


**Workshop Nanotecnologias:  
expectativa da indústria  
brasileira**



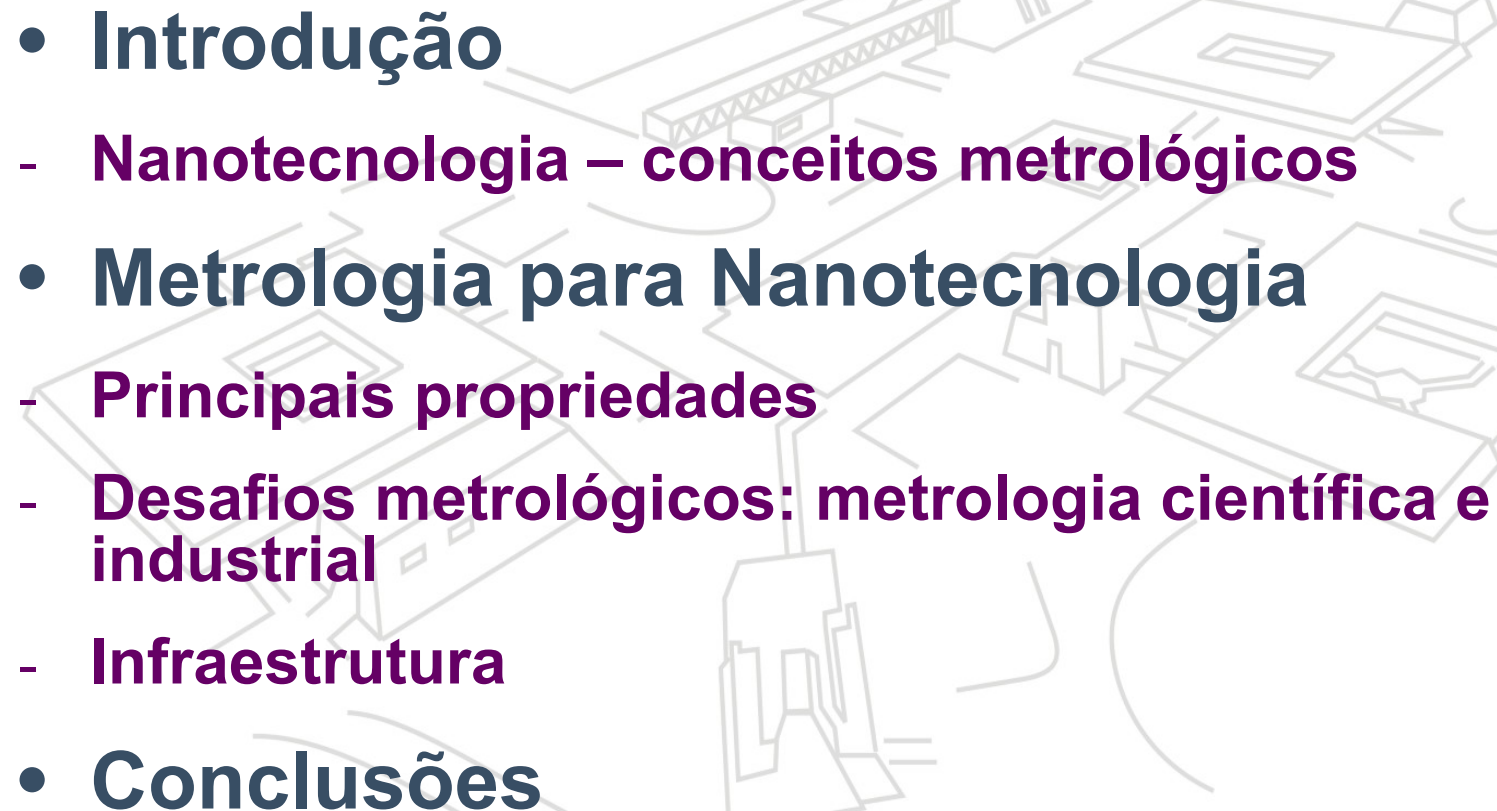
Ministério do  
Desenvolvimento, Indústria  
e Comércio Exterior



