

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA**

NÍVEL MESTRADO

ANDRÉ STRINGHI FLORES

**ECONOMIA DA NANOTECNOLOGIA:
Uma análise econômica da nanotecnologia no Brasil sob a perspectiva de
Sistemas Nacionais de Inovação**

**São Leopoldo
2015**

André Stringhi Flores

ECONOMIA DA NANOTECNOLOGIA:

Uma análise econômica da nanotecnologia no Brasil sob a perspectiva de Sistemas Nacionais de Inovação

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Economia, pelo Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

Orientadora: Profa. Dra. Janaína Ruffoni

São Leopoldo

2015

F634e Flores, André Stringhi
Economia da nanotecnologia: uma análise econômica da nanotecnologia no Brasil sob a perspectiva de Sistemas Nacionais de Inovação / por André Stringhi Flores. -- 2015.
136 f. : il. ; color. ; 30cm.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade do Vale do Rio dos Sinos - Unisinos. Programa de Pós-Graduação em Economia, São Leopoldo, RS, 2015.

Orientadora: Profa. Dra. Janaína Ruffoni.

1. Economia. 2. Nanotecnologia. 3. Teoria Neoschumpeteriana.
4. Sistemas Nacionais de Inovação. I. Título. II. Ruffoni, Janaína.

CDU 33: 66-965

André Stringhi Flores

ECONOMIA DA NANOTECNOLOGIA:

Uma análise econômica da nanotecnologia no Brasil sob a perspectiva de Sistemas Nacionais de Inovação

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Economia, pelo Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Aprovado em 17 de Julho de 2015.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Profa. Dra. Janaína Ruffoni

Prof. Tiago Wickstrom Alves

Prof. Fernanda Maccari Lara

Prof. Luís Humberto Villwock

AGRADECIMENTOS

À professora Janaína Ruffoni, que se dedicou integralmente a este trabalho, dando todo o apoio e o suporte necessários para a concretização desse desafio na área econômica.

À Bruna Ely, minha amiga, minha companheira, o meu grande amor. Um agradecimento especial pela compreensão de cada momento de ausência dedicado à pesquisa e ao desenvolvimento deste trabalho e pelo apoio em todos os momentos difíceis dessa jornada. Teu carinho, teu brilho e teu amor foram fonte de inspiração para superar todas as barreiras, de cabeça erguida e honestamente.

À minha família que sempre deu suporte para todas as minhas realizações.

À CAPES e ao Programa de Pós-Graduação em Economia por oportunizarem a realização do Mestrado em Economia.

“Um homem precisa viajar. Por sua conta, não por meio de histórias, imagens, livros ou TV. Precisa viajar por si, com seus olhos e pés, para entender o que é seu. Para um dia plantar as suas próprias árvores e dar-lhes valor. Conhecer o frio, para desfrutar o calor.

E o oposto. Sentir a distância e o desabrigo para estar bem sob o próprio teto. Um homem precisa viajar para lugares que não conhece para quebrar essa arrogância que nos faz ver o mundo como o imaginamos, e não simplesmente como é ou pode ser. Que nos faz professores e doutores do que não vimos, quando deveríamos ser alunos, e simplesmente ir ver”.

Amir Klink

RESUMO

O presente trabalho tem o fito precípua de analisar o cenário econômico da nanotecnologia no Brasil à luz de experiências internacionais selecionadas sob o prisma de Sistemas Nacionais de Inovação. A proposta de contribuição deste trabalho está centrada na ampliação da escassa literatura sobre a temática, especialmente sob o viés analítico dos Sistemas Nacionais de Inovação. O trabalho em um primeiro momento analisa os principais conceitos, características e as funcionalidades da nanotecnologia. A partir da contextualização e caracterização, o estudo avança, dedicando-se a ingressar na teoria econômica com vistas a buscar os fundamentos analíticos que sustentam a análise da nanotecnologia sob a ótica dos Sistemas Nacionais de Inovação. Sob o viés de SNI, analisam-se, posteriormente, experiências internacionais de países selecionados: EUA, Alemanha, Rússia e China, bem como da União Europeia, tentando a compreensão da criação de iniciativas nacionais focadas no desenvolvimento da nanotecnologia. À luz dessas experiências, por fim, busca-se compreender o cenário econômico da nanotecnologia no Brasil através de uma análise das dimensões científica, tecnológica-industrial e político-regulatória ao longo dos últimos anos (2000 a 2013), uma vez que essas dimensões possibilitam o aporte ao entendimento de fatores que auxiliam a análise econômica, considerando a linha neoschumpeteriana. Em linhas gerais, é possível depreender-se das experiências internacionais que todos os países estudados possuem Iniciativas Nacionais já consolidadas, com mais de 10 anos de experiências, e se caracterizam: a) pelo estímulo de atividades de inovação com interação entre Universidades e Empresas; b) pela realização de investimentos públicos em projetos para desenvolvimento da nanotecnologia em empresas; c) pelo destaque mundial na produção científica e em depósitos de patentes; e d) pela criação de marcos regulatórios e de definições, conceitos e limites de aplicações em nanopartículas na indústria. No que tange aos resultados encontrados no estudo, referente ao Brasil, verifica-se um incipiente ambiente de promoção e de incentivo à nanotecnologia no Brasil, especialmente em termos de estrutura de atividades de pesquisa aplicada, de fomento de atividades de Interação Universidade-Empresa e de inexistência de marcos regulatórios. Contudo, é possível a visualização, partir da análise do cenário das referidas dimensões, de bons resultados nos planos de produção científica (18º colocação no *ranking*

mundial, conforme dados de 2011) e de depósitos de patentes (13º colocação no *ranking* mundial, conforme dados de 2011) se comparado a países líderes, seus respectivos investimentos e suas dimensões referentes à criação de iniciativas nacionais em nanotecnologias já há anos consolidadas. Em termos de contribuição teórica, destaca-se a apresentação da discussão a respeito da nova onda nos SNI com a chegada da nanotecnologia. Conclui-se também pela grande lacuna, em uma perspectiva de agenda de pesquisa, lançando-se o desafio de novos estudos sobre a temática.

Palavras-chave: Nanotecnologias. Inovação. Economia. Teoria Neoschumpeteriana. Sistemas Nacionais de Inovação.

