

## Um panorama da nanometrologia no Brasil e no mundo

Fabício Gonçalves Torres

*Palestra apresentada CONGRESSO DA  
QUALIDADE EM METROLOGIA REDE  
METROLÓGICA DO ESTADO DE SÃO  
PAULO, ENQUALAB, 2023, São Paulo.  
(Palestra apresentada na Volkswagen-  
São Bernardo do Campo) 24 slides.*

A série “Comunicação Técnica” compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública.

**PRODIBIDO A REPRODUÇÃO**



---

# UM PANORAMA DA NANOMETROLOGIA NO BRASIL E NO MUNDO

Fabrício Gonçalves Torres

[fabrigt@ipt.br](mailto:fabrigt@ipt.br)

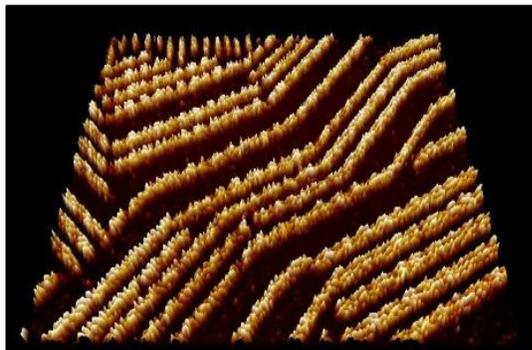
# O QUE É NANOMETROLOGIA?

Área da metrologia responsável pelas medidas dimensionais na nanoescala ( $10^{-9}$ ).

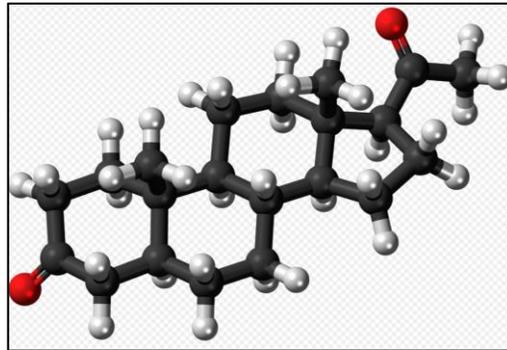
- Força
- Massa
- Propriedades elétricas
- Entre outras

# APLICAÇÕES DA NANOTECNOLOGIA

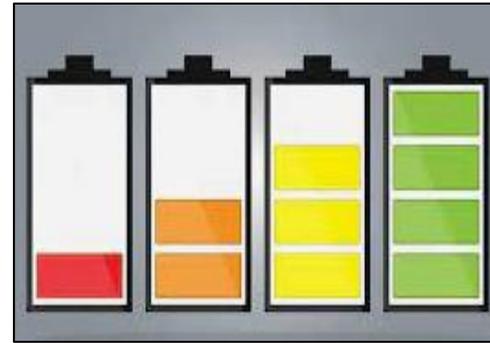
Desenvolvimento de novos produtos e processos que atendam aos princípios de sustentabilidade, abrangendo os aspectos social, econômico e ambiental.