# **Serviços Metrológicos para Nanotecnologias**

**Oleksii Kuznetsov**

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

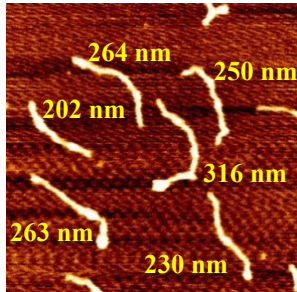
- 
- **Introdução**
    - **Nanotecnologia – conceitos metrológicos**
  - **Metrologia para Nanotecnologia**
    - **Principais propriedades**
    - **Desafios metrológicos: metrologia científica e industrial**
    - **Infraestrutura**
  - **Conclusões**

# Nanotecnologia - conceitos

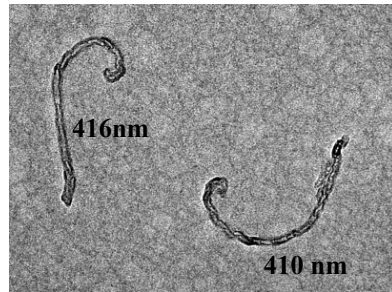


Ministério do  
Desenvolvimento, Indústria  
e Comércio Exterior

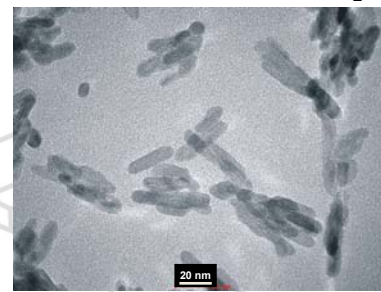
Moléculas de DNA