ABSTRACT

This work has the aim of analyzing the economic scenario of nanotechnology in Brazil in the light of international selected experiences under the prism of National Innovation Systems. The contribution proposed by this research is focused on expanding the scarce literature on this subject, especially in the analytical bias of National Innovation Systems. The work at a first moment analyzes the main concepts, features and functionality of nanotechnology. From the contextualization and the characterization, the study advances, dedicating up to enter in the economic theory in order to get the analytical foundations underpinning the analysis of nanotechnology from the perspective of National Innovation Systems. Under the bias of SNI, we will analyze, posteriorly, international experiences of selected countries: USA, Germany, Russia and China, as well as European Union, attempting to understand the creation of national initiatives focused on the development of nanotechnology. In light of these experiences, finally, we seek to understand the economic scenario of nanotechnology in Brazil through an analysis of the scientific, technological-industrial, political and regulatory dimensions over the past years (2000-2013), since these dimensions will enable the contribution to the understanding of factors that support the economic analysis, considering the neoschumpeterian line. Generally speaking, it is possible to infer from international experiences that all the countries studied have national initiatives already consolidated, with over 10 years of experience, and are characterized by: a) the encouragement of innovation activities with interaction between universities and companies; b) carrying out public investment in projects for the development of nanotechnology in companies; c) the world highlight in the scientific literature and patent applications; d) the creation of regulatory frameworks and definitions, concepts and application limits on nanoparticles in the industry. With respect to the results found in the study, referring to Brazil, there is an incipient environment of promotion and encouragement of nanotechnology in Brazil, especially in terms of structure to applied research activities, promotion of university-industry interaction activities and the absence of regulatory frameworks. However, it is possible to visualize, from the analysis of these dimensions scenario, good results in terms of scientific production (18th place in the world ranking, according to data of 2011) and patent deposits (13th place in the world ranking, according to data of 2011) compared to leading countries, their investments and its dimensions referent to the creation of national initiatives in nanotechnology which was

years ago consolidated. In terms of theoretical contribution, is highlighted the discussion of the new wave in SNI with the arrival of nanotechnology. It also concluded that there is a large gap, in a perspective of research agenda, launching the challenge of new studies on the subject.

Keywords: Nanotechnologies. Innovation. Economy. Neoschumpeterian Theory. National Innovation Systems.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Setores de atividades industriais em nanotecnologia.....	34
TABELA 2 - Criação de Marcos Regulatórios em Nanotecnologias nos EUA.....	60
TABELA 3 - Cronologia de Ações da UE em Nanotecnologia	69
TABELA 4 - Principais Marcos Regulatórios da UE	72
TABELA 5 - Marcos Regulatórios em Nanotecnologia na China.....	77
TABELA 6 - Quantidade e Percentual de Publicações (artigos publicados em periódicos extraídos da base de dados ISI <i>Web of Knowledge</i>) por áreas temáticas em nanotecnologia, no período de 2001 a 2011, no Brasil	96
TABELA 7 - <i>Ranking</i> em Produção Científica (quantidade de artigos publicados por países em periódicos extraídos da base de dados ISI <i>Web of Knowledge</i>) em Nanotecnologia no período de 2010 a 2013	97
TABELA 8 - Produção Científica (quantidade de artigos publicados por países em periódicos extraídos da base de dados ISI <i>Web of Knowledge</i>) em Nanotecnologia no período de 2010 a 2013	97

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - Investimentos públicos e privados em nanotecnologia no mundo (trilhões de dólares).....	56
GRÁFICO 2 - Investimentos Públicos em Nanotecnologias nos Estados Unidos (milhões de dólares).....	63
GRÁFICO 3 - Investimentos Públicos da UE em Nanotecnologia (milhões de dólares)	71
GRÁFICO 4 - Evolução da produção científica (artigos publicados em periódicos extraídos da base de dados ISI <i>Web of Knowledge</i>) em Nanotecnologia, no Brasil, de 1990 a 2011	94
GRÁFICO 5 - Universidades com maiores quantidades de publicações (artigos publicados em periódicos extraídos da base de dados ISI <i>Web of Knowledge</i>) entre o período de 2001 a 2011	95
GRÁFICO 6 - Quantidade de Depósitos de Patentes (por critério de prioridade) extraído da base de dados da USPTO atinente ao período 1981 a 2006	98
GRÁFICO 7 - Quantidade de Depósitos de Patentes em Nanotecnologia no 2º Semestre de 2010 por Critério de Prioridade - extraído da base de dados do INPI..	99
GRÁFICO 8 - Classificação Internacional de Patente (CIP) com maior número de ocorrências nas tecnologias relacionadas à nanotecnologia no mundo, referente ao 2º semestre de 2010 (extraído da base de dados INPI).....	100
GRÁFICO 9 - Quantidade de Depósitos de Patentes em Nanotecnologia no 1º Semestre de 2011 por Critério de Prioridade (extraído da base de dados do INPI)	101
GRÁFICO 10 - Classificação Internacional de Patente (CIP) com maior número de ocorrências nas tecnologias relacionadas à nanotecnologia no mundo, referente ao 1º semestre de 2011 (extraído da base de dados INPI).....	102
GRÁFICO 11 - Depósitos de Patentes em Nanotecnologia no Brasil por critério de prioridade no período de 1991 a 2010 (base de dados INPI).....	103
GRÁFICO 12 - Localização das Universidades por Quantidade de Projetos de Interação com Empresas (Distribuição por Estados Federativos dentro do Território Brasileiro)	107
GRÁFICO 13 - Percentual de Concentração de Projetos de Interação em Universidades em Relação ao Total de Interações (49).....	107

GRÁFICO 14 - Localização das Empresas que Interagem com Universidade em Projetos de Nanotecnologia (Distribuição por Estados Federativos dentro do Território Brasileiro).....	108
GRÁFICO 15– Percentual de Empresas com Interação com Universidades por Número de Funcionários	108
GRÁFICO 16 - Fontes de Interação em Nanotecnologia por tamanho de empresa (estudo da OCDE).....	109
GRÁFICO 17 - Áreas do conhecimento das interações	110
GRÁFICO 18 - Tipo de interação realizada entre Universidade-Empresa	111
GRÁFICO 19 - Setor industrial das empresas analisadas	111

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Linha do Tempo da evolução da Nanotecnologia.....	27
FIGURA 2 - SisNano	91
FIGURA 3 - Representação do Mapa Estratégico: Prioridades de Ações.....	92

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1- Prefixos, Ordem de grandeza e Metragem.....	28
QUADRO 2 - Comparação da Nanotecnologia com outras propriedades.....	29
QUADRO 3 - Quadro Sistemático	79
QUADRO 4 - Políticas e Ações de Promoção e Incentivo à Nanotecnologia no Brasil até 2008	89

LISTA DE SIGLAS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
BMBF	Ministério Federal Alemão de Educação e Pesquisa
BMU	Ministério Federal do Meio Ambiente, Conservação da Natureza e Segurança Nuclear
CE	Comissão Europeia
CIP	Classificação Internacional de Patentes
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CT&I	Ciência, Tecnologia e Inovação
DGP	Diretório de Grupos de Pesquisa
EUA	Estados Unidos da América
FDA	<i>Food and Drug Administration</i>
GAQSIQ	<i>General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine</i>
GERD	<i>Gross Domestic Expenditure on Research and Development</i>
IBN	Iniciativa Brasileira em Nanotecnologia
ICT	Instituições de Ciência e Tecnologia
INPI	Instituto Nacional de Propriedade Industrial
IERA	<i>Integrated European Research Area</i>
IUE	Interação Universidade-Empresa
IWGN	Grupo Interinstitucional de Trabalho sobre Nanociência, Engenharia e Tecnologia
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
N&N	Nanotecnologia e Nanociência
NNI	<i>National Nanotechnology Initiative</i>
NSTC	Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia - <i>National Science and Technology Council</i>
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PACTI	Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação
PD&I	Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação

PDP	Política de Desenvolvimento Produtivo
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PITCE	Política Industrial, Tecnológica e do Comércio Exterior
PME	Pequenas e Médias Empresas
PNN	Programa Nacional de Nanotecnologia
PPA	Plano Plurianual
SAC	<i>Standardization Administration of China</i>
SISNANO	Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias
SNI	Sistema Nacional de Inovação
TIC	Tecnologias da Informação e da Comunicação
TIS	Sistema de Inovação Tecnológica
UE	União Europeia
USPTO	<i>United States Patent and Trademark Office</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 A REVOLUÇÃO DAS NANOTECNOLOGIAS: DIMINUINDO TAMANHOS, AUMENTANDO DESAFIOS?	24
2.1 ASPECTOS HISTÓRICOS E CONCEITUAÇÃO	26
2.2 CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES DA NANOTECNOLOGIA	30
2.3 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO.....	39
3 SISTEMAS NACIONAIS DE INOVAÇÃO: REFERENCIAL ANALÍTICO DE AMPARO À ANÁLISE DO CENÁRIO ECONÔMICO DA NANOTECNOLOGIA	42
3.1 SISTEMAS NACIONAIS DE INOVAÇÃO: UM REFERENCIAL ANALÍTICO	42
3.2 SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO E NANOTECNOLOGIAS: FUNDAMENTOS PARA A ANÁLISE DO AMBIENTE DA NANOTECNOLOGIA	45
3.2.1 Da geração da inovação no Sistema Nacional de Inovação: modelos de inovação e de aprendizado.....	46
3.2.2 Nanotecnologia: uma “nova onda” no Sistema Nacional de Inovação? ...	50
3.3 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO.....	53
4 EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS AO DESENVOLVIMENTO DA NANOTECNOLOGIA	55
4.1 A TRAJETÓRIA AMERICANA E A ALEMÃ EM NANOTECNOLOGIA: “MOLDANDO O MUNDO ÁTOMO A ÁTOMO”?	57
4.2 UNIÃO EUROPEIA (UE): UM MODELO DE SISTEMA TECNOLÓGICO DE INOVAÇÃO EM NANOTECNOLOGIAS?	67
4.3 EXPERIÊNCIAS DE RÚSSIA E CHINA NO FOMENTO DA NANOTECNOLOGIA	73
4.4 QUADRO SISTEMÁTICO	78
4.5 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO.....	80
5 CENÁRIO DA NANOTECNOLOGIA NO BRASIL.....	83
5.1 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO BRASILEIRO	83
5.2 UM PANORAMA DO SNI DE NANOTECNOLOGIA NO BRASIL	85
5.2.1 Ações brasileiras de incentivo e de promoção à nanotecnologia: antecedentes políticos-institucionais e aportes da sua evolução no tempo.....	86
5.2.2 A dimensão científica.....	93

5.2.3 Dimensão tecnológica-Industrial: Evidências do Diretório do Grupo de Pesquisa do CNPQ - Censo de 2010.....	103
5.2.3.1 Procedimentos de pesquisa a partir do Diretório dos Grupos de Pesquisa do CNPQ – Censo 2010.....	104
5.2.3.2 Resultados e Evidências encontradas.....	106
5.2.4 Dimensão político-regulatória: a regulação do “invisível”?.....	112
5.3 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO.....	115
6 CONCLUSÃO	120
REFERÊNCIAS.....	127

1 INTRODUÇÃO

De tempos em tempos surgem novas tecnologias com o potencial de gerar impactos paradigmáticos, ou seja, de modificar a configuração econômica e social de toda uma era. A nanotecnologia (LAMPTON, 1994; OZZIN, 2005; TEDESCO, 2007; DREXLER, 1986) tem sido considerada uma nova tecnologia com potencial de se “tornar uma das principais tecnologias-chave do século XXI” (MYAZAKI; ISLAM, 2007).

Desenvolvimento de materiais inteligentes, como artigos esportivos mais leves, rápidos e aerodinâmicos; cosméticos que agem nas camadas mais profundas da pele; maior velocidade de processamento de dados; alimentos mais bem conservados por embalagens comestíveis ou que mudam de nuances conforme o tempo de envasamento; materiais que absorvem toda a energia do impacto; bem como, as mais variadas aplicações dessa tecnologia (STRINGHI FLORES, et al., 2010) a caracterizam como sendo o que Richard Philip Feynmann (FEYNMANN, 2006) afirmou em 1959, na palestra intitulada de “*Plenty of Room at the Bottom*”,¹: “uma nova etapa da Revolução Industrial”.

A multiplicidade de aplicações é a principal característica dessa nova tecnologia, que vem ganhando cada vez mais espaço dentro de laboratórios de pesquisa e desenvolvimento (P&D) de universidades e de empresas. Uma das suas características é poder influenciar as inovações em vários setores e diversas áreas. Os investimentos industriais estão, desde a última década, crescendo, sendo que a estimativa projetada para 2015 ultrapassa a casa de US\$ 3,1 trilhões (MOTTA; ABULQUERQUE, 2008).

Shelley (2006) menciona que se trata de uma nova fase industrial. O cenário que está sendo delineado orienta para um crescimento exponencial de novos produtos e processos industriais que utilizam escala nanométrica já em um futuro próximo, evidenciando padrões de mudança técnica e orientando para o que parece ser uma nova “trajetória baseada em ciência” (PAVITT, 1984, p. 334).

Dentro deste breve contexto, entende-se que compreender o desenvolvimento da nanotecnologia é uma oportunidade de estudar uma tecnologia com potencial paradigmático, pois se refere a um processo em formação e em

¹ Feynmann afirmou, nessa oportunidade, ser possível introduzir todo o conteúdo da Enciclopédia Britânica na cabeça de um alfinete.

constante evolução, engendrando diversas oportunidades técnicas e econômicas ainda inexploradas.

Trata-se de uma nova tecnologia denominada pela literatura de “tecnologia de propósito geral”, com potencial revolucionário, cujas principais características estão diretamente relacionadas ao alto grau de cumulatividade e de apropriabilidade privada² do conhecimento técnico-científico, bem como, no que toca aos impactos na dinâmica e no desenvolvimento industrial (PIB, 2009, p. 82), sendo considerada pela OCDE como:

The new general purpose technology of 21st Century technology that develops rapidly in terms of its ability to offer new functionalities and better performance in existing products and processes. It has different uses in a broad range of industries and promotes structural and organizational changes in terms of business models and company and industry dynamics (OCDE, 2010, p. 14).

O mesmo estudo ilustra que a nanotecnologia é um campo complexo, multidisciplinar e dependente de várias disciplinas científicas, de instrumentação avançada e de pesquisadores e de engenheiros com alto nível de conhecimento (OCDE, 2010, p. 62). Tal complexidade, conforme Paranhos (2012), aumenta o interesse pelo estudo da criação do conhecimento técnico-científico, fonte primária de inovações e, em particular, pela interação entre Universidade e Empresa. Destarte, ao se falar em nanotecnologias, duas características, necessariamente, estão presentes: altos níveis de investimentos e alto grau de base científica.