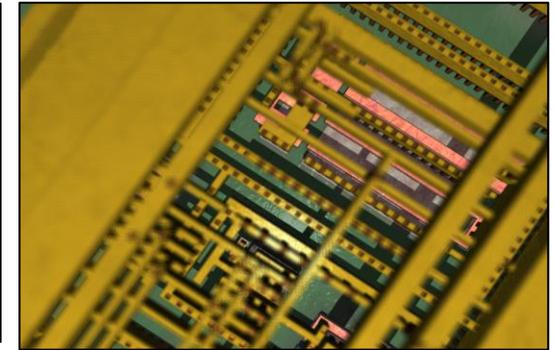
■ Ciência de superfície



■ Química orgânica



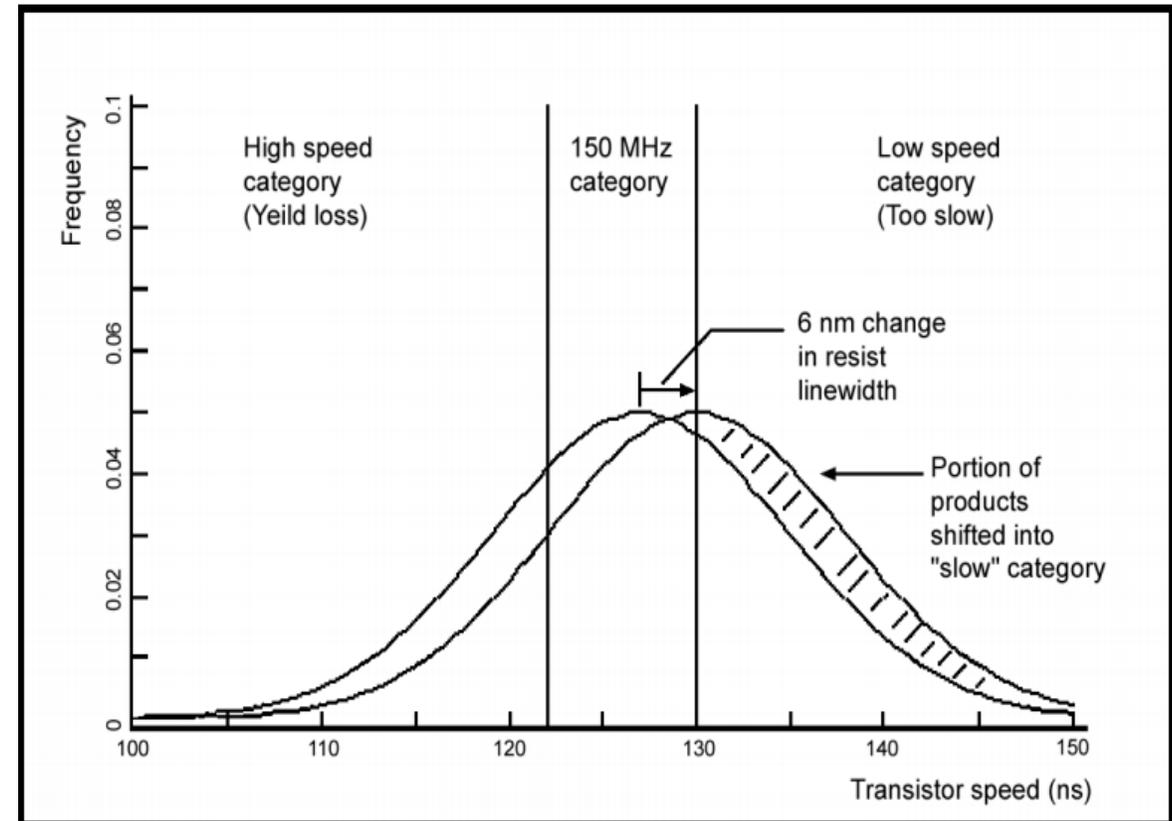
■ Armazenamento de energia



■ Microfabricação

# SEMICONDUCTORES

Controle metrológico da produção de microprocessadores resulta em ganho financeiro significativo para a indústria de semicondutores.



