CLUBE DE ENGENHARIA, RJ, 21 de agosto de 2017

A Evolução da Nanotecnologia no Brasil: desafios para difusão e inovação

Flávio J. M. Peixoto

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE

Rede de Pesquisa em Sistemas e Arranjos Produtivos e Inovativos Locais– RedeSist – Instituto de Economia - UFRJ

Estrutura da apresentação

1- O contexto

2 - Nanotecnologia: O que é? Onde está?

3- A Política Nacional de Nanotecnologia e difusão no Brasil

4- Desafios para inovação: a nanotecnologia a partir de uma perspectiva sistêmica

5- Indicadores e política de inovação

Contexto: Ondas de Revoluções Tecnológicas

- Mudanças técnicas como as maiores fontes de transformação do sistema econômico;
- Conjunto de inovações podem caracterizados por "revoluções tecnológicas";
- Tais revoluções dominam uma sociedade por algumas décadas antes de abrir caminho, após um período de grandes turbulências, para outras inovações;
- Tais fenômenos delineiam as "ondas longas" do desenvolvimento capitalista;
- Prolongado processo de emergência e difusão de novas tecnologias.

Contexto: Características das Revoluções Tecnológicas

- Conjunto de inovações técnicas e organizacionais;
- Mudanças estruturais;
- Crises de ajuste (desemprego, perfil das ocupações, habilidades e etc.);
- Período de transição entre paradigmas tecno-econômico abre espaço para "janelas de oportunidades" onde empresas e economias nacionais podem tomar novas posições na economia mundial.

Contexto: Ondas de Revoluções Tecnológicas

Freeman & Louçã (2001) identificam 5 grandes ondas no desenvolvimento do capitalismo:

1) A Revolução Industrial Britânica: A Era do algodão, ferro e da energia hidráulica (1ª onda de Kondratiev)

2) A 2ª onda de Kondratiev: A Era da estrada-de-ferro, energia à vapor e mecanização

3) A 3ª onda de Kondratiev: A Era do Aço, Engenharia Pesada e Eletrificação

4) A 4ª onda de Kondratiev: A Era do Petróleo, Automóveis, Motorização e Produção em Massa

5) O advento de um novo paradigma tecno-econômico: A Era das TIC's

Contexto: E as nanotecnologias?

- Nanotecnologia segue uma trajetória evolucionária similar às ondas tecnológicas anteriores?
- Novo paradigma tecno-econômico?
- Ela tende a afetar a estrutura produtiva como um todo, alterando o padrão de concorrência nos diferentes sistemas produtivos;
- Tecnologias portadoras de futuro.

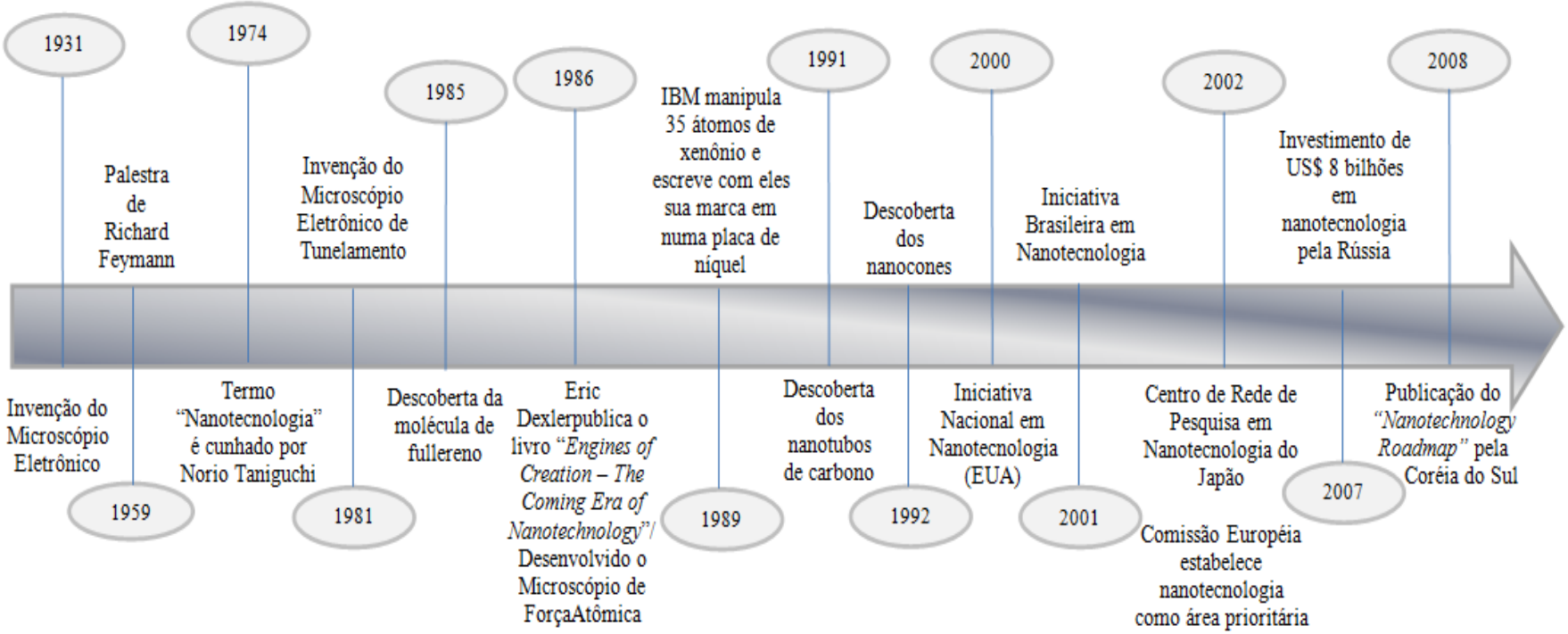
Motivações para o estudo

- Nanotecnologia como área estratégica de política no Brasil;
- Nanotecnologia inserida como tema no questionário da Pesquisa de Inovação (PINTEC – 2008) por demanda do então Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT);
- Estudo desenvolvido no âmbito do projeto "Observatório de Políticas Estratégicas de Produção e Inovação no Brasil" na Rede de Pesquisa em Sistemas e Arranjos Produtivos e Inovativos Locais (RedeSist – IE – UFRJ).

1-Nanotecnologia: O que é? Onde está?

Antecedentes

Marcos históricos da nanotecnologia



Fonte: Elaboração própria adaptado de Instituto Inovação (2005)

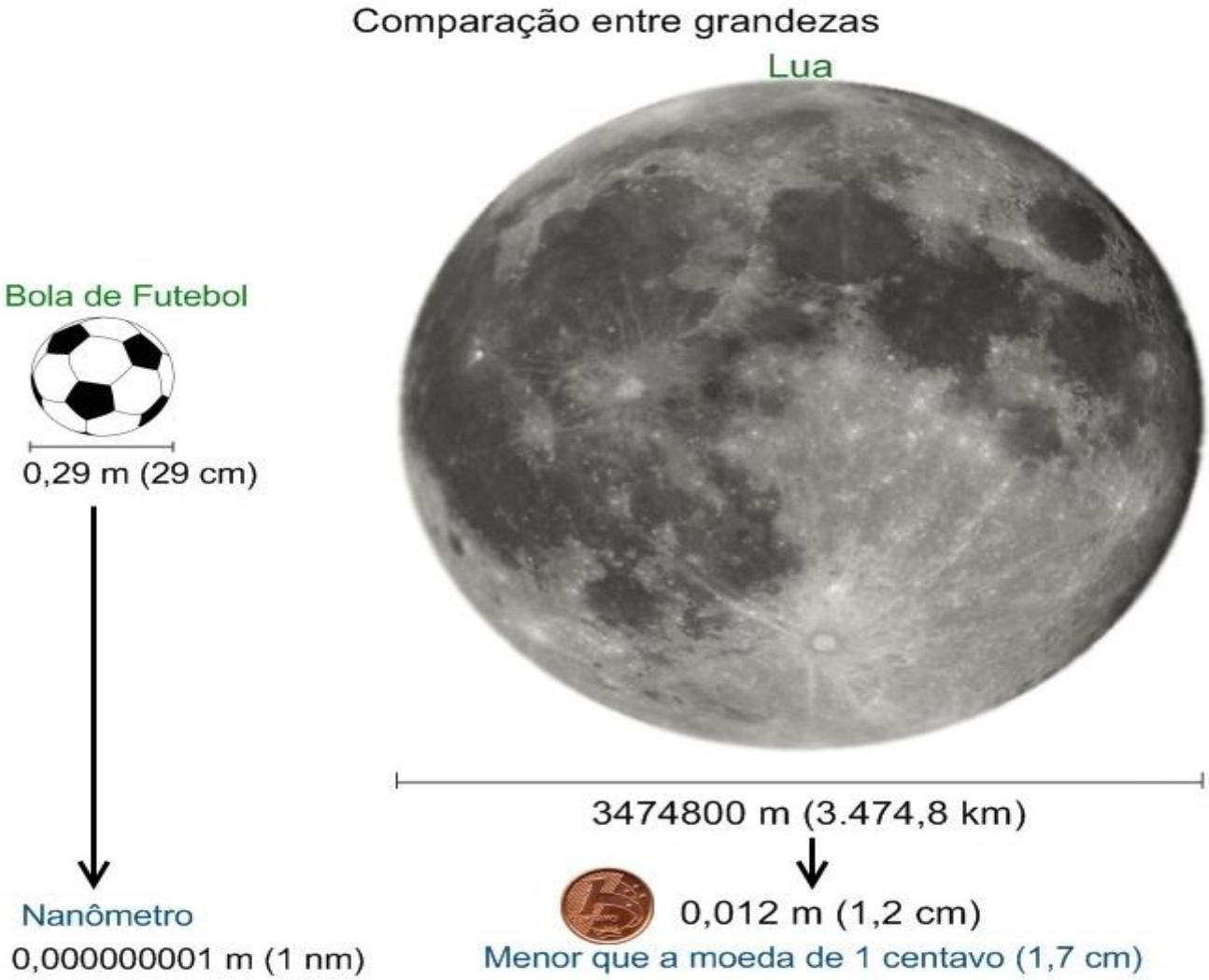
O que é nanotecnologia?