Em linhas gerais, a literatura neo-schumpteriana demonstra que as inovações são capazes de gerar uma série de mudanças nos diversos sistemas tecnológicos vigentes, afetando (ou com potencial de afetar) a economia de forma ampla. Tais mudanças trazem consigo uma série de oportunidades e também possíveis trajetórias que, para se manifestarem na sua plenitude, ou seja, para que ocorra sua difusão, dependem, sobretudo, de arranjos institucionais que podem se configurar de diversas formas no espaço e no tempo (PEIXOTO, 2010). Essas mudanças dizem respeito, sobretudo, à conformação de um arcabouço técnico, econômico, social e institucional, organizado de forma sistêmica, que possibilite a formação, comunicação, interligação e consolidação desta nova configuração, abrindo novos caminhos para um novo ciclo de desenvolvimento baseado na sua difusão.

² Para fins de aprofundamento do conceito, ver: DOSI, 2010, p. 62.

Fatores econômicos e sociopolíticos são também importantes na determinação de trajetórias tecnológicas em diferentes países. Assim, o processo de busca e seleção de firmas (NELSON; WINTER, 1982) ocorre dentro de um ambiente específico, no qual a qualidade das instituições técnicas e científicas, das estratégias do setor privado, dos estímulos e dos financiamentos às inovações cumpre papel fundamental para desenvolvimento da inovação. O Estado possui função de atuação particularmente importante na concepção do ambiente no qual essa nova trajetória de desenvolvimento será configurada. Tal função está relacionada à elaboração e à coordenação de políticas e de ações que estimulem e criem as condições necessárias para que esta nova concepção sobrevenha.

Conforme se depreende de informações extraídas da estratégia brasileira de CT&I (Ciência, Tecnologia e Inovação) do MCTI (Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação), a nanotecnologia tem sido considerada como tecnologia estratégica para o desenvolvimento do país, sendo denominada pelo Governo Brasileiro de “tecnologia portadoras do futuro” (MCT, 2012). Tal iniciativa está contextualizada no âmbito da retomada de políticas públicas visando o aumento da competitividade da indústria brasileira através do desenvolvimento tecnológico e inovativo do país.

Diante do contexto acima esboçado, insere-se a delimitação do tema do presente projeto de dissertação, na medida em que a pesquisa busca responder a seguinte definição de problema: quais são as principais características do cenário econômico da nanotecnologia no Brasil?

Buscar-se-á responder a essa pergunta à luz de experiências internacionais selecionadas sob o prisma de Sistemas Nacionais de Inovação, perspectiva esta que conduz ao seguinte objetivo geral: compreender o cenário econômico da nanotecnologia no Brasil com o amparo de experiências internacionais selecionadas sob o prisma de Sistemas Nacionais de Inovação.

No que se refere aos objetivos específicos, busca-se:

- a) Analisar o conceito, as características e a funcionalidade das nanotecnologias;
- b) Analisar experiências internacionais selecionadas de desenvolvimento da nanotecnologia nos EUA, na Alemanha, na União Europeia, na Rússia e na China.

c) Identificar o cenário econômico da nanotecnologia no Brasil nos últimos anos (2000 a 2013).

Um elemento fundamental dos países que conseguiram equiparar-se, com sucesso, aos países líderes, durante os séculos XIX e XX, residiu no ativo apoio governamental ao processo de emparelhamento, envolvendo várias formas de proteção e de subsídios diretos ou indiretos e de políticas voltadas para seus Sistemas Nacionais de Inovação (CIMOLI, et al, 2007, p. 66). A percepção de que a nanotecnologia representa um novo patamar do conhecimento, tem levado diversos países líderes, como EUA, Alemanha, Rússia, Japão e, também, a União Europeia, a desenhar iniciativas nacionais de incentivo e de financiamento privilegiado à área, visando novos níveis de competitividade de suas empresas, justificando a presente pesquisa.

Programas de estímulos na área já foram iniciados em diversos países desde o início dos anos 2000 (JU JUNG; LEE, 2013), tomando destaque a política americana do NNI (*National Nanotechnology Initiative*) criada por Clinton, em 21 de janeiro de 2000. Na Alemanha, desde o início dos anos 90, tem-se considerado a nanotecnologia como setor estratégico, possuindo agenda política fomentada pelo Ministério Alemão de Educação e Pesquisa (SCHAPER-RINKEL, 2013, p.446). No mesmo sentido, a Rússia, em meados 2006, já a considerava prioridade estratégica em CT&I do país, com implementação, a partir de 2007, de um forte programa de incentivo financeiro e de apoio tecnológico às empresas com a criação do *Program of Nanotechnology Development in the Russian Federation*, programa que contempla mais de 740 membros (GOKHBERG, 2012, p. 162).

Nesse contexto, entender o cenário econômico desenvolvido pelo Brasil para a nanotecnologia torna-se de fundamental importância para evidenciar as perspectivas de oportunidades e de desafios ao Brasil e a construção de políticas de promoção e incentivo para essa nova tecnologia no Século XXI.

Diante do exposto, a proposta de contribuição deste trabalho está centrada na ampliação da escassa literatura sobre a temática econômica das nanotecnologias e seus desdobramentos, especialmente sob o viés analítico dos Sistemas Nacionais de Inovação.

No que diz respeito ao método de pesquisa, ressalta-se o caráter exploratório e descritivo do estudo, envolvendo levantamentos bibliográficos, documentais e análise de dados secundários.

Para análise de experiências de países líderes na nanotecnologia foram buscados documentos internacionais de cada país analisado e referências bibliográficas oriundas de pesquisa na base de dados da “*Science Direct*”, selecionadas a partir da determinação de fator de impacto.

Para fins de análise do Brasil, destaca-se, nesse contexto, a utilização de informações documentais extraídas do Diretório do Grupo de Pesquisas do CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), dos Relatórios de Nanotecnologia da ABDI (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial) e de informações fornecidas em relatórios do MCTI (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação) sobre a temática.

Em termos de análise temporal, deve-se, também, mencionar o vínculo com o método histórico, na medida em que se buscou uma análise do cenário da nanotecnologia nos últimos anos, levando em considerações informações levantadas entre 2000 a 2013. Tal perspectiva histórica, portanto, irá contribuir para a compreensão da realidade atual com base no conhecimento da evolução histórica do cenário da nanotecnologia no Brasil e de experiências internacionais estudadas.

Por fim, com relação à estrutura, o presente trabalho desdobra-se em cinco momentos. O primeiro denominado de “A revolução das nanotecnologias: diminuindo tamanhos, aumentando desafios?”, buscará apresentar ao leitor aspectos históricos, conceituais, características e aplicações da nanotecnologia. O segundo, intitulado de “Sistemas Nacionais de Inovação: referencial analítico de amparo à análise do cenário da nanotecnologia”, tem o escopo de realizar uma análise de teoria econômica, que possa respaldar a apreciação do cenário da nanotecnologia; estando dividido em duas partes, em um primeiro momento buscar-se-á a análise dos Sistemas Nacionais de Inovação como um referencial analítico ao trabalho e, em um segundo momento, o trabalho avançará para análise da nanotecnologia a partir do viés de SNI.

A terceira divisão dessa dissertação, intitulada de “Experiências internacionais de países selecionados”, apresentará experiências de países selecionados e do bloco econômico da União Europeia, dedicando-se a análise das Iniciativas Nacionais em Nanotecnologias nos EUA, na Alemanha, na China e na Rússia.