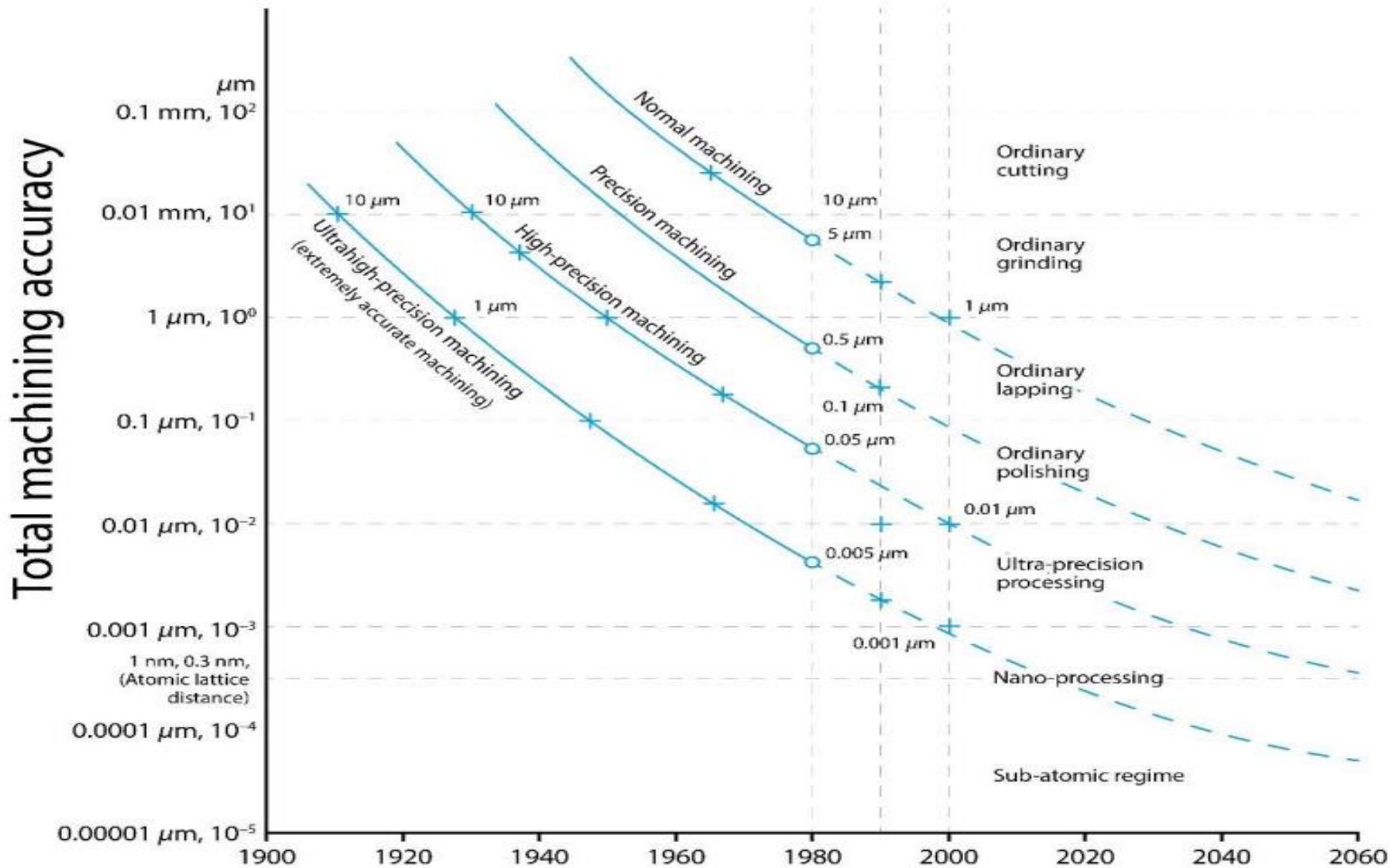
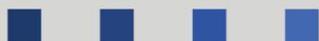
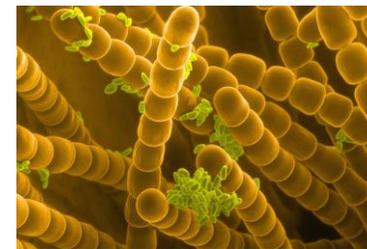
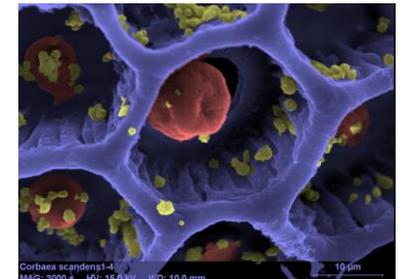
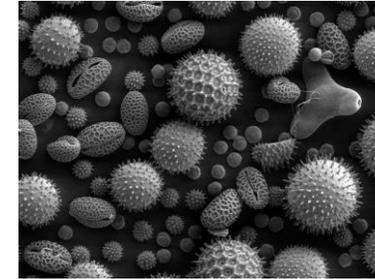