- Nanotecnologia se refere a um conjunto de técnicas utilizadas para manipular a matéria (átomos e moléculas) na escala nanométrica (1 nm = 10^{-9}m = 1 bilionésimo do metro);

- Conjunto de tecnologias que na escala nanométrica apresentam **novas propriedades** (físicas, químicas e biológicas) e **funções** (ex. efeitos quânticos);

- Entre o nível atômico (aproximadamente 0,2 nm) e 100 nm os materiais podem ter **propriedades diferentes e reforçadas** se comparadas aos mesmos materiais na macroescala;

- Representa a convergência da física quântica, biologia molecular, ciência da computação, química e engenharia (multidisciplinar).


Comparação entre grandezas
Lua
Bola de Futebol
0,29 m (29 cm)
3474800 m (3.474,8 km)
Nanômetro
0,000000001 m (1 nm)
0,012 m (1,2 cm)
Menor que a moeda de 1 centavo (1,7 cm)

O que é nanotecnologia?

A nanotecnologia vista pelas técnicas de produção na nanoescala:

1-Abordagem *Bottom-up*: Construção de estruturas a partir de seus componentes básicos, átomos e moléculas. Também chamada de "**abordagem química**", mediante três alternativas:

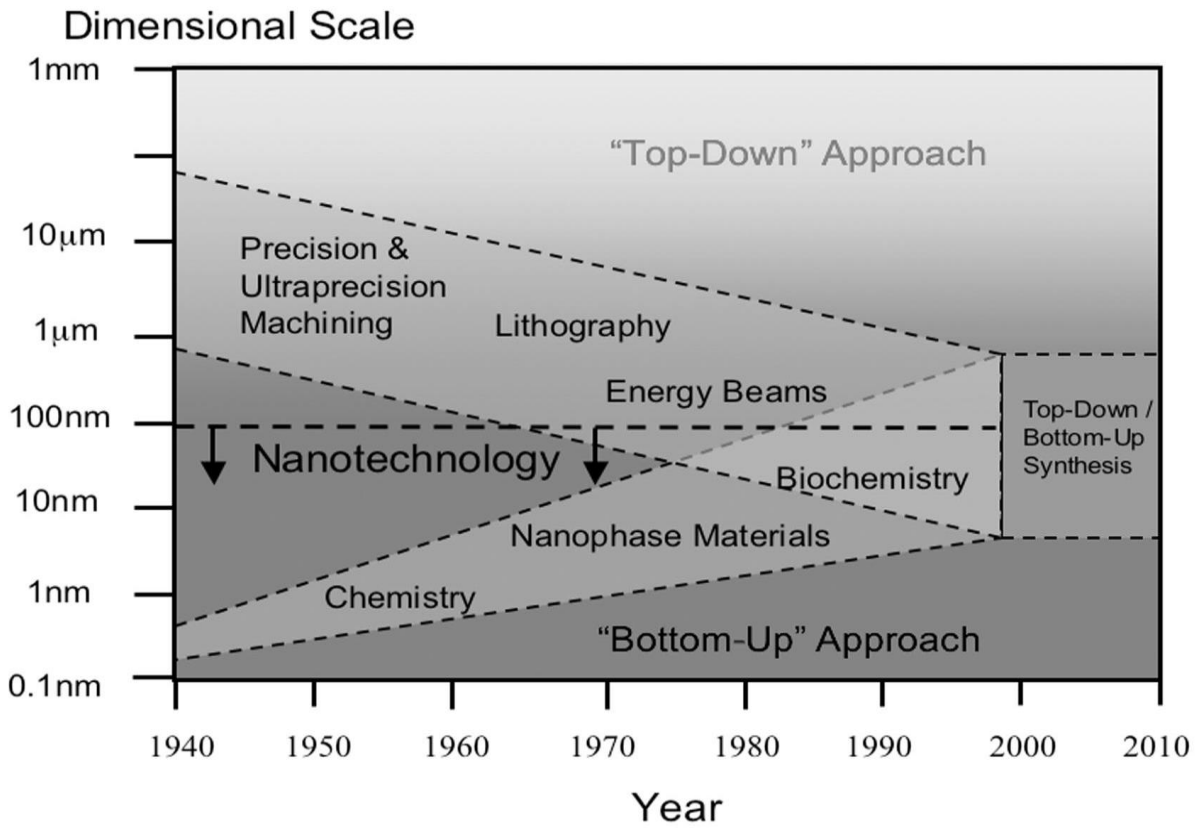
- Síntese química *(chemical synthesis)*;
- Automontagem (*self assembly)*;
- Montagem determinada (*positional assembly).*

2-Abordagem *Top-down:* Construção em menor escala que o original pela eliminação do excesso de material (miniaturização).Também chamada de "**abordagem física**", mediante três alternativas:

- Fotolitografia;
- Nanolitografia de raios de elétrons;
- Nanolitografia de raios de íons.

O que é nanotecnologia?

Já se fala na convergência das duas técnicas:

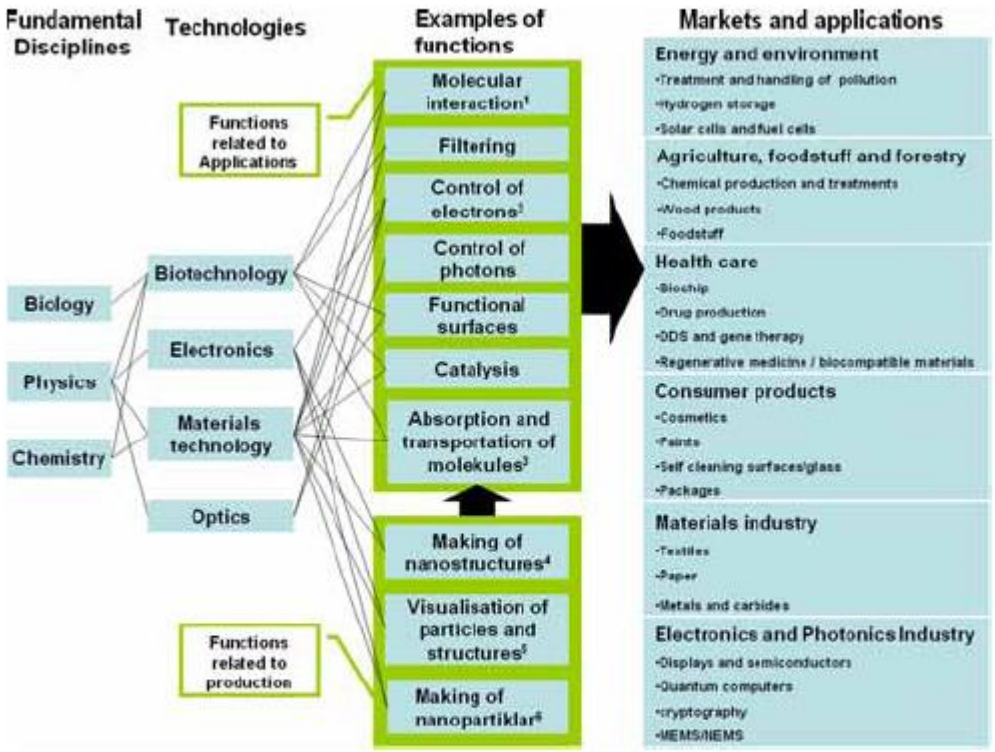


Fonte: Whatmore (2001).

Onde está a nanotecnologia?

- Nanotecnologia é um termo "guarda-chuva" para uma ampla diversidade de tecnologias;
- Requer conhecimento em diversas áreas de pesquisa científica (interdisciplinaridade): Física, Química, Biologia, Engenharias, entre outras;
- Potencial em diversas aplicações tecnológicas: Saúde e Ciências da Vida, Energia e Meio Ambiente, Eletrônica, Comunicação e Computação;
- Nanotecnologia não é um setor...
- ...está em diversos setores;
- Nanotecnologia como um conjunto de '<u>tecnologias de propósito geral</u>' que tem o potencial de afetar e se espalhar por todo o sistema econômico (e social).

Figure 1. Technological analysis of nanotechnology.



1. Including nanomagnetism.
2. Including spintronics and quantum dots, but also using carbon nanotubes.
3. For example in fullerene structures such as carbon nanotubes.
4. Using such things as lithography (atomic force microscopy (AFM) and scanning tunnelling microscopy (STM)), epitaxy and self-organisation.
5. Using such things as atomic force microscopy (AFM) and scanning tunnelling microscopy (STM).
6. Using such things as lithography and self-organisation.