Por fim, a partir das contribuições das três primeiras divisões, a dissertação avançará para o seu quarto momento, denominado “Cenário da Nanotecnologia no Brasil”, adentrando em uma análise das dimensões científica, tecnológica-industrial e político-regulatória da nanotecnologia, seguido das considerações finais desenvolvidas pela conclusão do trabalho.

2 A REVOLUÇÃO DAS NANOTECNOLOGIAS: DIMINUINDO TAMANHOS, AUMENTANDO DESAFIOS?

Este capítulo tem como objetivo principal buscar os fundamentos da nanotecnologia, com vistas a apresentar as características dessa nova tecnologia do Século XXI. Para tanto, a presente análise apresentará aspectos históricos, consubstanciando os passos iniciais e evolutivos dos processos de industrialização em nanotecnologia, bem como objetiva apontar as características da nanotecnologia, iniciando com aspectos de conceituação e de descoberta, passando-se pelas características e chegando-se, por fim, às potencialidades desse novo cenário tecnológico.

O surgimento das grandes empresas no início do século XX foi acompanhado pela formalização e pela intensificação das atividades de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), com a aparição de laboratórios de pesquisa industrial, patrocinados pelas empresas nos Estados Unidos da América, na Inglaterra, na Alemanha e na França.

Tal fato permitiu o surgimento de novas tecnologias, que, com o passar do tempo, começaram a desenvolver outros mercados, como é o caso das indústrias de semicondutores e de computadores. Verifica-se, na pesquisa de Mowery e Rosenberg (1989), que, a partir da década de 40, o sistema, especialmente o americano, passou a diferir daquele de outras economias industriais, com forte intervenção do Estado, principalmente no que tange ao financiamento à inovação, fato esse que estimulou o desenvolvimento dessas novas tecnologias.

O último quarto do século XX é marcado, assim, por uma nova revolução tecnológica, protagonizada pelo desenvolvimento e pela difusão das tecnologias da informação e da comunicação - atualmente conhecido pela abreviatura TIC, com uma onda intensa do uso de informação e de conhecimento, associada ao desenvolvimento de inovação tecnológica de microeletrônica e à busca de novos materiais¹. Esse novo cenário é enraizado por teorias denominadas de neoschumpeterianas, que se constituem na tentativa mais bem articulada de construir um novo corpo teórico para a análise da firma e do processo de mudança tecnológica.

¹ Esse período é conhecido por alguns historiadores como a Terceira Fase da Revolução Industrial.

A invenção do *transistor* na década de 40, potencializado pela descoberta do circuito integrado (década de 70) e pela *internet*, nos anos 90, levou a uma revolução na indústria. Conforme Tigre (2006, p.27), a microeletrônica “serviu como base técnica para a imbricação das tecnologias da informação, telecomunicações, optoeletrônica, *software* e *broadcasting* e suas múltiplas aplicações que retroalimentam o processo de inovação”.

As tecnologias da informação e da comunicação (TIC) abriram oportunidades para inovações secundárias que vêm revolucionando a indústria e a organização do sistema produtivo global. Esse processo tem como principal consequência a abertura de novas trajetórias de inovações organizacionais, caracterizadas pelo desenvolvimento de modelos de gestão mais intensivos em informação e conhecimento. Essas constantes mudanças tecnológicas necessitam de um ambiente organizacional adequado para terem seu potencial explorado, demandando esforços intensivos e transdisciplinares para equacionar o binômio: tecnologia de ponta e lucro.

As novas tecnologias exigem *leadtime* reduzido (UTTERBACK, 1995)². Os ciclos de vida dos produtos são marcados por *deadlines* encurtados (TROTT, 2010), necessitando de um efetivo sistema de Pesquisa e Desenvolvimento, construindo um ambiente tecnológico internacional significativamente modificado a partir da década de 1980. Paralelamente à difusão de uma grande variedade de inovações por toda a economia, evidencia-se uma mudança de paradigma das tecnologias intensivas em capital e em energia e de produção inflexível e de massa (baseadas em energia e materiais baratos) para as tecnologias intensivas em informação, flexíveis e computadorizadas. Conforme Cassiolato (1995, p.165):

Essa diversidade envolve mudanças centradas nos processos produtivos, com o conseqüente aumento da produtividade — crescente eficiência na utilização de capital, trabalho, energia e materiais. Mas também se reflete em intensas mudanças centradas em produtos que, ao lado de reforçar a eficiência dos processos, têm diminuído o tempo entre grandes descontinuidades tecnológicas, reduzindo o ciclo de vida de novos produtos, e ampliando a diversidade de pequenas diferenciações de produtos. Todos esses processos são diretamente relacionados à produção e difusão das tecnologias de informação e comunicações pela economia como um todo e afetam o chamado processo de “globalização”.

² Nesse aspecto enfocado, para aprofundamento da matéria, ver: UTTERBACK, 2005.

Como se não bastasse esse turbilhão de novos processos de informação, oriundos da alta capacidade e complexidade humana, nos últimos vinte anos de história, têm-se desenvolvido tecnologias ambientais e da saúde (FREMAN, 1997), destacando-se a biotecnologia, a engenharia genética e biomolecular. Há destaque, também, para avanços consideráveis em termos de tecnologia microeletrônica e semicondutores.

Entretanto, a tecnologia que mais tem se destacado nos últimos anos tem ultrapassado o limite de escalas, utilizando uma grandeza até então nunca explorada pelo homem: a nanotecnologia.

Há aproximadamente 50 anos Richard Feynman (2006, p. 30) previu o futuro; o futuro da revolução industrial das nanotecnologias³, pois que,

os princípios da física não falam contra a possibilidade de manipular as coisas átomo por átomo. Não seria uma violação da lei; é algo que, teoricamente, pode ser feito, mas que, na prática, nunca foi levado a cabo porque somos grandes demais (FEYNMAN, 2006, p. 1).

Em uma palestra, com o título de “*Existe muito mais espaço lá embaixo*”, afirmou ser possível inserir 24 tomos de uma Enciclopédia Britânica na cabeça de um alfinete, evidenciando que

as tecnologias poderiam tornar produtos muito pequenos, de tal modo que poderiam se igualar ao tamanho de átomos, pois estes poderiam ser organizados conforme a necessidade, desde que não houvesse violações às leis da natureza, sendo que o objetivo era criar materiais e desenvolver produtos e processos baseados na capacidade de tecnologia moderna de ver e manipular átomos e moléculas (DREXLER, 1992, 511).