Figure 1 - Extrapolation of the trends predicted by Taniguchi in 1983. On the right, measuring and inspection equipment



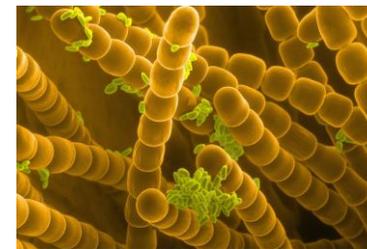
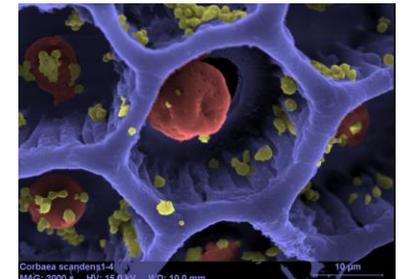
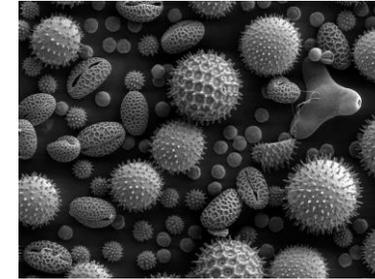
# TÉCNICAS DE MEDIDAS NA ESCALA NANOMÉTRICA

- **Microscópio de força atômica (AFM)**
- **Microscópio de varredura por tunelamento (STM)**
- **Microscópio eletrônico de varredura (SEM)**
- **Máquina de medição por coordenadas (CMM)**
- **Ressonância magnética nuclear (NMR)**



# TÉCNICAS DE MEDIDAS NA ESCALA NANOMÉTRICA

- **Microscópio de força atômica (AFM)**
- **Microscópio de varredura por tunelamento (STM)**
- **Microscópio eletrônico de varredura (SEM)**
- **Máquina de medição por coordenadas (CMM)**
- **Ressonância magnética nuclear (NMR)**