Patentes de nanotecnologia

Taxa Média de Crescimento Anual do Número de Patentes Americanas nos Principais Temas de Nanotecnologia: 1981-2006

Tema	Patentes concedidas	Crescimento anual (%)	Tempo em que dobra o nº de patentes concedidas (anos)
Materiais	7.132	17	4,4
Eletrônica e Informática	5.502	16,5	4,5
NEMS*	742	16,4	4,6
Meio Ambiente	143	14,1	5,3
Metrologia	2.372	13,9	5,3
Ótica e fotônica	5.800	13,9	5,3
Energia	833	12,9	5,7
Medicina e Biologia	6.950	12,3	6,0
Nanotecnologia	**19.305**	**12,9**	**5,7**
USPTO	**2.894.359**	**4,3**	**16,3**

* *Nanoelectromechanical Systems* (Sistemas Nano Eletromecânico).
Fonte: Science-Metrix (2008); ABDI & CGEE (2010a).

Patentes de nanotecnologia

Comparação crescimento médio das patentes relacionadas à Nanotecnologia vs. Demais - Patentes concedidas USPTO

	Nanotecnologia	**Demais patentes**
Crescimento médio anual de patentes (%)		
Taxa de crescimento 1976-1989	24,1	2,4
Taxa de crescimento 1990-1999	30,0	6,1
Taxa de crescimento 2000-2004	16,5	0,7
Participação no total de patentes (%)		
1976-1989	0,02	-
1990-1999	0,19	-
2000-2004	0,45	-

Fonte: Adaptado de Wong *et al.* (2007).

2 – A Política Nacional de Nanotecnologia e a difusão da nanotecnologia no Brasil

Os primeiros passos

- Nanotecnologia ganha visibilidade como resultado da iniciativa do então MCT e CNPq com vistas ao desenvolvimento de um **programa nacional de nanotecnologia**;

- Em 2001 CNPq lança as redes de nanociência e nanotecnologia (Edital CNPq Nano nº 01/2001) e MCT inicia financiamento do 'Instituto do Milênio de Nanociências';

- Foram formadas e financiadas 4 redes a partir de 12 projetos em diversas áreas.

- As redes envolveram cerca de 300 pesquisadores, 600 estudantes de doutorado, 77 universidades e centros de pesquisa e 13 empresas;

Os primeiros passos

- Em 2003, o MCT criou o GT para elaborar o documento-base do Programa de Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia...
- ... demandas que serviram de base à elaboração e inserção do "Programa de Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia" no Plano Plurianual (PPA 2004-2007) e dos Fundos Setoriais;
- "Lei do Bem" (Lei Nº 11.196/05): mecanismo para promoção da inovação através de incentivos fiscais para empresas que realizam **atividades de P&D;**
- "Lei da Inovação" (Lei Nº 10.973/04):Ambiente para constituição de parcerias entre empresas, institutos de pesquisa e tecnológicos e universidades.

Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE) – 2004-2007

- Retomada da atuação ativa do Estado na elaboração de políticas industriais;

- **Inovação** como eixo central para aumentar a eficiência da estrutura produtiva e aumento da competitividade;

- Três eixos de atuação:

  1. Linhas de ação horizontais: Inovação e desenvolvimento tecnológico; inserção internacional; modernização industrial; capacidade de produção e escala; opções estratégicas.
  2. Promoção de setores estratégicos: Semicondutores; *software*; bens de capital; fármacos e medicamentos.
  3. Atividades portadoras de futuro: Biotecnologia; **nanotecnologia**; energias renováveis.

Programa Nacional de Nanotecnologia (PNN) – 2005-2008

1 - Colocar em prática as medidas do PITCE através do "Programa de Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia":

- Implantação de Laboratórios e Redes de Nanotecnologia;
- Apoio a Redes e Laboratórios de Nanotecnologia;
- Fomento a Projetos Institucionais de P&D em N&N;
- Gestão de Programa.

Programa Nacional de Nanotecnologia (PNN) – 2005-2008

2 - Atividades apoiadas pela “Ação transversal”:

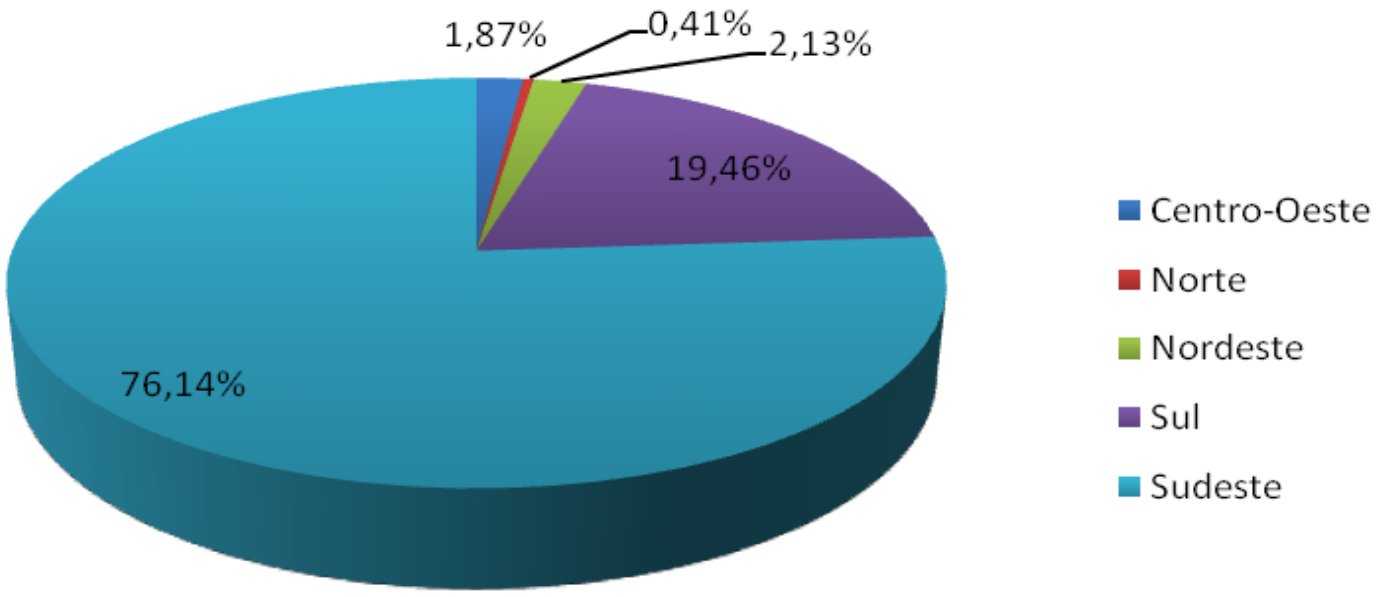
- Jovens pesquisadores;
- Programa de laboratórios nacionais;
- Programa de laboratórios estratégicos;
- Cooperação entre empresas e instituições de pesquisa;
- Programa de redes de P,D&I;
- Cooperação internacional;
- Incubadoras de empresas;
- Editoração de materiais de divulgação de nanotecnologia.

Capacidade de inovação – PINTEC 2008

- A Pesquisa de Inovação - PINTEC 2008:
  - Identificou **487 empresas** que realizaram atividades relacionadas à produção e P&D em nanotecnologia no Brasil (a partir de um universo de 106,8 mil empresas – 0,5%);
- Destas, 458 são inovadoras (de um universo de 41.262 – 1,1%);
- Essas empresas estão espalhadas em 22 atividades econômicas.

Capacidade de inovação – PINTEC 2008

Participação das empresas por Grande Região – período 2006-2008



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da PINTEC 2008.

Plano de Ação de C,T&I para Desenvolvimento Nacional (PACTI) – 2007-2010

- Reforça a preocupação do PNN para a elaboração de infraestrutura adequada de C&T nas atividades de N&N, a partir da das atividades científicas em nanociência;

- Quatro eixos de estratégicos:
  1. Expansão e Consolidação do Sistema Nacional de C,T&I;
  2. Promoção da Inovação Tecnológica nas Empresas;
  3. **P,D&I em Áreas Estratégicas (nanotecnologia);**
  4. C,T&I para o Desenvolvimento Social.

Plano de Ação de C,T&I para Desenvolvimento Nacional (PACTI) – 2007-2010

- Nova chamada pelo CNPq em 2010 para "dar continuidade ao processo de expansão das competências nacionais em N&N, através da **formação de Redes** Cooperativas Integradas de Pesquisa Básica e/ou Aplicada";

- Foram financiadas 17 redes, sendo 16 relacionadas a universidades e uma empresa pública (EMBRAPA).

Programa de Desenvolvimento Produtivo (PDP) – 2008-2010

- Programas Estruturantes para Sistemas Produtivos: Instrumentos e recursos bem definidos;

- Setores e Programas estruturantes:
  1. Programas Mobilizadores em Áreas Estratégicas:
     - Complexo Industrial da Saúde (CIS);
     - Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs);
     - Energia Nuclear;
     - Complexo Industrial da Defesa;
     - **Nanotecnologia**;
     - Biotecnologia.

     Coordenação: MCT
  2. Programas para Fortalecer a Competitividade
  3. Programas para Consolidar e Expandir a Liderança

Programa de Desenvolvimento Produtivo (PDP) – 2008-2010

- Três desafios para a nanotecnologia:

  1. Desenvolver base produtiva e tecnológica, e capacitação de RH;
  2. Atrair P&D para o Brasil;
  3. Adequar marco normativo.