2.1 ASPECTOS HISTÓRICOS E CONCEITUAÇÃO

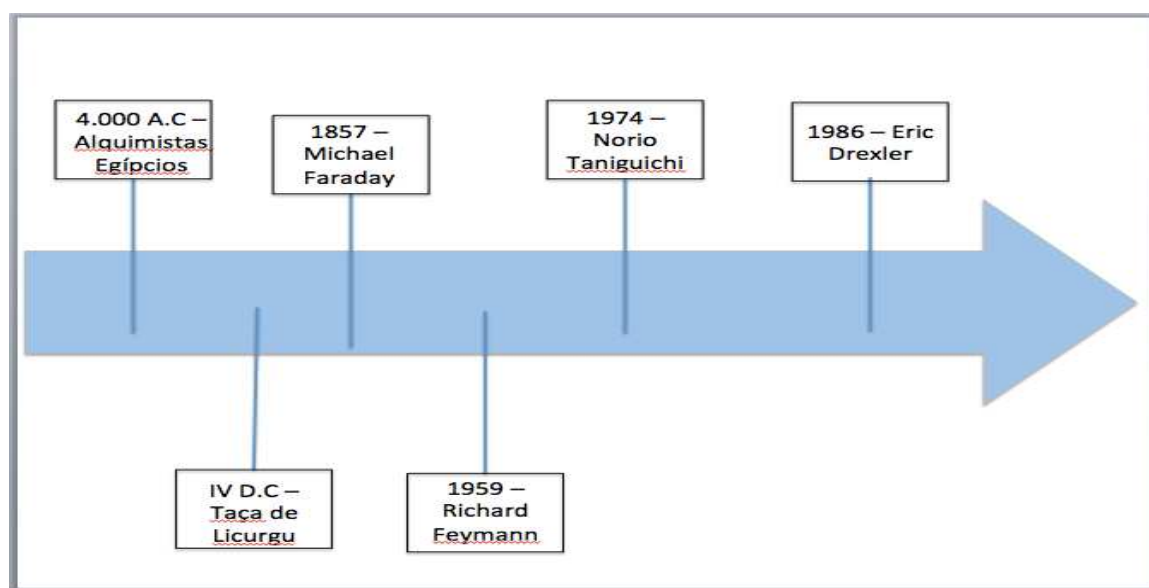
Historicamente, a nanotecnologia tem seu marco terminológico com a designação do termo pelo engenheiro japonês Norio Taniguchi em 1974. Contudo, considerando-se os processos químicos, físicos e biológicos que ocorrem na natureza, segundo Ferreira e Rangel (2009, p. 35), “é possível identificar a presença da nanotecnologia em períodos remotos da história da humanidade”. Conforme Ferreira e Rangel (2009, p. 35):

³ Para aprofundamento da matéria, ver: FLORES, et al, 2010.

Há aproximadamente 4000 anos a.C., os alquimistas egípcios utilizavam o "elixir de ouro" para estimular a mente e restaurar a juventude. O famoso elixir da longa vida era constituído na realidade por partículas de ouro em suspensão com tamanho da ordem de 1-100 nm. Os chineses, embora sem ter consciência disso, já aplicavam a nanotecnologia, ao empregarem nanopartículas de carvão em solução aquosa para produzir a tinta nanquim. Na Europa, o colorido dos vitrais das igrejas medievais, tão ricamente trabalhados pelos artesões, era o resultado da formulação do vidro com nanopartículas de ouro. A famosa Taça de Licurgus, do século IV d.C, que exibe uma cor verde quando a luz é refletida, mas é vermelha sob luz transmitida, é na realidade constituída por nanopartículas de ouro e prata. No século XIX, Michael Faraday mostrou a relação entre as propriedades e o tamanho de partículas de ouro, observando que esse tamanho influenciava na absorção de luz. Dessa forma, é possível obter materiais baseados em ouro em diferentes cores, dependendo do tamanho das partículas. Em sua forma natural, o ouro exibe uma coloração amarela, porém, dependendo do tamanho das partículas, ele pode se mostrar negro, rubi ou arroxeadado.

Assim, tem-se a seguinte linha do tempo da nanotecnologia, conforme figura abaixo:

FIGURA 1 - Linha do Tempo da evolução da Nanotecnologia



Fonte: Elaborado pelo autor com base em NORDMANN, 2008; FEYMANN; POHLMANN, 2010; PREMEBIDA, 2007 e FERREIRA; RANGEL, 2009.

Desde a palestra de Feymann é possível afirmar que houve um processo de constante estudo e conseqüente desenvolvimento de tal tecnologia, que ingressou no século XXI como uma das áreas mais importantes e promissoras da ciência, despertando o “fascínio da criatividade”⁴.

⁴ Expressão cunhada por Winfred Weier, cfe FARIA COSTA, 2005, p. 27.

O prefixo 'nano' é derivado da palavra grega para anão, e é exatamente nessa escala de tamanho que a nanotecnologia é trabalhada e os objetos são concebidos. E, também, nessa escala é que estão os átomos e moléculas. Para efeito de comparação, um único fio de cabelo tem aproximadamente 80.000 nm de largura, uma célula de sangue vermelho tem aproximadamente 7.000 nm de largura. Os átomos estão abaixo de um nanômetro em tamanho, enquanto que muitas moléculas, incluindo algumas proteínas, variam de um nanômetro para cima. Da mesma forma, a proporção entre um nanômetro e uma bola de futebol equivale a comparar uma moeda de 1 centavo (que mede aproximadamente 1,7cm) com a Lua. O quadro abaixo apresenta essas comparações entre grandezas.

QUADRO 1- Prefixos, Ordem de grandeza e Metragem

Prefixo	Símbolo	Grandeza	Nome
Exa	E	10^{18}	Quintilhão
Peta	P	10^{15}	Quatrilhão
Tera	T	10^{12}	Trilhão
Giga	G	10^9	Bilhão
Mega	M	10^6	Milhão
Kilo	K	10^3	Milhar
Unidade		10^0	Um
Centi	c	10^{-2}	Centésimo
Mili	m	10^{-3}	Milésimo
Micro	μ	10^{-6}	Milionésimo
Nano	n	10^{-9}	Bilionésimo
Pico	p	10^{-12}	Trilionésimo
Fento	f	10^{-15}	Quadrilionésimo
Atto	a	10^{-18}	Quintilionésimo

Fonte: Wilson et al. (2002)

Podem-se definir como nanotecnologias as tecnologias em que a matéria é manipulada às escalas atômicas e moleculares com o fito precípua de criar novas matérias e processos com (novas) características funcionais diferentes das matérias comuns, relacionada a tamanhos dentro de uma escala entre 0,1 a 100 nanômetros (FLORES et al, 2010). "Nano" significa, *ipsis litteris*: "do grego *nánnos* - 'de excessiva pequenez' ou *nânos* 'anão'" (DREXLER, 1992, p. 22). Refere-se, pois, a uma escala de medida menor que a micro, ou seja, está "numa ordem onde os átomos se encontram - dez na menos nove" (LAMPTON, 1994, p. 72). Portanto,

deduz-se, logicamente, que a concepção da nanoescala é 1.000 vezes menor que a microescala. Já, o vocábulo tecnologia significa, *verbis*: “teoria geral e/ou estudo sistemático sobre técnicas, processos, métodos, meios e instrumentos de um ou mais ofícios ou domínios da atividade humana”. A tecnologia “nano” é verdadeiramente uma ciência multidisciplinar, relacionada à manipulação de átomos e de moléculas objetivando formar novos produtos, criar dispositivos que permitam trazer aos produtos já existentes novas funções ou, até mesmo, criar seres vivos novos.

