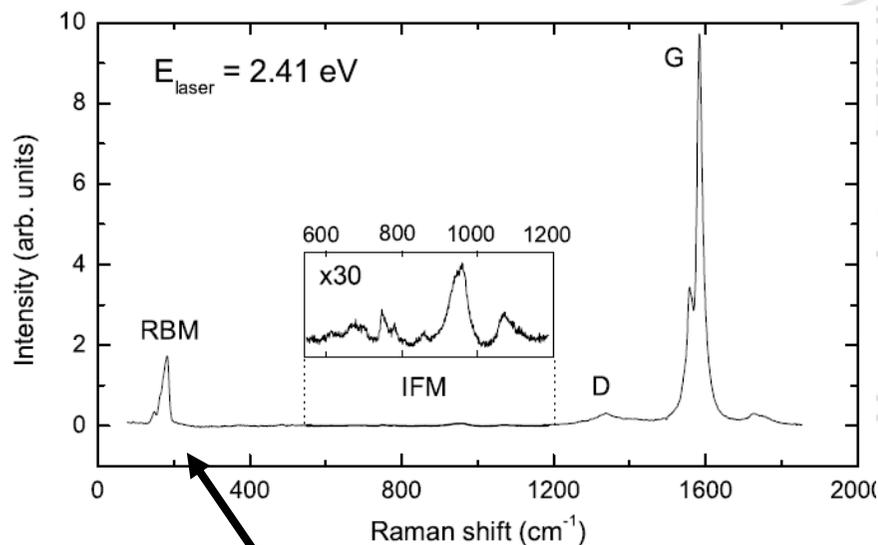


Alargamento de picos de Bragg depende de:

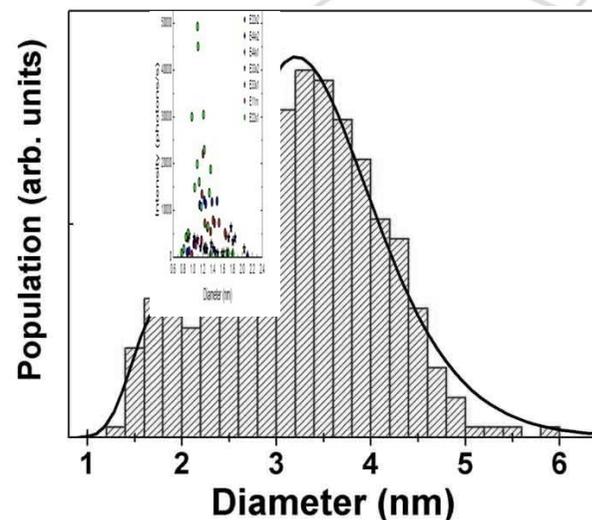
- definição de alargamento
- forma de cristalitos
- índice de Miller
- orientação da rede cristalina com relação à forma do cristalito
- distribuição pelo tamanho



Espectroscopia Raman



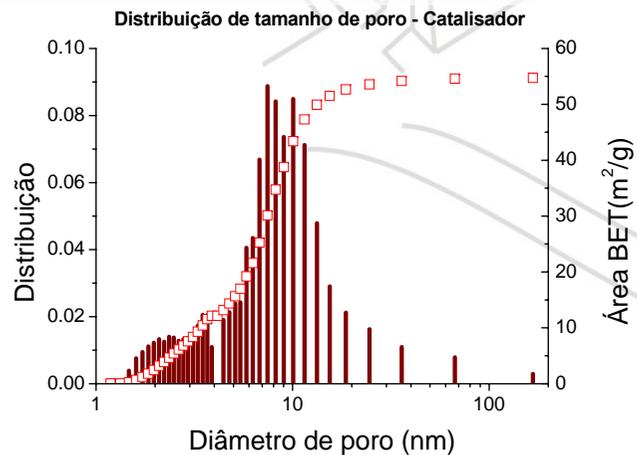
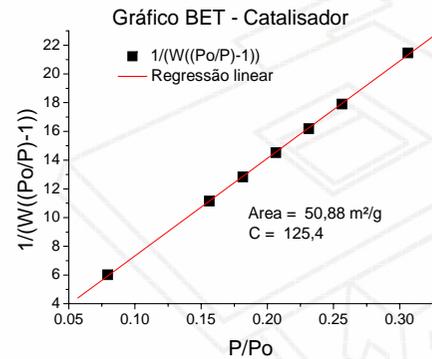
Nanotubos de carbono