# MISE EN PRATIQUE FOR THE DEFINITION OF THE METRE IN THE SI

## Definição:

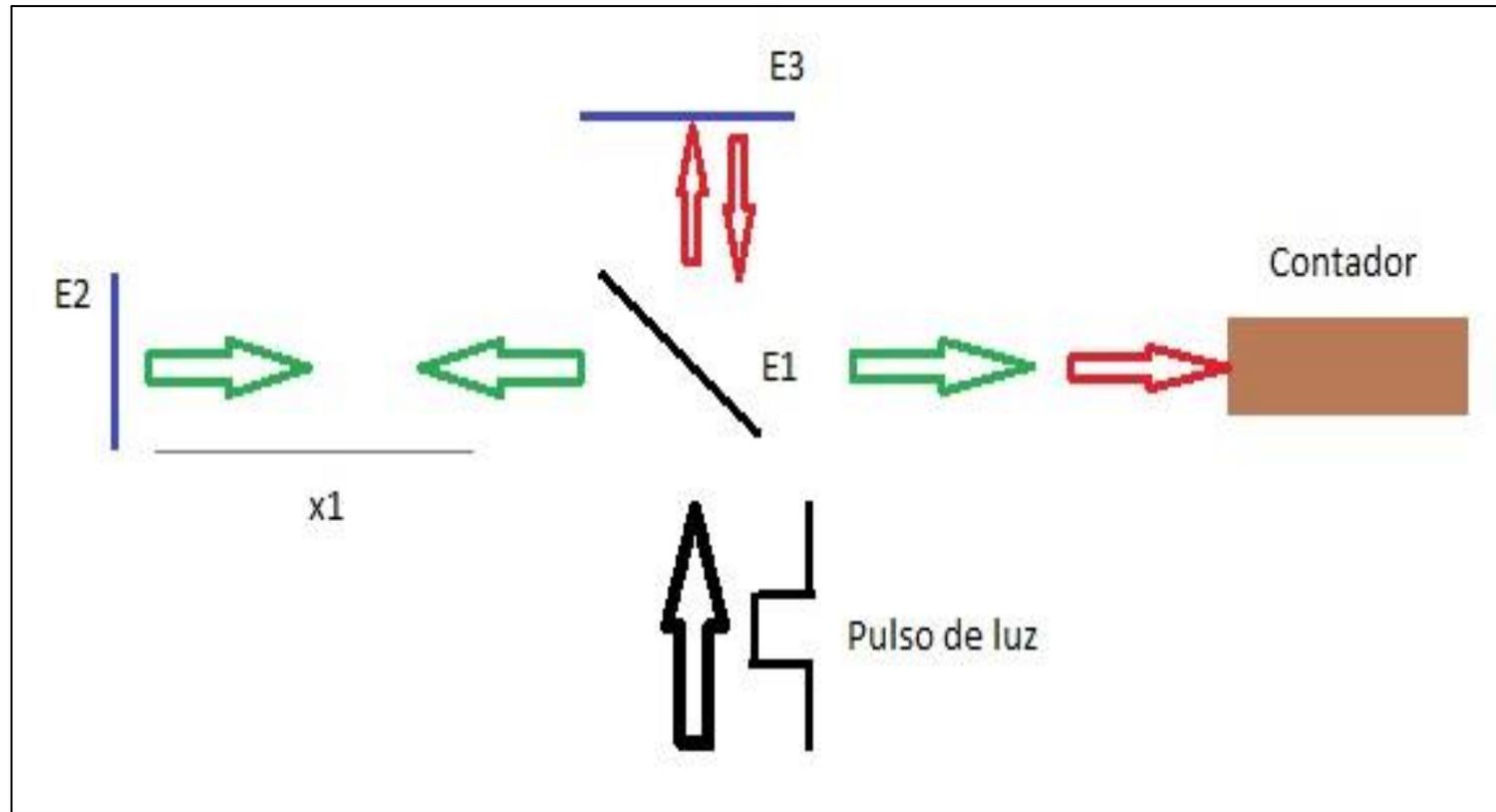
*The metre is the length of the path travelled by light in vacuum during a time interval of 1/299 792 458 of a second*