Programa de Desenvolvimento Produtivo (PDP) – 2008-2010

- Principais instrumentos da política para nanotecnologia:

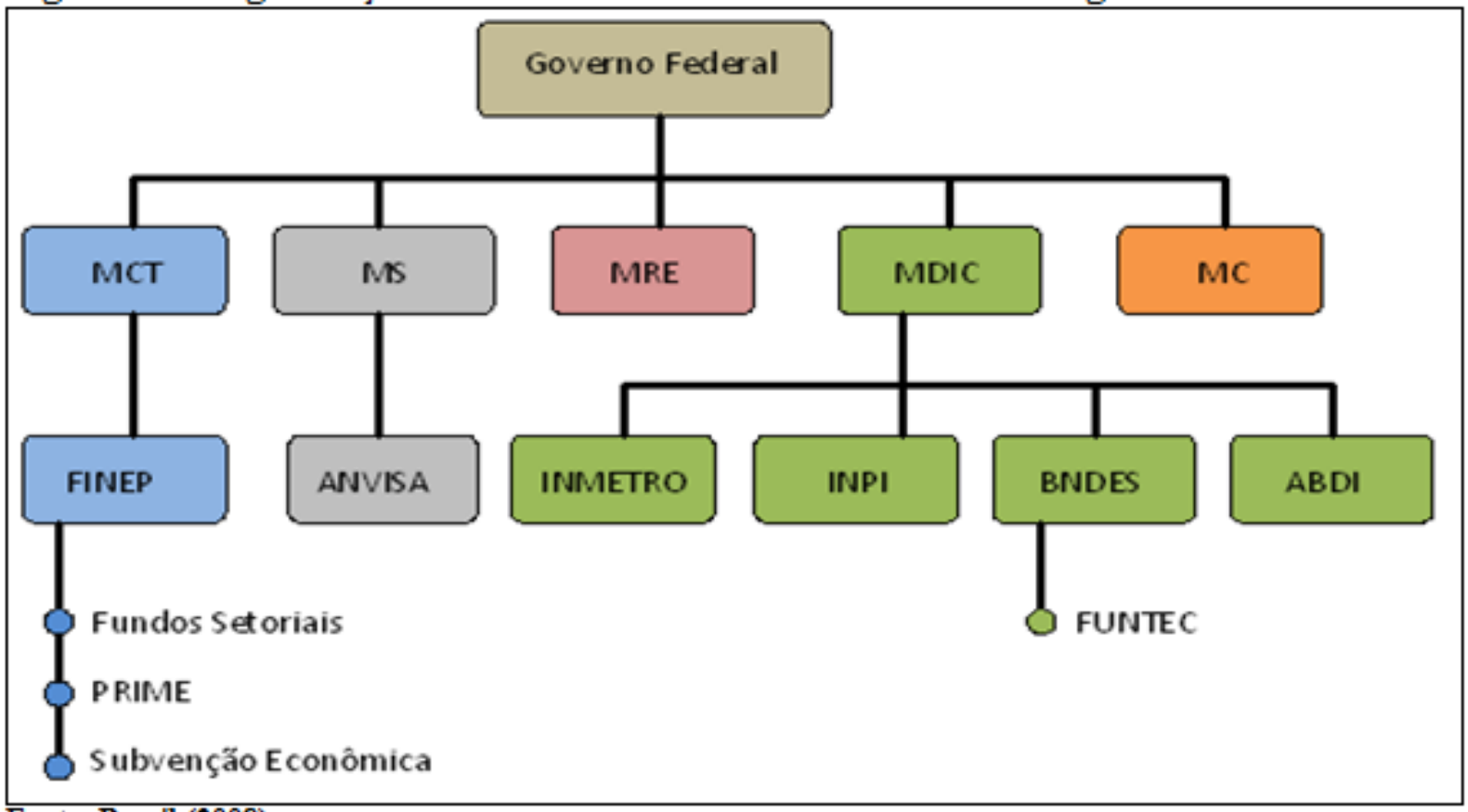
  1. Incentivos fiscais à P&D;
  2. Fundos setoriais;
  3. Subvenção econômica.

- Principais agências responsáveis:

  1. MCTI: CNPq e FINEP;
  2. BNDES.

Programa de Desenvolvimento Produtivo (PDP) – 2008-2010

Figura 7 – Organização Institucional da Área de Nanotecnologia na PDP



Fonte: Brasil (2008).

Subvenção Econômica à P&D

- Instrumento utilizado para conceder **subsídios** diretos para empresas para atividades relacionadas à **P&D**;

- O objetivo é promover as atividades inovativas baseada na ideia de que ao **compartilhar custos e riscos** as empresas seriam induzidas a incorporar inovação às suas atividades;

- Recursos disponibilizados via chamada pública e foi um dos principais instrumentos utilizados para promover **projetos de P&D e inovação** em nanotecnologia entre 2006 e 2010.

Subvenção Econômica à P&D

A Nanotecnologia na Subvenção Econômica: projetos implementados e recursos disponibilizados (2006-2013)

Subvenção Econômica (Nanotecnologia)	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Número de Projetos implementados	11	19	4	4	3	-	-	15
Total de recursos dos projetos de nanotecnologia (R$ Milhões)	10	45	5,5	4,5	3,3	-	-	42,7
Nanotecnologia como uma área prioritária	Sim	Parcial-mente	Não	Não	Não	-	-	Sim

Fonte: Elaboração própria.

Capacidade de inovação – PINTEC 2011

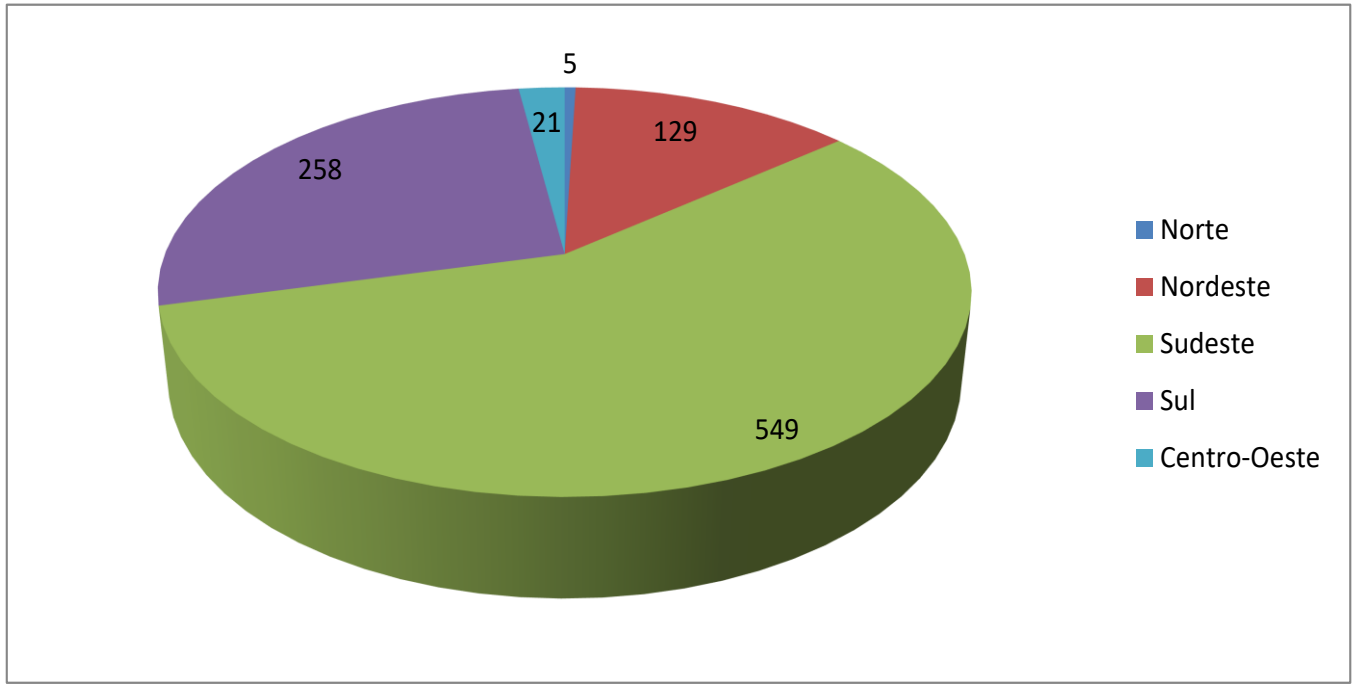
- A Pesquisa de Inovação - PINTEC 2011:
  - Identificou **1132 empresas** que realizaram atividades relacionadas ao uso, produção e P&D em nanotecnologia no Brasil (a partir de um universo de 128,7 mil empresas – 0,9%);
  - Δ132% (1.132/487) em relação ao período anterior;
- Destas, 975 são inovadoras (de um universo de 45.950 – 2,1%);
  - Δ113% (975/458) em relação ao período anterior;
- Essas empresas nas seguintes atividades:
  - Indústria (extrativa e de transformação);
  - Eletricidade e Gás;
  - Serviços selecionados + instituições de P&D (CNAE 2.0).