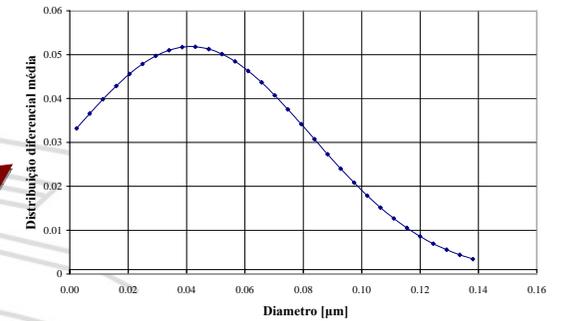
Métodos indiretos



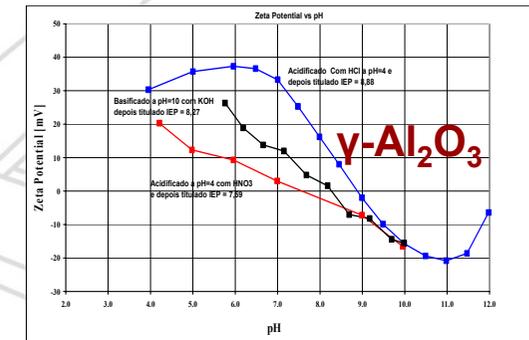
Ministério do
Desenvolvimento, Indústria
e Comércio Exterior



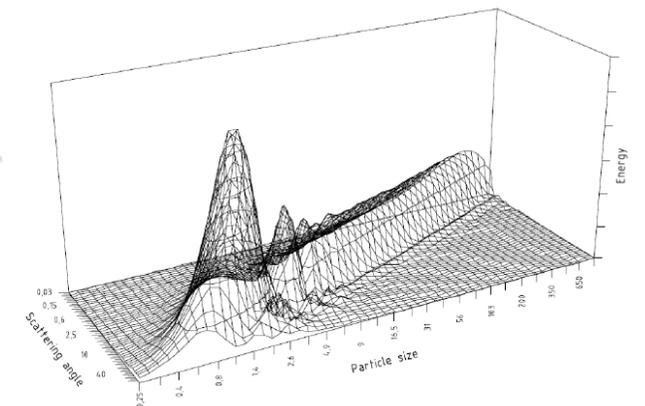
Acoustosizer



Potencial ζ



Analizador de Tamanho de Partículas por Difração de Laser



Importância da Nanotecnologia



Ministério do
Desenvolvimento, Indústria
e Comércio Exterior

Setor Industrial

1	2	3	4	5	6		
Automobilístico	Têxtil	Medicina e Saúde	Energético	Aeronáutico e Espacial	Construção		
Nanomateriais		Propriedades		Aplicação		Indústria	
Materiais à base de carbono		Elétricas, mecânicas, térmicas, tribológicas ...		Pneus, tecidos, tintas, suporte para catalisadores, camadas protetoras do desgaste, transplantes, armazenamento de energia etc.		1, 2, 3, 4, 5, 6	
Nanocompósitos		Mecânicas, elétricas, biológicas ...		"Drug delivery", implantes, material dentário, parabrisas, materiais leves e fortes, etc.		1, 2, 3, 4, 5, 6	
Metais e ligas (Óxidos)		Magnéticas, mecânicas, catalíticas, antibacterianas ...		Saúde, materiais estruturais, recobrimento, armazenamento de hidrogênio, etc.		1, 3, 4, 5, 6	
Biológicos		Auto-organização, reconhecimento molecular		Sistemas de auto-organização (DNA, proteínas), atuadores, sensores, filtros, etc.		3, 4	
Nano-polímeros		Mecânicas, permeabilidade de gás, não inflamáveis ...		Transporte de produtos, empacotamento, aparelhos domésticos, prédios, equipamento esportivo, acabamento de superfícies, etc.		3, 4, 6	
Nano-vidros		Ópticas, eletrônicas ...		Dispositivos ópticos, LEDs, tintas, fotônica, sistemas de comunicação, etc.		1, 3, 4, 5, 6	
Nano-cerâmicos		Mecânicas, térmicas, elétricas, difusividade...		Óptica, engenharia de precisão, armazenamento de dados, etc.		1, 3, 5, 6	

Conclusões



Ministério do
Desenvolvimento, Indústria
e Comércio Exterior

- ◆ **É imprescindível ter uma estratégia de longo prazo em relação a nanotecnologias**
- ◆ **Uma base metrológica avançada na escala nanométrica é condição *sine qua non* para desenvolver metrologia industrial**
- ◆ **É essencial a ampla discussão e o envolvimento de todos atores para responder aos desafios de nanotecnologias**