$$L = c \Delta t$$

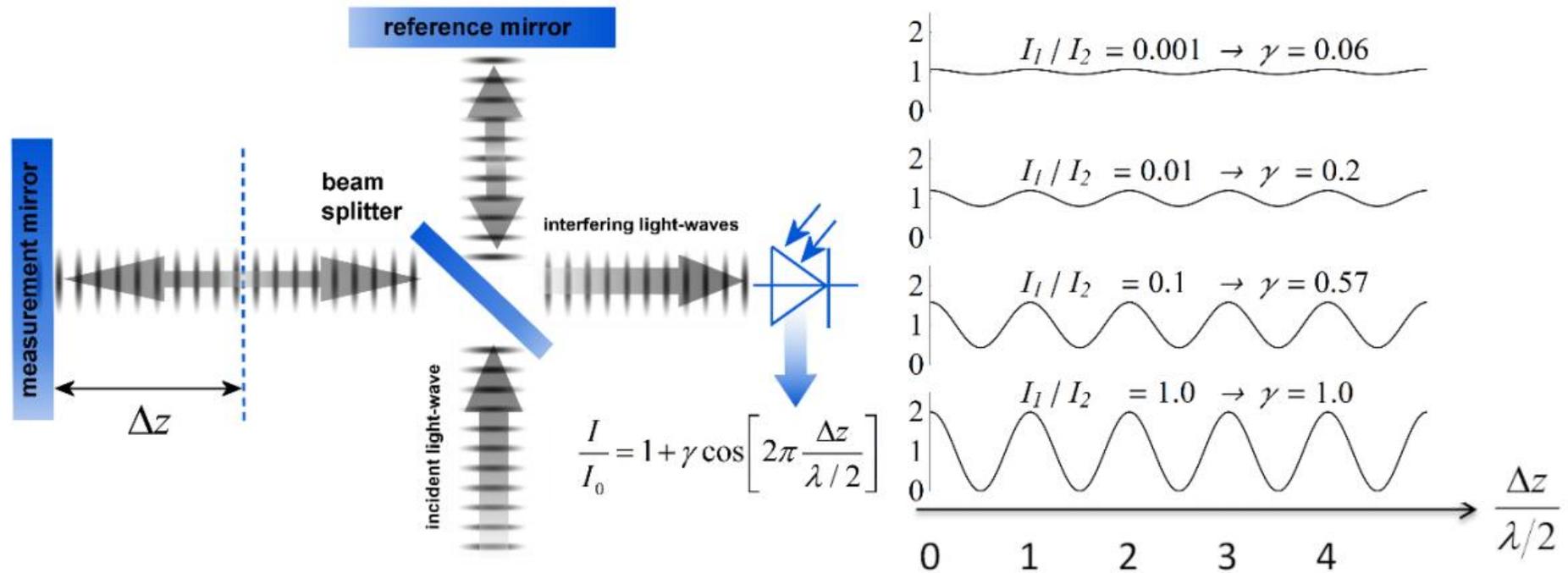
## SI Brochure – 9th edition (2019) – Appendix 2

- Método Direto
- Método Indireto

# MÉTODO DIRETO (*TIME OF FLIGHT*)

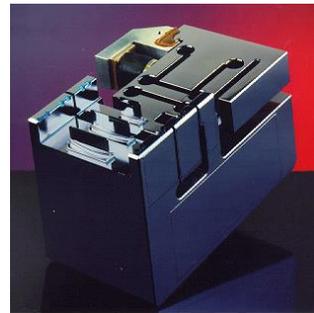


# MÉTODO INDIRETO (INTERFEROMETRIA ÓPTICA)



# MÉTODO COMPLEMENTAR PARA A NANOTECNOLOGIA

COXI



Metro SI



Interferômetro Óptico  
He-Ne



Interferômetro  
de raio-x

+

Silício  
(220)



Medidas nanométricas

# PROSPECÇÃO



# WORKING GROUP ON DIMENSIONAL NANOMETROLOGY (CCL-WG-N)

- Iniciou em 2012
- 28 LNM
- 50 % são da Europa
- Brasil – único da América Latina



# KEY COMPARISSON DATABASE

- 7 programas realizados
- Primeiro PEP iniciou em 1998
- Brasil participou de 1 PEP
- Diferentes métodos foram comparados pelo Inmetro (SEM e TEM)

# MÉTODO, FAIXA DE MEDIÇÃO E CMC

- 23 países com faixa  $< 100$  nm e CMC  $< 10$  nm
- CMC  $< 1$  nm: Alemanha, Taiwan, Japão e Singapura
- Brasil possui CMC  $> 10$  nm (oficial no KCDB)

# SISNANO

- Teve início em 2012
- Dividido em duas fases
- 2ª fase conta com 23 laboratórios
- Sudeste concentra > 60 %



# PESQUISAS REALIZADAS DENTRO DO SISNANO

- Nanomateriais e nanocompósitos
- Diagnóstico e prevenção de doenças
- Medicamentos
- Higiene pessoal, perfumaria e cosméticos;
- Nanotoxicologia e segurança
- Meio ambiente
- Petróleo e gás
- Energia
- Aeronáutica, aeroespacial e defesa
- Agronegócio e alimentos
- MRC