Internacionalmente, tem-se a definição de nanotecnologia, por intermédio da parametrização e padronização da ISO/TC 229, com a seguinte definição para o termo:

Nanotechnology Standardization in the field of nanotechnologies that includes either or both of the following: Understanding and control of matter and processes at the nanoscale, typically, but not exclusively, below 100 nanometers in one or more dimensions where the onset of size- dependent phenomena usually enables novel applications. Utilizing the properties of nanoscale materials that differ from the properties of individual atoms, molecules, and bulk matter, to create improved materials, devices, and systems that exploit these new properties (DELEMARLE; THRONE-HOLST, 2013, p.134-1; POHLMANN-GOUTERRES; LOVESTAN, 2010).

QUADRO 2 - Comparação da Nanotecnologia com outras propriedades

Átomo (H)	0,1 nm
DNA	2 nm
Proteínas	5-50 nm
Vírus	75-100 nm
Bactérias	1000-10000 nm
Células Brancas	10000 nm

Fonte: ABDI (2010)

Por definição, portanto, os materiais nanoestruturados apresentam, pelo menos, uma de suas dimensões em tamanho nanométrico (FERREIRA; RANGEL, 2009, p. 22), ou seja, em escala 1/1.000.000.000, ou um bilionésimo do metro ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Nessa escala de tamanho, os materiais apresentam novas propriedades, antes não observadas quando em tamanho micro ou macroscópico, especialmente “a tolerância à temperatura, à variedade de cores, às alterações da reatividade química e à condutividade elétrica” (GAO; TANSIK, 2006, p.29).

Devido ao aumento da razão entre a área e o volume do nanomaterial, os

efeitos de superfície se tornam mais importantes conferindo, a esses materiais, características específicas para determinadas aplicações (GAO; TANSIK, 2006, p. 37).

2.2 CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES DA NANOTECNOLOGIA

A essência da nanotecnologia consiste na habilidade de se trabalhar em nível atômico, molecular e macromolecular a fim de criar materiais, dispositivos e sistemas com propriedades e aplicações fundamentalmente novas. Conforme Ferreira e Rangel (2009, p. 22):

Os blocos de construção são os átomos e moléculas, ou um conjunto deles tais como nanopartículas, nanocamadas, nanofios ou nanotubos. Dessa forma, a nanotecnologia permite ao homem alcançar escalas além da sua limitação natural de tamanho e trabalhar diretamente na construção dos blocos de matéria. Esta escala está situada entre o comportamento de um átomo e o comportamento do volume do sólido, isto é, entre uma fração de nanômetro e cerca de 100 nm, na qual são construídos os blocos básicos e em que as propriedades fundamentais são definidas e ajustadas em função do tamanho, forma e padrão do nanomaterial. O modo pelo qual a matéria é organizada, em estruturas maiores, também desempenha um papel essencial nas características e propriedades do sólido final. Dessa forma, se objetiva alcançar o controle em nível de nanoescala e na integração para obter escalas maiores.

Desse modo, uma das características apresentadas pela “nano” é habilidade para “rearrumar a matéria em nanoescala, na medida em que é potencialmente um método econômico para obter funcionalidade, visando a um produto com alto valor agregado” (DREXLER, 1992, 507) ⁵.

A funcionalidade, uma das características mais importantes dos nanomateriais, que permite sua extensa faixa de aplicações, é a sua capacidade de executar funções específicas, através da projeção e da manipulação desses materiais, de forma controlada e pré-determinada (ROCO, 2001, p. 7).

⁵ Deve-se observar também que a nanotecnologia está presente na natureza: “Por exemplo, quando a água é misturada com o óleo, ocorre sobre a superfície um efeito chamado iridescência (efeito arco-íris). Efeito semelhante pode ser observado nas asas da borboleta azul e na própria pena do pavão. Na verdade isso ocorre porque existem estruturas em escala nanométrica, denominadas nanoestruturas, que, ao interagir com luz, modulam o índice de refração causando interessante efeito óptico, no qual a cor muda com o ângulo de observação ou iluminação. As lagartixas sempre chamaram a atenção pelo fato de poderem andar nas superfícies do jeito que bem entenderem: de cabeça para cima, de cabeça para baixo ou de lado. Tais animais têm essa ‘autonomia decisória’ porque em suas patas existem nanoventosas, que acabam proporcionando uma fortíssima adesão nas mais diferentes superfícies (alvenaria, plásticos, vidros, metais etc.)” (ABDI, 2010, p. 15).

Em termos de técnicas de produção em nanoescala, a literatura tem atentado para o destaque de duas técnicas de manipulação que pode ser dividida em uma abordagem química e uma abordagem física (WHATMORE, 2001) quais sejam respectivamente: a) *bottom-up* e b) *top-down*.

A técnica *bottom-up* proporciona a construção de estruturas de átomo por átomo, ou molécula por molécula, mediante as seguintes alternativas (ABDI, 2010): a) síntese química (método utilizado para produzir matérias-primas, nas quais são utilizadas moléculas ou partículas nano, que podem ser usadas ou diretamente nos produtos, na sua forma estrutural desordenada, ou como os blocos de construção de materiais ordenados mais avançados, produzidos utilizando as técnicas seguintes); b) automontagem (método no qual os átomos ou moléculas organizam-se de forma autônoma por meio de interações físicas ou químicas, construindo assim nanoestruturas ordenadas); e c) montagem determinada (os átomos e moléculas, ou agrupamentos, são deliberadamente manipulados e posicionados em determinada ordem) (PEIXOTO, 2010, p.226).

Já em técnica *top-down*, o objetivo é produzir algo em menor escala que o original e com maior capacidade de processamento de informações (miniaturização), destacando-se os seguintes métodos: a) fotolitografia: (o material a ser trabalhado é recoberto com uma camada de material fotossensível); b) nanolitografia de raios de elétrons: (utilização de raios de elétrons para alterar o material); e c) nanolitografia de raios de íons: (íons interagem química e fisicamente com o material, permitindo a construção de materiais com novas propriedades) (ABDI, 2010, p.22). Nesse método, “impõe-se uma estrutura no sistema por meio da definição de padrões e sua criação utilizando partes maiores, havendo necessidade do uso de maquinaria capaz de reproduzir os padrões” (ABDI, 2010, p. 23), como é o caso da confecção de *chips*, que, via de regra, utiliza a técnica de litografia e derivados. Parte-se, portanto, “do entendimento e controle do comportamento quântico intramolecular” (ABDI, 2010, p. 23) de moléculas especificamente desenhadas e sintetizadas, usando-se “superfícies para localizá-las e estabilizá-las, sendo que os sistemas são interconectados, partindo-se de partes atômicas e/ou moleculares” (DREXLER, 1992, p. 432).

Em termos de características intrínsecas a essa nova tecnologia, a multiplicidade de aplicações - juntamente com a facilidade, a qualidade e a velocidade da produção - é o centro da equação desse novo produto da ação

humana. A nanotecnologia já encontra aplicações em praticamente todos os setores da indústria, podendo ser utilizada em quaisquer tipos de matérias. Existe uma nanotecnologia permeando quase todo o setor produtivo mundial, não se tratando mais de apenas uma “promessa para o futuro, começando, pois, a fazer parte dos portfólios de um grande número de empresas, sejam as tipicamente nanotecnológicas, sejam aquelas que estão rapidamente se adequando aos novos tempos” (ABDI, 2010, p.26).