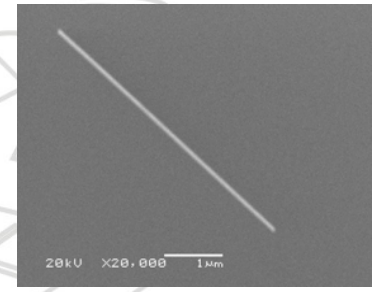
Nanotubos de Carbono



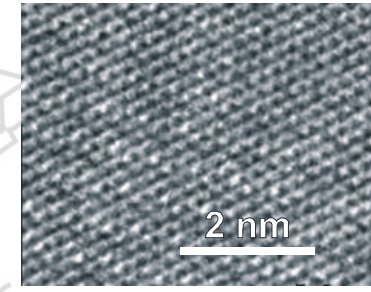
Nanocristalitos de TiO<sub>2</sub>



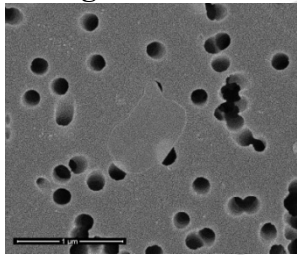
Nanofio de ZnO



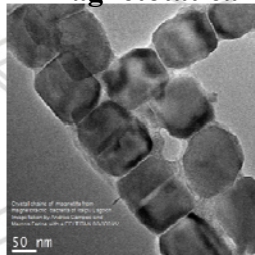
Grafeno



Argila esfoliada



Magnetita de bactéria  
magnetotática

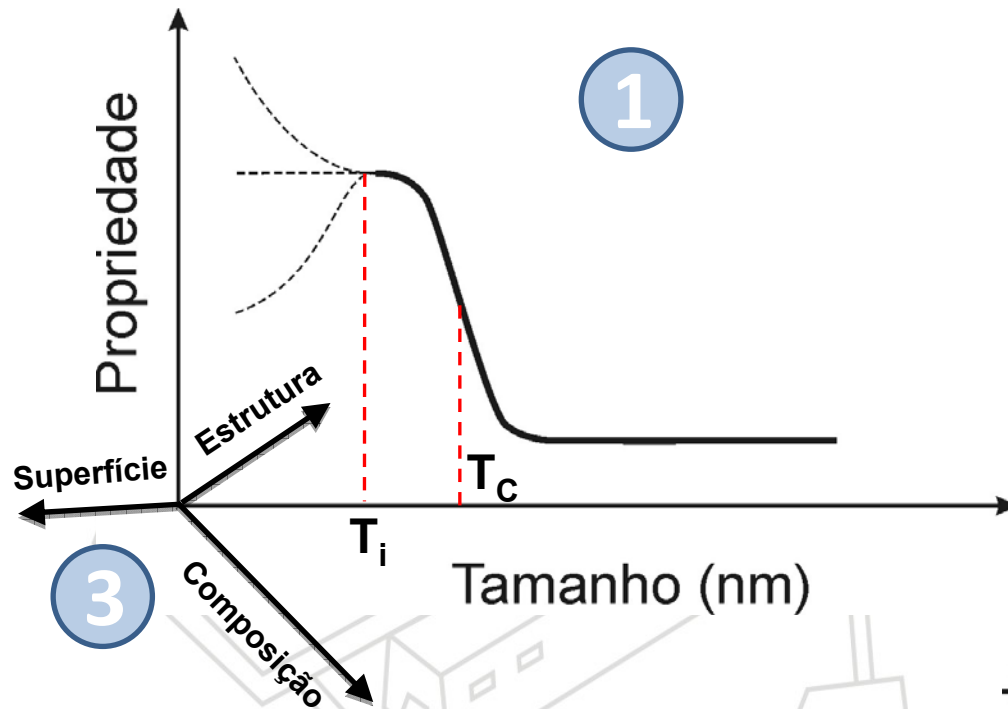


..., etc.

**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

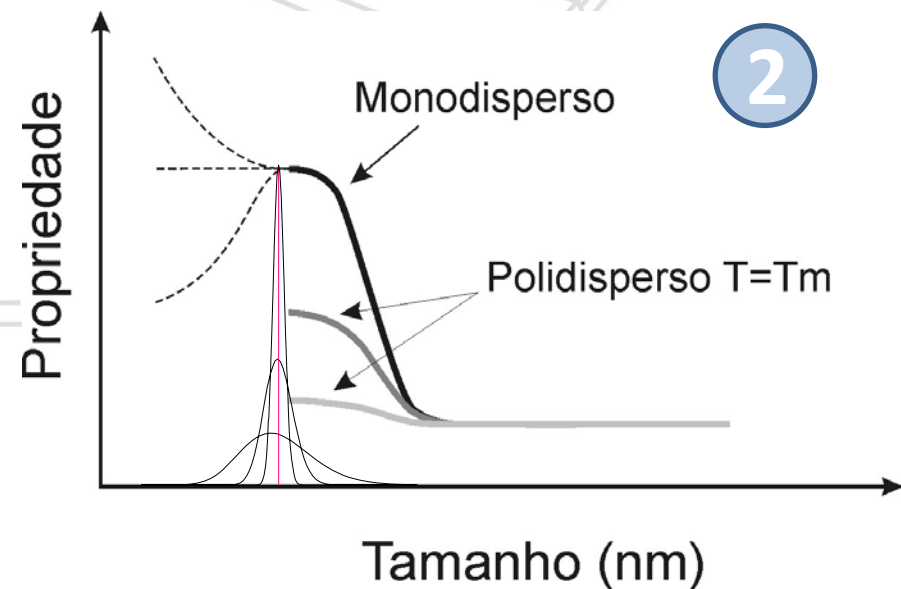


## Fenômeno descontínuo

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  $\zeta$ ;
  - 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:***