## **Destaque**

### **Pesquisas para o estabelecimento de rastreabilidade metrológica**

- Óxido de Vanádio ( $V_2O_3$ ) sobre o óxido de silício ( $SiO_x$ )
- Caracterização da distribuição de diâmetros de nanotubos de carbono

# NANOTECNOLOGIA NO IPT

## Bionanomanufatura



Laboratório de Processos Químicos e Tecnologia de Partículas

Laboratório de Micromanufatura

Laboratório de Biotecnologia Industrial

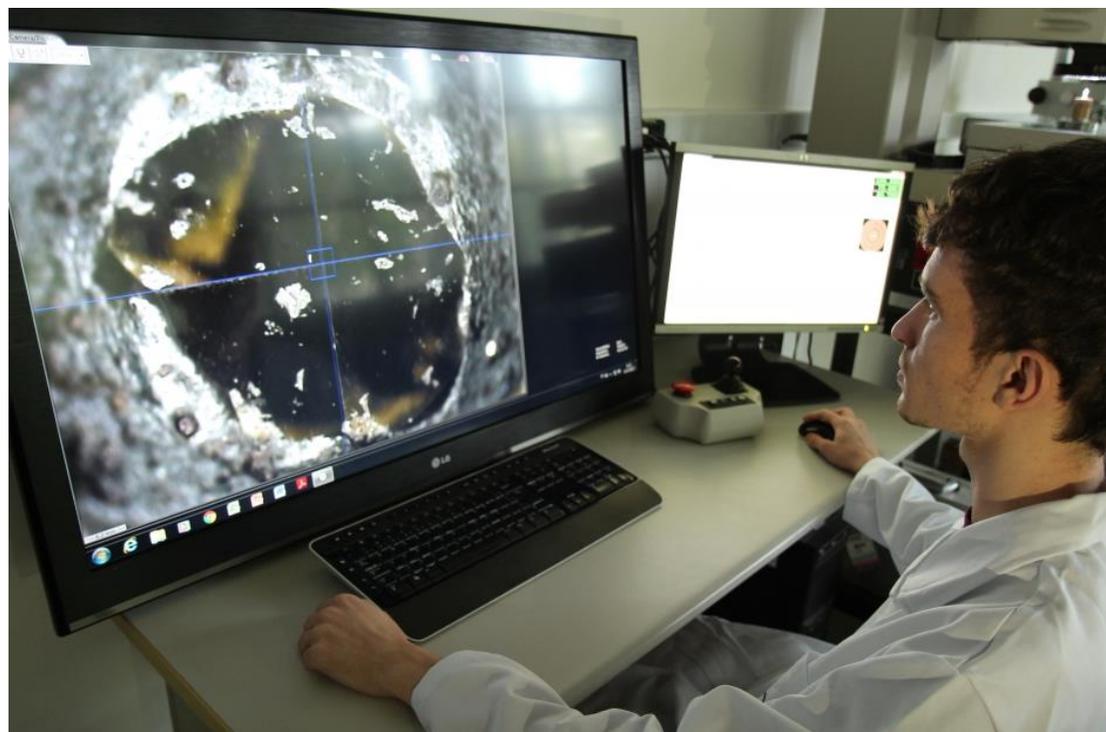
# DESTAQUES DO BIONANO IPT

- **Biotecnologia contra o câncer:** Projeto para diagnóstico rápido de infecção por HPV, desenvolvido por startup IPT.
- **Amazônia nanotecnológica:** Projeto traz nanoencapsulação de matérias-primas amazônicas para cosméticos.
- **Armazenamento em DNA:** Projeto entre IPT e Lenovo faz parte de tendência mundial de empresas para enfrentar desafios de armazenamento de grandes quantidades de informação no mundo digital.