Capacidade de inovação – PINTEC 2011

Empresas, total e as que implementaram inovações e/ou com projetos e que realizaram atividades em nanotecnologia, segundo as atividades econômicas - Brasil - período 2009-2011						
Atividades da indústria, do setor de eletricidade e gás e dos serviços selecionados	Em nanotecnologia					
	Total	Inovadoras				
		Total	Por modo de uso			
			Usuário final	Usuário integrador	Produtor	P&D
Total	**1 132**	**975**	**563**	**317**	**66**	**123**
Indústrias extrativas	10	7	1	1	1	5
Indústrias de transformação	1 107	956	555	315	62	112
Eletricidade e gás	6	4	-	-	2	4
Serviços	9	8	7	1	1	2
Fonte: Pintec 2011						

Capacidade de inovação – PINTEC 2011

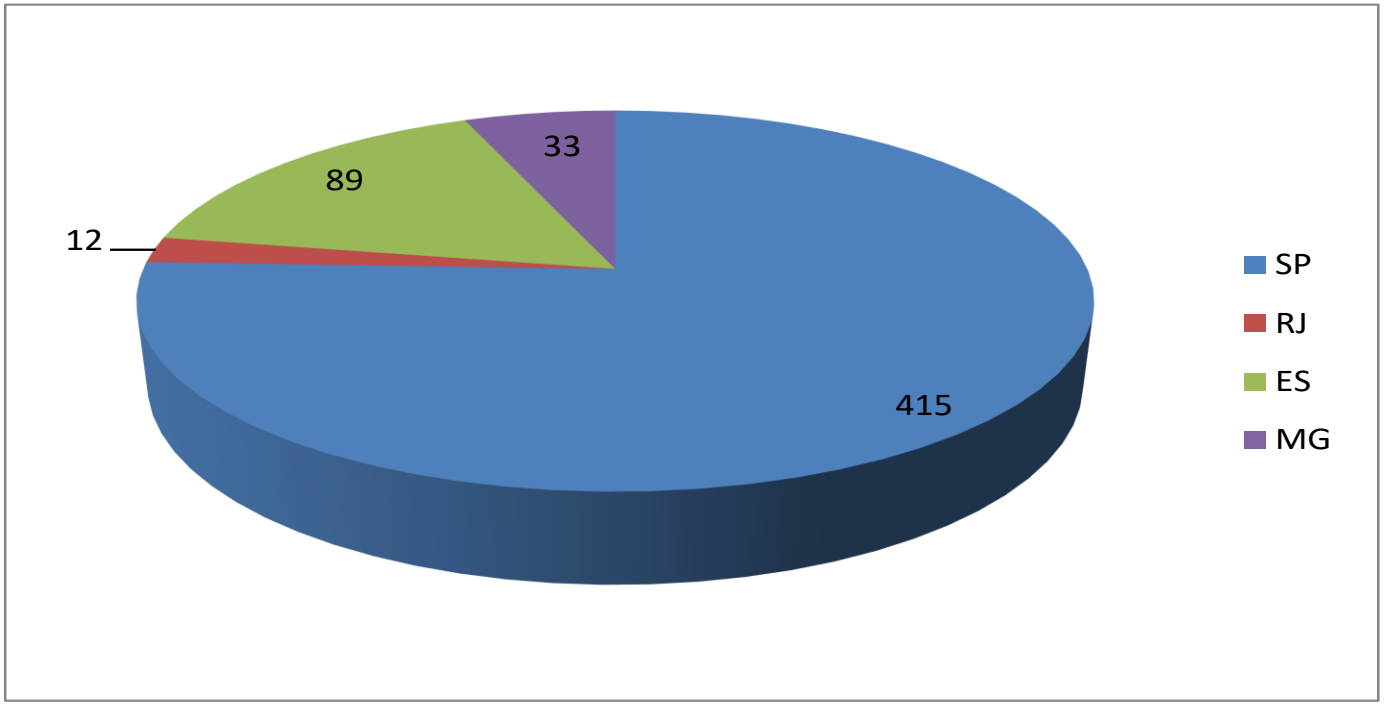
Empresas que implementaram inovações e que realizaram atividades em nanotecnologia, segundo as atividades da indústria - Grandes Regiões - período 2009-2011



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da PINTEC 2011.

Capacidade de inovação – PINTEC 2011

Empresas que implementaram inovações e que realizaram atividades em nanotecnologia, segundo as atividades da indústria – Região Sudeste - período 2009-2011



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da PINTEC 2011.

O papel das políticas na capacidade de pesquisa

- Significativo aumento de financiamento de projetos de pesquisa básica e concessão de bolsas pelo CNPq e CAPES;

  - Cursos de graduação e pós-graduação incluíram matérias ou linhas de pesquisa em nanotecnologia;

  - Primeiro curso de Graduação em Nanociências e Nanotecnologia na UFRJ em 2010, a partir da iniciativa de 4 unidades:
    - Instituto de Física (IF);
    - Escola Politécnica (poli);
    - Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho (IBCCF);
    - Instituto de Macromoléculas Professora Eloísa Mano (IMA).

  - Em 2011 teve início o curso de Engenharia em Nanotecnologia na PUC-RJ.

O papel das políticas na capacidade de pesquisa

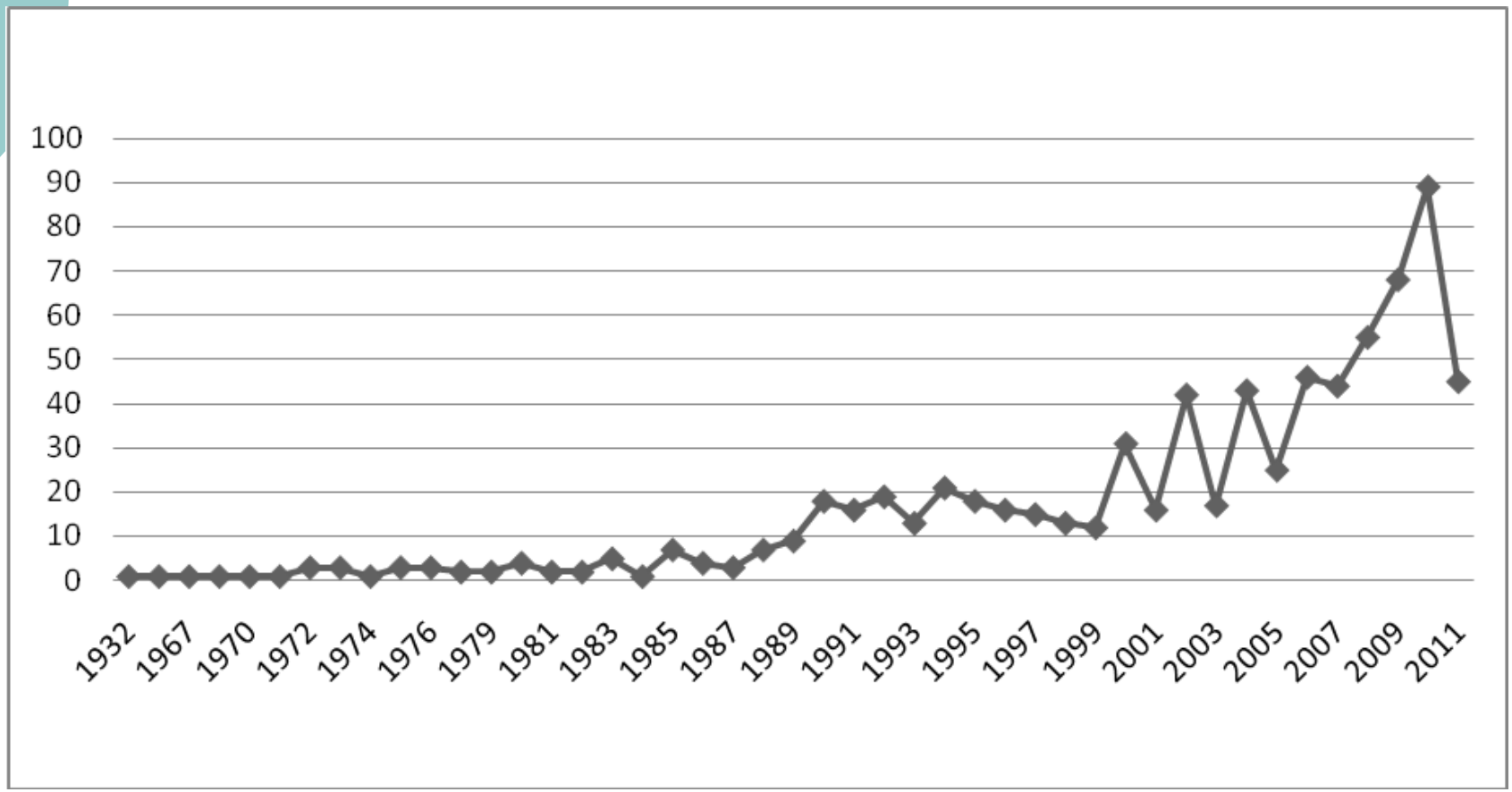
- Diretório dos Grupos de Pesquisa do CNPq (base corrente);

- Grupos de pesquisa localizados nas:
  - Universidades;
  - Instituições de ensino superior;
  - Institutos de pesquisa científica;
  - Institutos tecnológicos;
  - Laboratórios de P&D de empresas estatais ou ex-estatais.

- O levantamento **não** inclui empresas do setor produtivo.

O papel das políticas na capacidade de pesquisa

Crescimento do número dos grupos de pesquisa (por ano de estabelecimento):



O papel das políticas na capacidade de pesquisa

Tabela 9 – Número de grupos de pesquisa e pesquisadores por áreas de conhecimento - 2012

Áreas de Conhecimento	Grupos de Pesquisa	Linhas de Pesquisa	Número de Pesquisadores	Número de Estudantes	Número de Técnicos
Ciências Exatas e da Terra	391	2362	2824	3857	334
Engenharias	194	1248	1746	2218	268
Ciências da Saúde	71	364	713	959	85
Ciências Biológicas	55	351	624	780	81
Ciências Agrárias	28	223	345	365	36
Ciências Humanas e Sociais Aplicadas	9	91	94	101	13
Lingüística, Letras e Artes	1	10	15	5	2
Total	**749**	**4649**	**6361**	**8285**	**819**

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq.