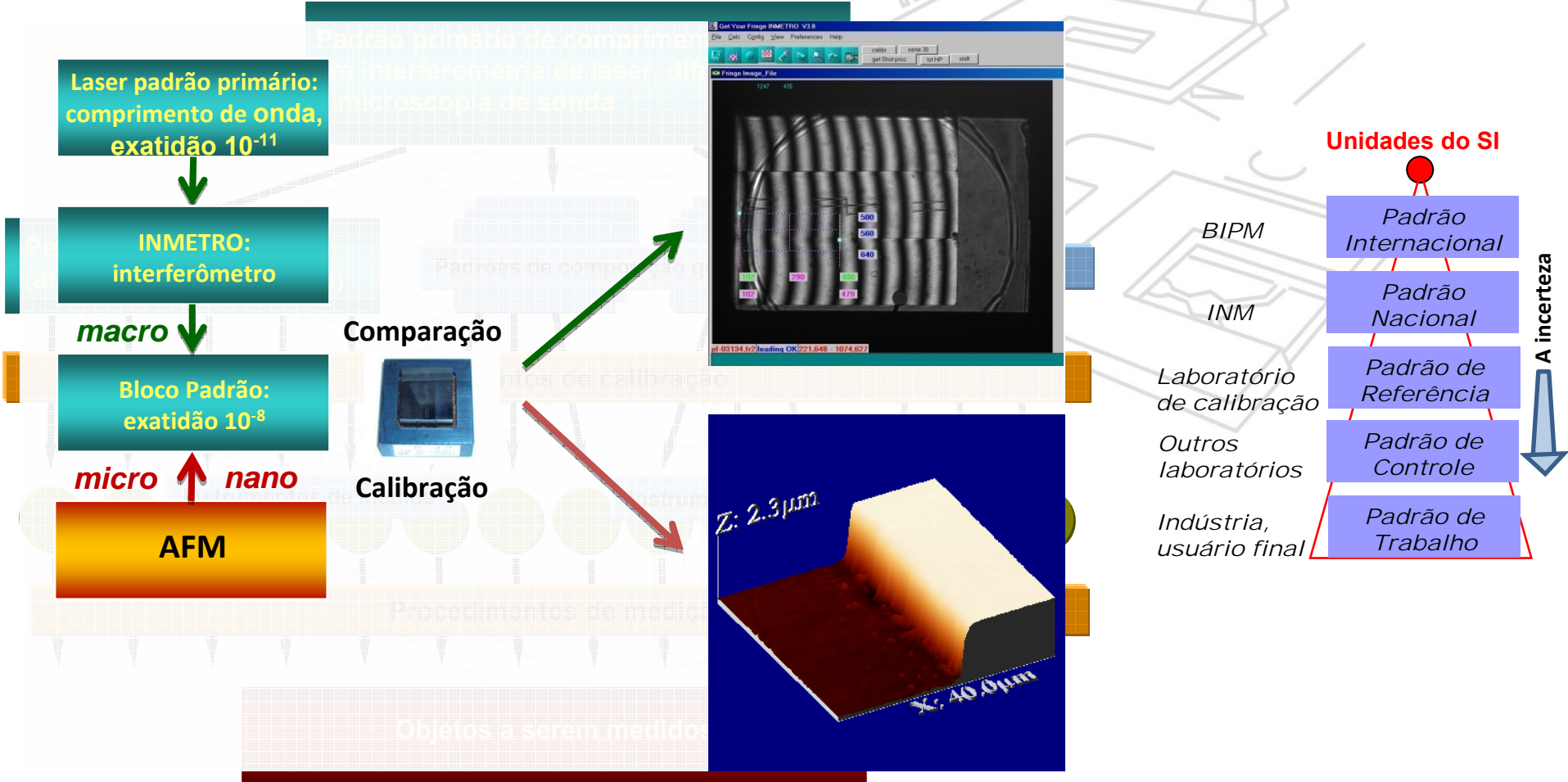
- ✓ **passar de medidas de exatidão relativas para absolutas na escala nano**
- ✓ **desenvolver métodos de caracterização de tamanho baseados nas medidas das propriedades usando a relação tamanho-propriedade**
- ✓ **estender propriedades e comportamento de materiais da escala nano para a escala macro**