# NANOMETROLOGIA NO IPT

## Laboratório de Metrologia Mecânica

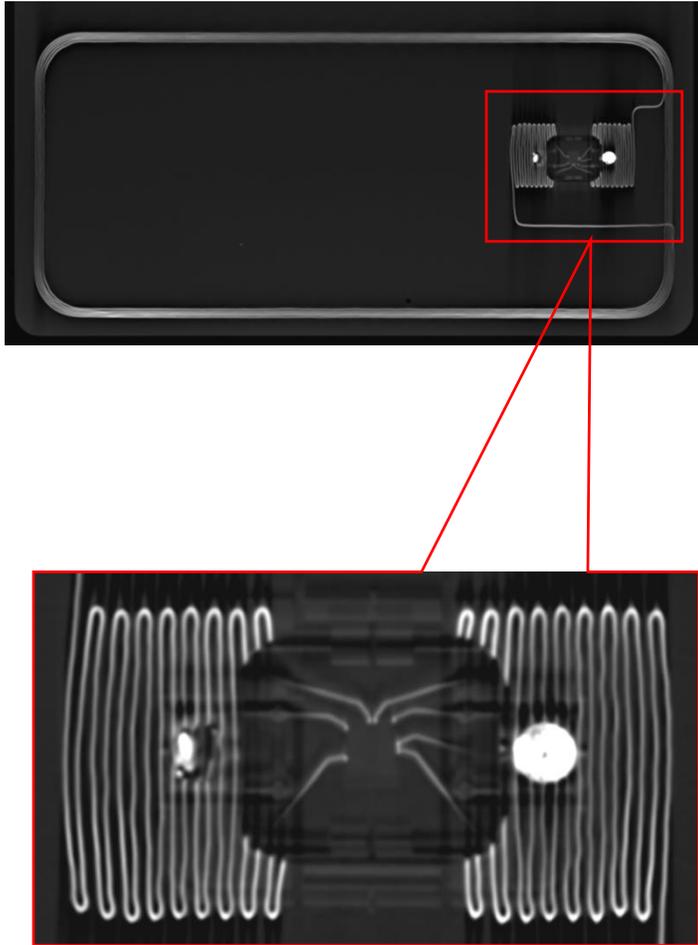


# METROTOMOGRAFIA



- Tecnologia de raio-x incorporada à de medição por meio de coordenadas;
- Modo não destrutivo;
- Medições 3D de peças com densidades mais altas como alumínio, aço, titânio, compósitos, cerâmica e plástico reforçado com fibra de vidro;
- Máx. Dimensões da peça  $D = 470 \text{ mm} / L = 678 \text{ mm}$  (dependendo da relação de aspecto das peças);
- Desvio de medição de comprimento admissível de até  $4,5 \mu\text{m}$ .

# APLICAÇÕES



- Tomografia 3D de um cartão bancário para detecção de falhas;
- Muitas vezes uma superfície externa aparentemente sem irregularidades pode esconder defeitos críticos no seu interior;
- Quantitativamente, é possível mensurar os diâmetros, comprimentos e larguras dos poros, além de precisar com boa exatidão a localização espacial de cada um deles ao longo da peça.

# CONCLUSÃO

- A nanometrologia é essencial para a indústria de semicondutores
- PEP ainda não suficientes, principalmente  $< 1$  nm
- Apenas 4 países possuem CMC  $< 1$  nm
- O Brasil possui CMC  $> 10$  nm (oficializado)
- O Brasil caminha para a obtenção de rastreabilidade por meio de MRC

# Obrigado!

Fabrício Gonçalves Torres

E-mail: [fabrigt@ipt.br](mailto:fabrigt@ipt.br)

Fone: (11) 3767-4948



[linkedin.com/school/iptsp/](https://www.linkedin.com/school/iptsp/)



[instagram.com/ipt\\_oficial/](https://www.instagram.com/ipt_oficial/)



[youtube.com/@IPTbr/](https://www.youtube.com/@IPTbr/)

[www.ipt.br](http://www.ipt.br)