O papel das políticas na capacidade de pesquisa

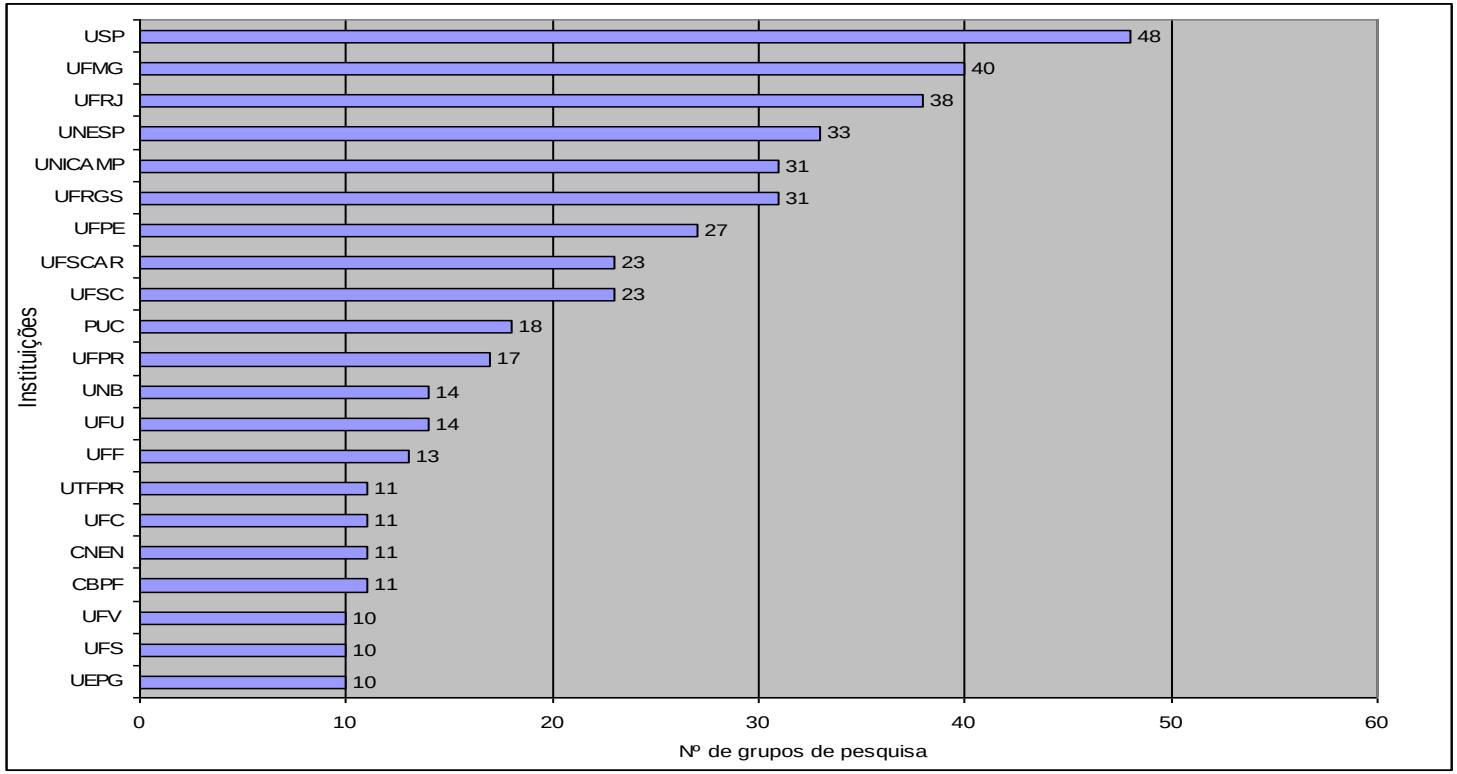
Tabela 10 – Grupos de pesquisa por subáreas de conhecimento - 2012

Subáreas de Conhecimento	Grupos	%
Física	201	26,84%
Química	185	24,70%
Engenharia de Materiais e Metalúrgica	97	12,95%
Farmácia	51	6,81%
Engenharia Elétrica	34	4,54%
Engenharia Química	23	3,07%
Ciência e Tecnologia de Alimentos	16	2,14%
Bioquímica	13	1,74%
Engenharia Mecânica	12	1,60%
Biofísica	9	1,20%
Engenharia Civil	9	1,20%
Outras	99	13,22%
Total	**749**	**100,00%**

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados do CNPq.

O papel das políticas na capacidade de pesquisa

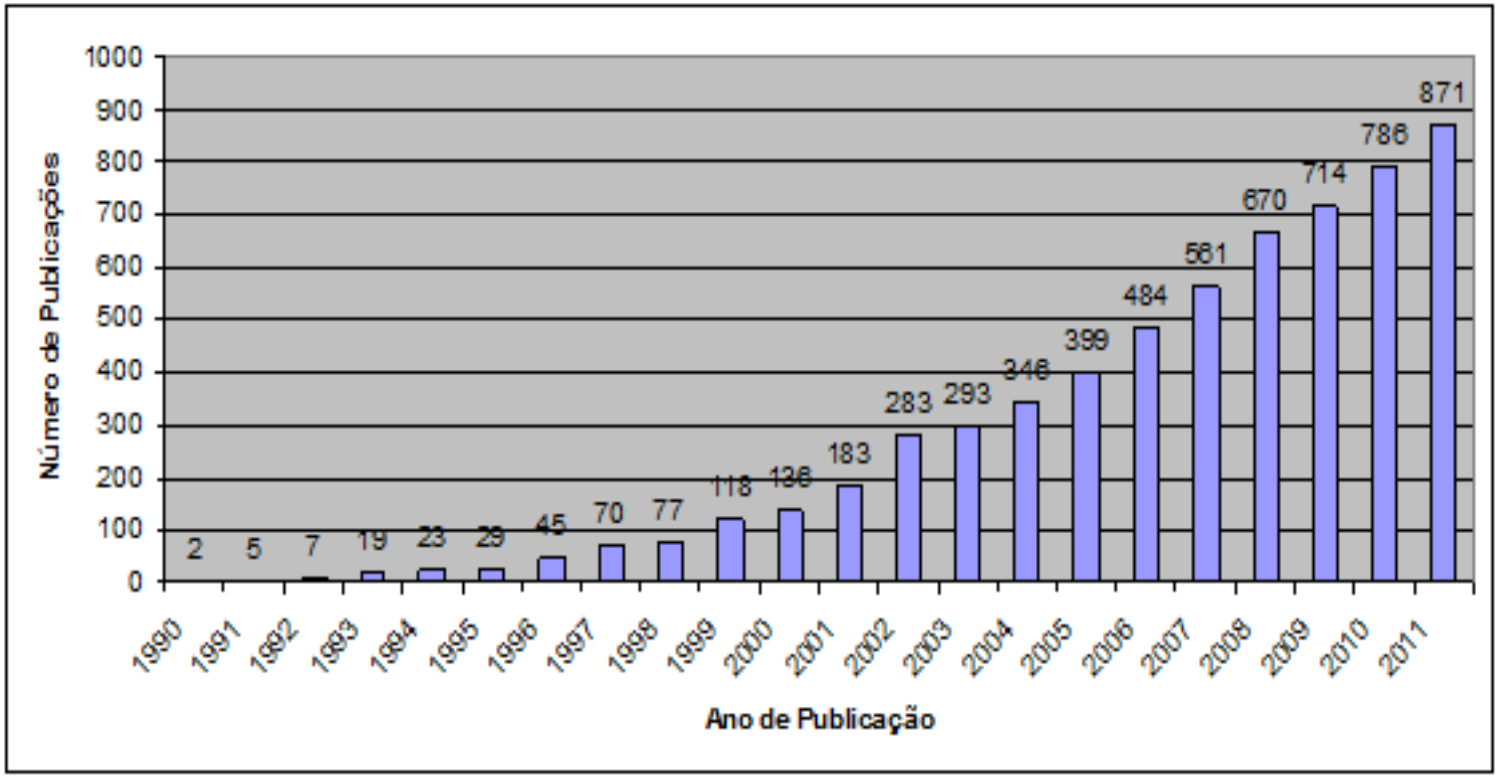
Grupos de pesquisa por instituições - 2012



Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados do CNPq.

O papel das políticas na capacidade de pesquisa

Figura 13 – Evolução das publicações de pesquisadores brasileiros em N&N – período 1990-2011



Fonte: Elaboração própria a partir da *ISI Web of Knowledge*.

Brasil Maior (2011-2014)

- Objetiva sistematizar orientações estratégicas, objetivos e metas, apresentando conjunto de diretrizes setoriais para construção das agendas estratégicas e tecnológicas de médio e longo prazo;

- Orientações no âmbito da Política de Desenvolvimento Industrial, Tecnológico, de Serviços e de Comércio Exterior para o período de 2011 a 2014.

- Não há qualquer referência à nanotecnologia...

Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (2012-2015)

- Nanotecnologia como área prioritária para crescimento e aumento da competitividade;

- Principais ações estruturantes destacadas pelo MCTI:
  I. Dar continuidade ao investimento na formação de Rh e melhoria na infraestrutura de instituições de pesquisa;
  II. Estabelecer parcerias internacionais em áreas estratégicas de interesse nacional, na formação do Centro Brasil-China em nanotecnologia, para desenvolver P,D&I em nanomateriais e nanodispositivos;
  III. Criar **políticas agressivas** para aumentar o número de empresas com P&D em nanotecnologia...

Capacidade de inovação – PINTEC 2014

- A Pesquisa de Inovação - PINTEC 2014:
  - Identificou 975 empresas que realizam atividades relacionadas ao uso, produção e P&D em nanotecnologia no Brasil (a partir de um universo de 132,5 mil empresas – 0,7%);
  - Δ14% (975/1.132) em relação ao período anterior;
- Destas, 870 são inovadoras (de um universo de 47.693 – 1,8%);
  - Δ11% (870/975) em relação ao período anterior;
- Essas empresas nas seguintes atividades:
  - Indústria (extrativa e de transformação);
  - Eletricidade e Gás;
  - Serviços selecionados + instituições de P&D (CNAE 2.0).

Capacidade de inovação – PINTEC 2014

Empresas, total e as que implementaram inovações em produto e/ou processo e que realizaram atividades em biotecnologia e/ou nanotecnologia, segundo as atividades econômicas - Brasil - período 2012-2014

Atividades da indústria, do setor de eletricidade e gás e dos serviços selecionados	Em nanotecnologia					
	Total	Inovadoras				
		Total	Por modo de uso			
			Usuário final	Usuário integrador	Produtor	P&D
Total	**975**	**870**	**527**	**223**	**133**	**159**
Indústrias extrativas	4	4	-	-	1	4
Indústrias de transformação	939	840	513	216	130	142
Eletricidade e gás	5	4	1	-	-	3
Serviços	27	22	13	7	2	9

Fonte: IBGE, Pesquisa de Inovação 2014.

- Usuário final: Δ6% (527/563);
- Usuário integrador: Δ30% (223/317);
- Produtor: Δ101% (133/66);
- P&D: Δ29% (159/123).

Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (2016-2019)

- Nanotecnologia volta como área prioritária para crescimento e aumento da competitividade;

- Principais tendências das políticas de CT&I:
  I. Novos processos produtivos;
  II. Tecnologias convergentes e habilitadoras;
  III. Fortalecimento das pesquisas em áreas de fronteira (biotecnologia, bioinformática, **nanotecnologia**, etc.)

  - PINTEC 2017...

4-Desafios para inovação: a nanotecnologia a partir de uma perspectiva sistêmica

Limitações das políticas

- Política de inovação em nanotecnologia no Brasil é consistente com seus objetivos e adequada para promover a inovação?

Políticas existentes

↓ ?

Nanotecnologia ⟷ Inovação

Esferas de análise

1 – Análise da política para nanotecnologia:

- Principais elementos da política;
- Ela é consistente?

2 – Percepção e apreensão do objeto:

- O que é nanotecnologia?
- O que é inovação em nanotecnologia?
- Quais os elementos fundamentais do processo de inovação?
- Como identificar a nanotecnologia?

3 – Possibilidade de proposição de políticas

Análise empírica

- Cadastro de empresas utilizados: 221 empresas da base da PINTEC + 37 empresas da Subvenção Econômica (FINEP): total de 258 empresas;

- Entrevista com 61 empresas (24% do total):
  - 18 empresas da Subvenção Econômica;
  - 43 empresas da PINTEC;
  - 65 projetos analisados.

Análise empírica

Objetivos:

- Identificar principais nanotecnologias utilizadas e desenvolvidas nas empresas e instituições de pesquisa;
- Identificar trajetórias em curso e/ou potencial;
- Componentes críticos para desenvolvimento dos sistemas nanotecnológicos;
- Percepção dos atores quanto às políticas.

Análise empírica

- Empresas espalhadas em 15 diferentes atividades econômicas (CNAE 2.0);
- 67% das empresas de porte médio e grande (PO>100);
- Principais nanotecnologias identificadas:
  - Nanomateriais – "Nanotecnologia de propósito geral";
  - Nanocompósitos;
  - Nanobiotecnologia.
- Principais áreas do conhecimento identificadas:
  - Química;
  - Ciências dos materiais;
  - Física;
  - Engenharia Química;
  - Biologia.

Análise empírica

- As principais aplicações:
  - Biotecnologia e biomédica;
  - Materiais avançados;
  - Energia;
  - Processamento industrial;
  - Eletrônica e comunicação;
  - Instrumentos para uso médico e odontológico;
  - Automobilística;
  - Cosméticos.

Análise empírica

Trajetórias nanotecnológicas (uma proposta analítica):

1) Nanomateriais:
   - Nanomateriais estruturais;
   - Nanomateriais compósitos;
   - Nanomateriais conducentes;
   - Nanomateriais direcionados.
2) Nanobiotecnologia:
   - Materiais nanobiotecnológicos;
   - Nanobiotecnologia para saúde humana;
   - Nanobiocombustível;
   - Nanobiotecnologia para aplicação agrícola;
   - Nanobiotecnologia para meioambiente.

Análise empírica

- Trajetórias nanotecnológicas (uma proposta analítica):

3) Nanoeletrônica:

- Nanofotônica e optoeletrônica;
- Nanodispositivos semicondutores;
- Nanodispositivos eletrônicos de nanomateriais;
- Nanoeletrônica para telecomunicações;
- Nanoeletrônica para energia.

4) Nanoenergia e Meio Ambiente:

- Biocombustíveis;
- Energia alternativa;
- Nanomateriais diversos renováveis e/ou biodegradáveis;
- Controle de defensivos agrícolas e fármacos;
- Nanodispositivos para tratamento de efluentes.

Análise empírica

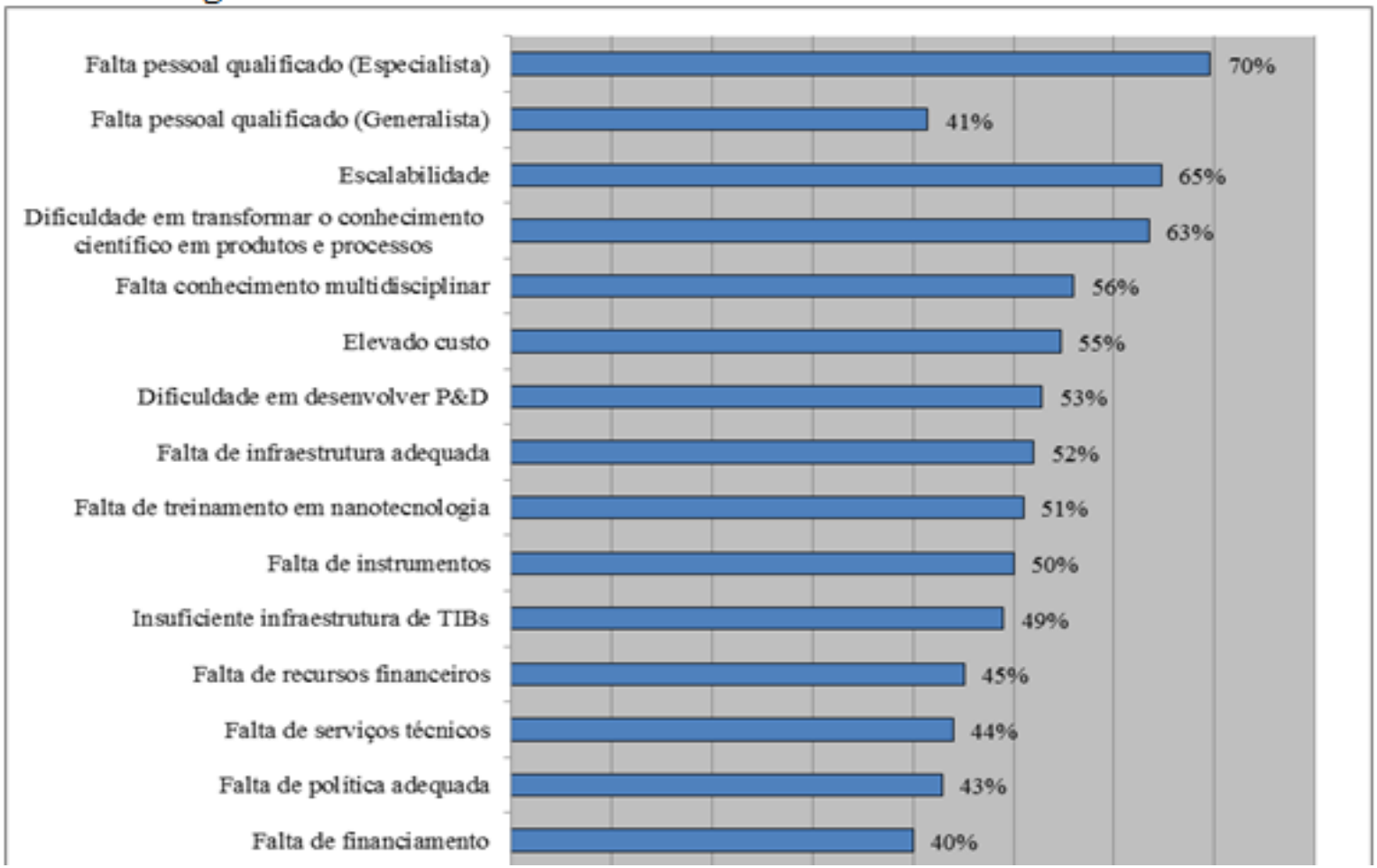
- Trajetórias nanotecnológicas (uma proposta analítica):