# 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***

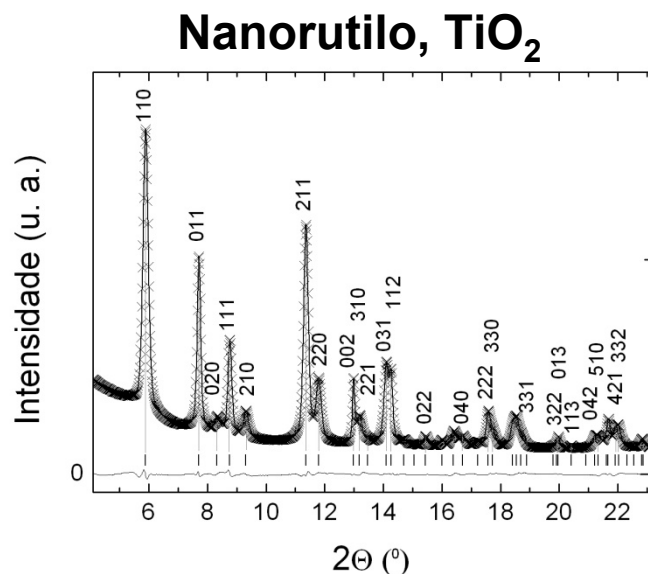
# (Nano)Metrologia orientada para indústria



Ministério do  
Desenvolvimento, Indústria  
e Comércio Exterior

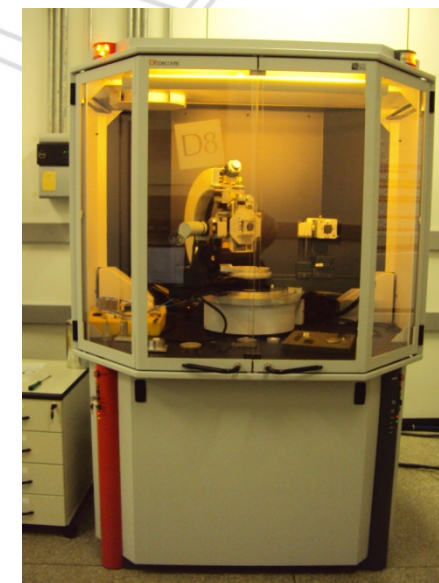
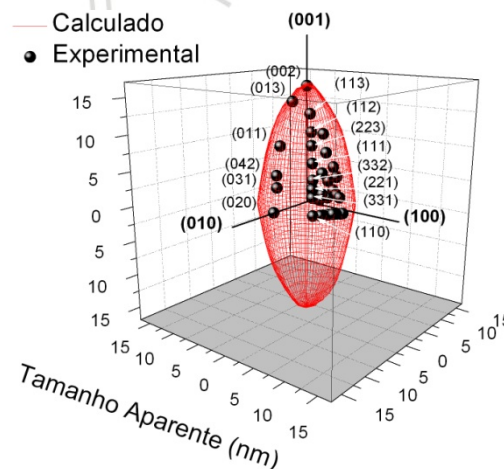
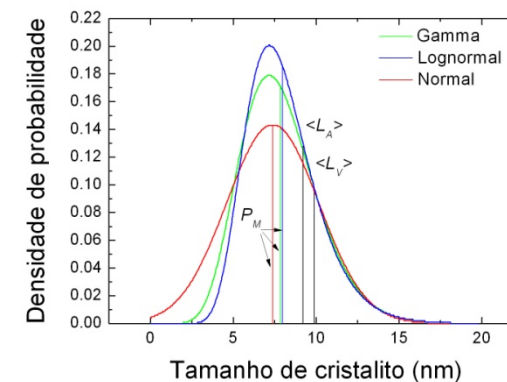
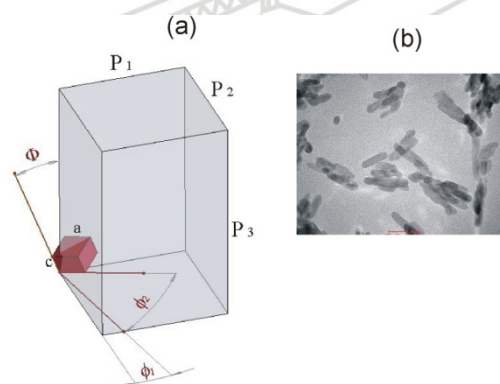
Científica	Industrial
Exige a mais alta exatidão possível	Exige a mais alta eficiência do sistema de medição
Observações controladas visualmente (na maioria dos casos)	Parâmetros quantitativos têm que ser medidos
Número de parâmetros medidos – o maior possível	Número de parâmetros medidos – o mínimo 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