5) Nanomedicina, Cosméticos e Saúde:

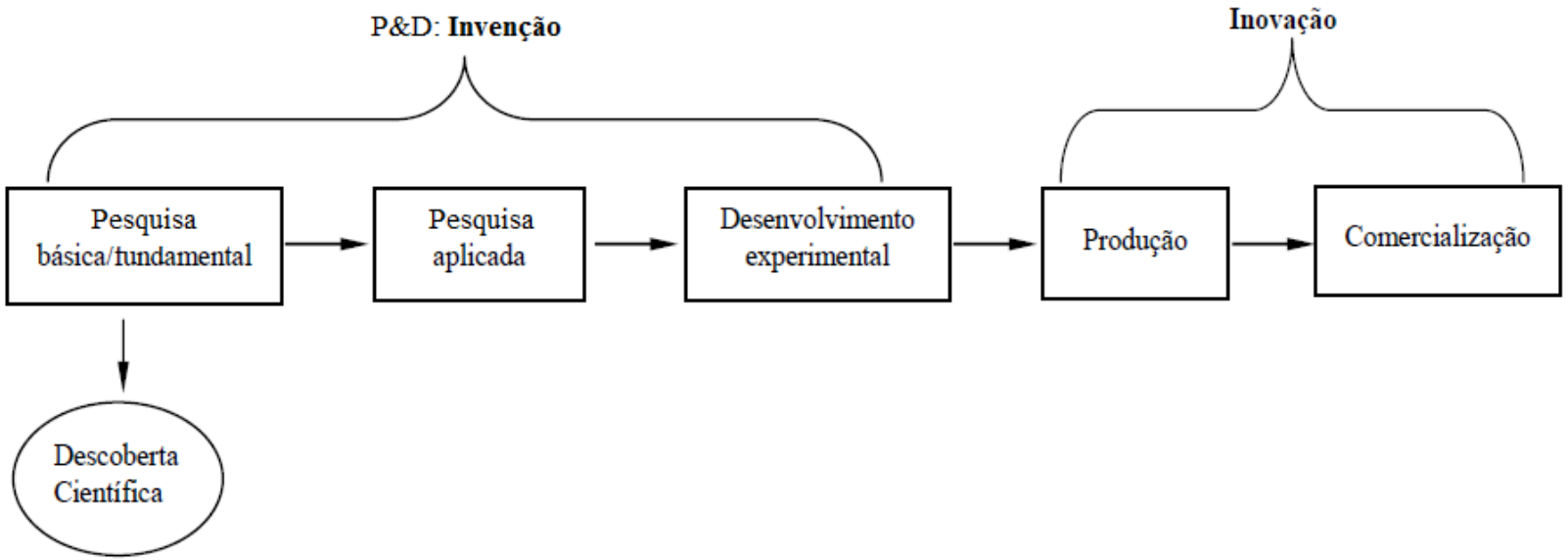
- Sistema de entrega e liberação controlada de fármacos *(drug delivery);*
- Sistema de entrega e liberação controlada de cosméticos;
- Materiais para uso médico e odontológico.

Análise empírica

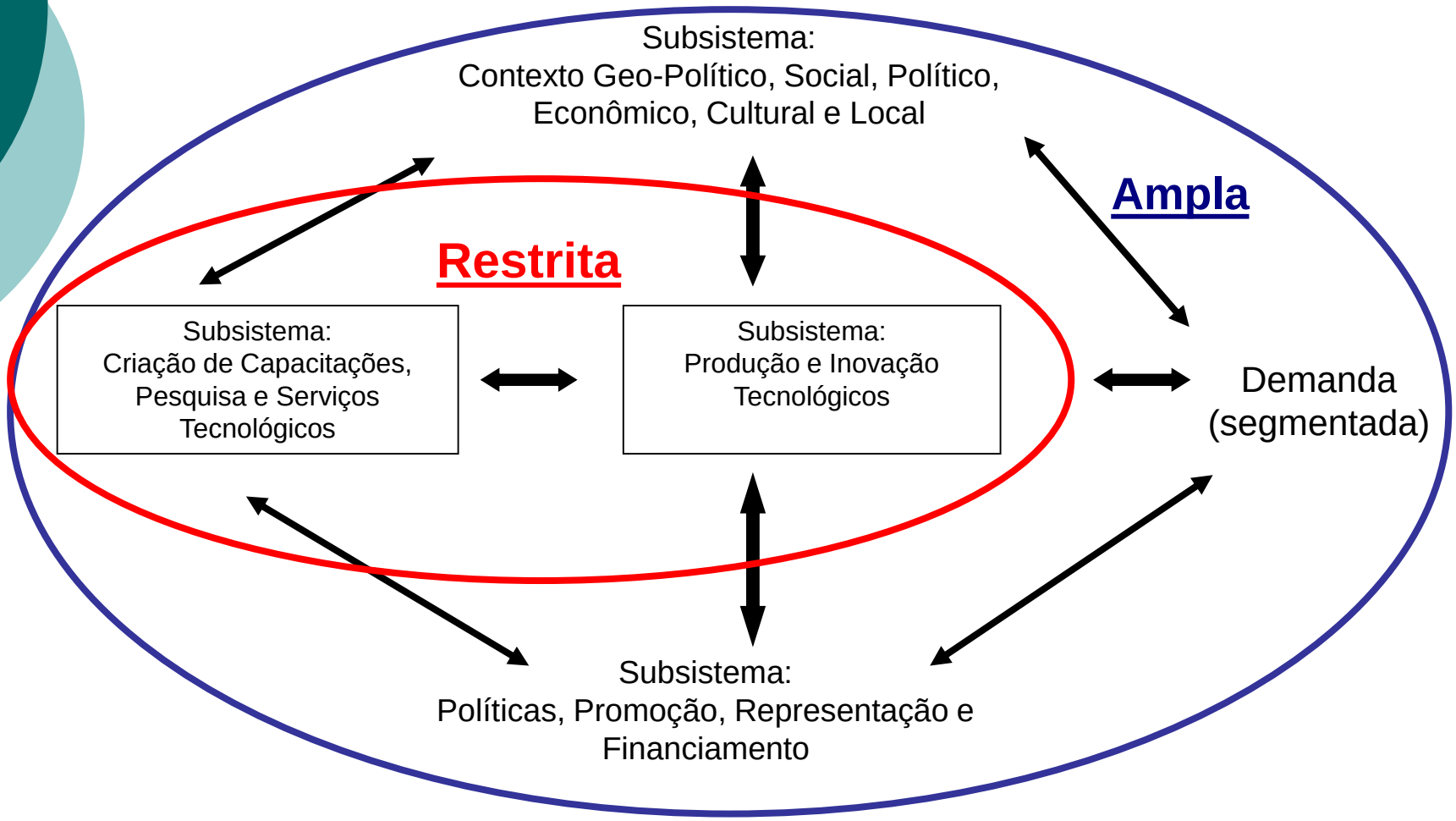
Figura 19 – Principais desafios e dificuldades para o uso e desenvolvimento de nanotecnologia



Modelo linear de inovação



O Sistema Nacional de Inovação: as concepções restrita e ampla



5- Indicadores e política de inovação

Analogia com a Teoria do Conhecimento

Empresas ⟷ Nanotecnologia

Policy Makers

↓

Como "retratar" a nanotecnologia?

- Empresas e *policy makers* atuam sobre a nanotecnologia;
- As características da nanotecnologia devem ser conhecidas pelos 'sujeitos' para que estes atuem sobre esta;
- Estruturando um quadro analítico que permita maior compreensão de como ocorre o fenômeno inovação em nanotecnologia = Pesquisa de Inovação em Nanotecnologia.

Indicadores e pesquisas de inovação

- Pesquisas de inovação baseadas em duas abordagens:
  - Abordagem do Sujeito: Comportamento inovativo ao nível da firma. Esta abordagem foca no agente inovador, no "sujeito da inovação";
  - Abordagem do Objeto: Foca no entendimento de inovações específicas. Nesta abordagem a inovação é o ponto focal.

- Indicadores de inovação em nanotecnologia (sugestão):
  - Abordagem híbrida: Comportamento inovativo no nível da firma, porém relacionado ao entendimento das inovações em nanotecnologia.

Elementos de política

- Dois tipos (âmbitos) de políticas para as nanotecnologias:

  - Abrangentes (gerais): Concepção ampla de SNI;

  - Específicas (de acordo com a nanotecnologia): Concepção restrita de SNI.

- **Identificar** as nanotecnologias, **entender** suas características e procurar definir **prioridades** estratégicas (agenda com diretrizes e ações);

- Reforçar importância de indicadores que sejam capazes de apontar a dinâmica dos sistemas nanotecnológicos.

Considerações gerais

- Papel das políticas no sentido de guiar a busca pelo novo conhecimento nas possíveis trajetórias;
- Aprendizado de política (*policy learning*) co-evolui com entendimento do processo de inovação;
- Ainda que a política seja específica para uma determinada tecnologia, atividade, setor, ela está relacionada ao âmbito mais amplo do SNI;
- Reconhecer uma tecnologia como revolucionária, promissora de mudanças radicais, e advogar pela sua exploração nos seus estágios iniciais, trata-se de uma rara (janela de) oportunidade, apesar dos riscos e incertezas envolvidos..

Obrigado!

flavio.peixoto@ibge.gov.br
flaviojmpeixoto@yahoo.com.br