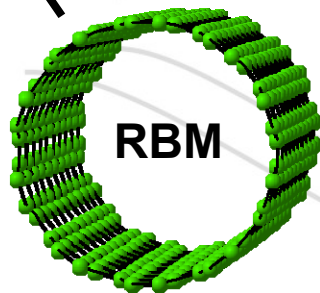
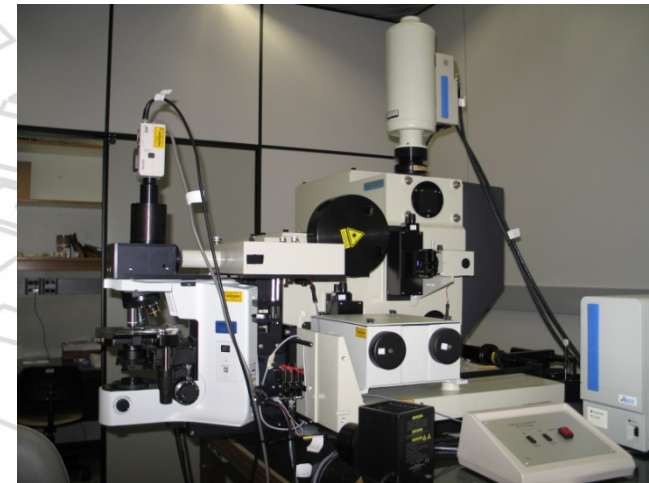
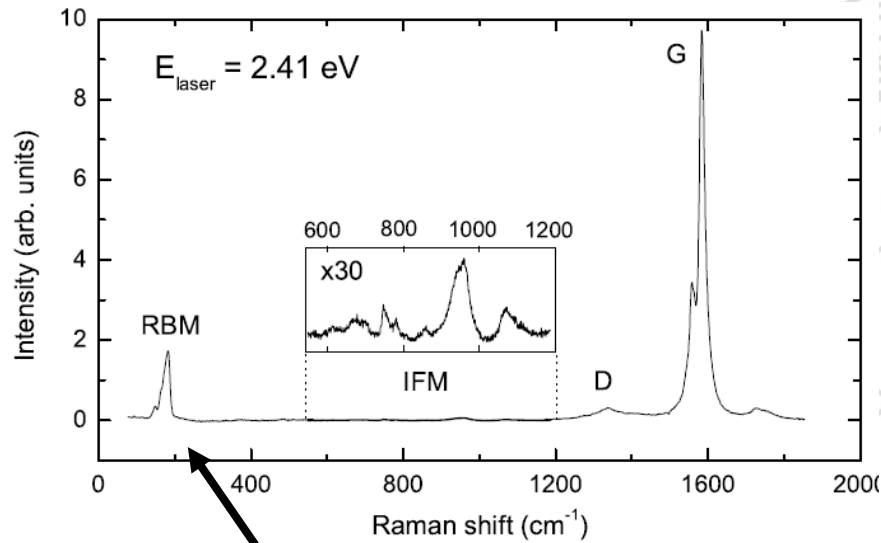


**Alargamento de picos de Bragg depende de:**

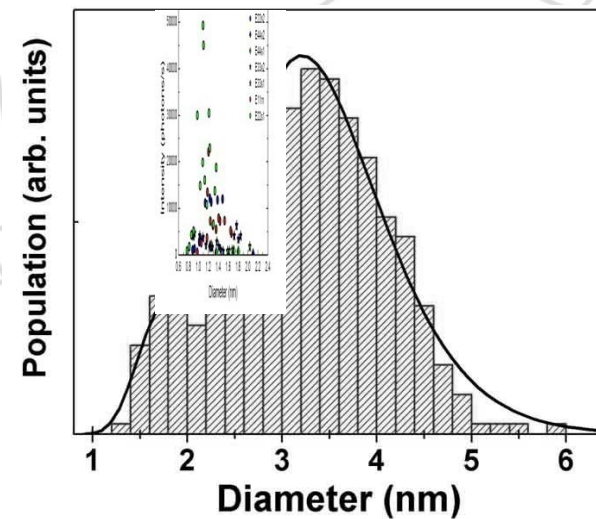
- definição de alargamento
- forma de cristalitos
- índice de Miller
- orientação da rede cristalina com relação à forma do cristalito
- distribuição pelo tamanho



## Espectroscopia Raman



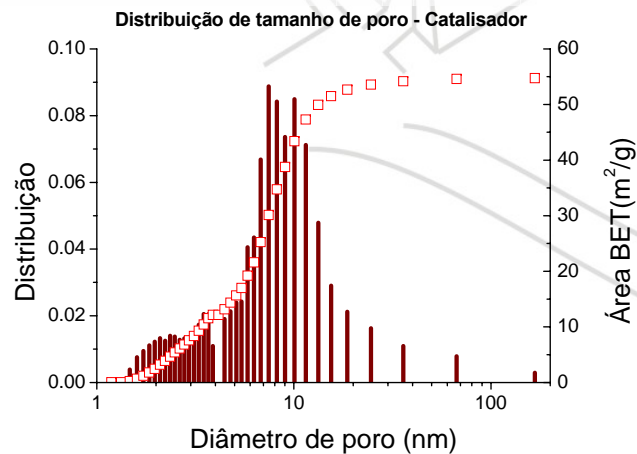
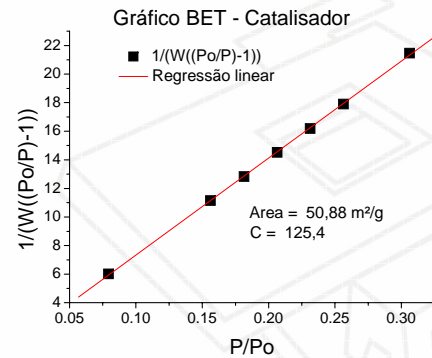
## Nanotubos de carbono



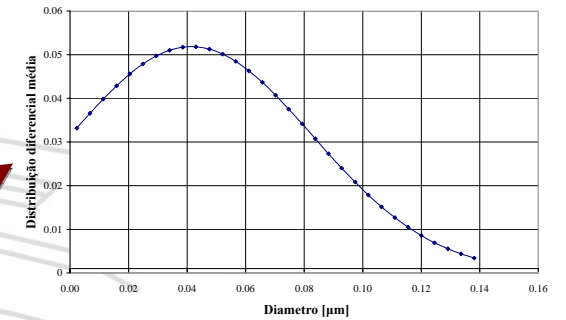
# Métodos indiretos



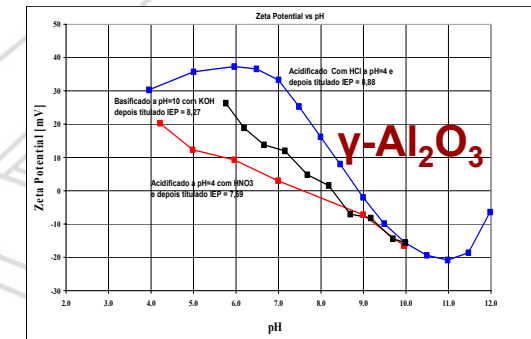
Ministério do  
Desenvolvimento, Indústria  
e Comércio Exterior



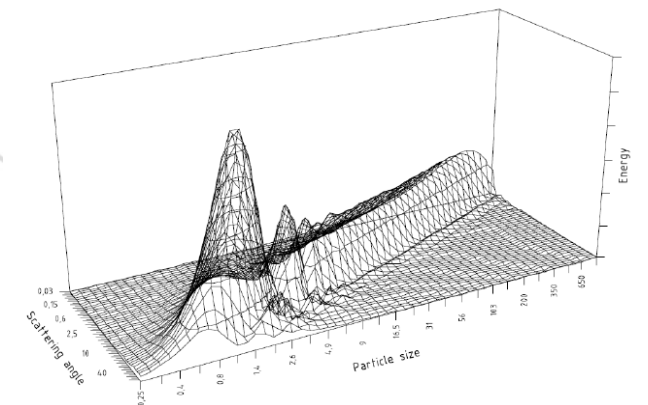
## Acoustosizer



## Potencial $\zeta$



## 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**