Em uma concepção multidisciplinar, estudos da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) comprovam que a nanotecnologia “*has its basis in the converging application of physics, chemistry and biology to using the new properties of materials and systems that emerge below the 100 nanometre length scale*” (OCDE, 2010, p. 8).

Como característica central, a nanotecnologia permite tanto a melhoria de produtos e de processos já existentes, como o desenvolvimento de produtos e de processos totalmente novos; e, por vezes, de novos serviços também (OCDE, 2010, p. 9). Trata-se de um processo em formação e em constante evolução, engendrando diversas oportunidades técnicas e econômicas ainda inexploradas.

A literatura especializada tem classificado a nanotecnologia como “tecnologia de propósito geral”, com potencial revolucionário, cujas principais características estão diretamente relacionadas ao alto grau de cumulatividade e de apropriabilidade privada (DOSI, 2006, p. 129) do conhecimento técnico-científico, bem como em termos de impactos na dinâmica e no desenvolvimento industrial (PIB, 2009, p. 82), sendo considerado pela OCDE como

the new general purpose technology of 21st Century technology that develops rapidly in terms of its ability to offer new functionalities and better performance in existing products and processes. It has different uses in a broad range of industries and promotes structural and organizational changes in terms of business models and company and industry dynamics (OCDE, 2010, p. 14).

O mesmo estudo ilustra que a nanotecnologia é um campo complexo, multidisciplinar e dependente de várias disciplinas científicas, de instrumentação avançada e de pesquisadores e de engenheiros com alto nível de conhecimento, pois “*studies illustrate that nanotechnology is a complex field owing to its dependency on various scientific disciplines, research/engineering approaches and advanced instrumentation*” (OCDE, 2010, p. 62).

Tal complexidade, conforme Paranhos (2012), aumenta o interesse pelo estudo da criação do conhecimento técnico-científico, fonte primária de inovações e, em particular, pela interação entre Universidade e Empresa. Destarte, ao se falar em nanotecnologias, duas características, necessariamente, estão presentes: altos níveis de investimentos e alto grau de base científica.

No que concerne às áreas de aplicação, o envolvimento da nanotecnologia engloba, praticamente, todos os setores industriais, em razão de se tratar de uma “tecnologia de propósito geral”. Conforme estudos da OCDE (2010, p.14):

Nanotechnology is frequently referred to as the new “general purpose technology” of the 21st century, following earlier technologies which have been a springboard for long-term productivity increases and economic growth (the prime recent example is information and communication technology [ICT], particularly computers). A general purpose technology is one that develops rapidly in terms of its ability to offer new functionalities and better performance in existing products and processes. It has different uses in a broad range of industries and promotes structural and organizational changes in terms of business models and company and industry dynamics. Owing to its inherent characteristics, nanotechnology may play an important role in upgrading traditional industries by enabling new functionalities and adding value to existing products. Nanotechnology can also enable more radical innovation and thus the growth of new companies and industries, especially if it converges with other technology fields such as biotechnology and ICT.

Segundo Palmberg e Nikulainen (2006, p.10) “*a General Purpose Technology consists of a basic ‘breakthrough’ technology that is dependent on a range of complementary incremental technological and organizational innovations for its diffusion and ultimate effects*”. Essas tecnologias surgem de “forma aparentemente exógenas e se tornam endógenas ao sistema econômico através da difusão e uso por parte das empresas e indústrias à medida que inovações incrementais aparecem” (PEIXOTO, 2013, p. 76).

Aspecto importante, nesse contexto, para fins de determinação das áreas de aplicação, é a definição e a diferenciação entre nanotecnologia e nanociência. De acordo com a Royal Society (2004), pode-se definir nanotecnologia e nanociência como sendo:

Nanoscience is the study of phenomena and manipulation of materials at atomic, molecular and macromolecular scales, where properties differ significantly from those at a larger scale. Nanotechnologies are the design, characterization, production and application of structures, devices and systems by controlling shape and size at nanometer scale.

Deve-se atentar, pois, ao caráter aplicado da terminologia “nanotecnologia”, como transformação do conhecimento científico em produtos e em processos industriais⁶.

O cenário atualmente apresentado tem evidenciado destaque aos setores presentes na tabela abaixo.

TABELA 1 - Setores de atividades industriais em nanotecnologia

Setor	Tipo de Produto/Observações
Energia	Sistemas fotovoltaicos; células solares; <i>grids</i> de energia; baterias; pás para geradores eólicos.
Iluminação	LEDs baseados em <i>quantum dots</i> para iluminação pública, domiciliar e automobilística.
Automobilístico	Pinturas especiais (não riscam, autolimpantes); catalisadores para conversores catalíticos para gases de escapamento; eletrônica embarcada; tecidos antibacterianos.
Esportes	Raquetes de tênis (nanotubos de carbono); roupas esportivas antitranspirantes e antibactericidas; calçados para esportes; quadros para bicicletas; tacos de golf; luvas para esportes.
Tecidos	Tecidos resistentes à sujidades (efeito lótus); tecidos antibactericidas; tecidos técnicos e não tecidos.
Embalagens	Embalagens com propriedades de barreira (umidade, gases), à base de nanocompósitos; embalagens inteligentes, sensíveis a gases de decomposição de alimentos; recipientes bactericidas (prata) para guardar alimentos perecíveis.
Cosméticos	Protetores solares; produtos para recuperação da pele; produtos contendo cores físicas (índice de refração); produtos para maquiagem.
Fármacos	Novas formas de administração de fármacos (nanoemulsões e nanopartículas); <i>drug-delivery</i> ; terapia de cânceres.

Fonte: ABDI, 2010.

Atualmente a utilização em grande escala da nanotecnologia está relacionada aos nanocompósitos poliméricos, produzidos a partir de *commodities* como os termoplásticos e as argilas. Além disso, é empregada em quantidades reduzidas, com maior valor agregado, fomentando os setores da tecnologia da informação e de

⁶ Esta diferenciação será útil para a interpretação das ações de promoção e incentivo à nanotecnologia realizadas pelo Governo brasileiro, que será objeto de análise nas próximas seções.

telecomunicações⁷ (PREMEBIDA, 2007, p.17).

No campo da medicina é encontrado o terreno mais fértil para o avanço das pesquisas em nanotecnologia e o desenvolvimento da nanociência. A produção da medicação (tecnologia molecular que pode ser produzida a partir de matérias-primas decorrentes da natureza, ou ser criada em laboratório) é uma das áreas com maiores indícios de desenvolvimento, porquanto os medicamentos trabalham em nanoescala (escala na qual as próprias enfermidades tendem a agir), por esse motivo, são os meios mais adequados no combate a doenças. Os vírus, por exemplo, são nanomáquinas naturais que se ligam às células e as forçam a sintetizar proteínas capazes de dotar de energia outro pequeno vírus, ocasionando o desaparecimento dessa célula e desenvolvendo milhares de novos vírus para perpetuar o processo. Nesse diapasão, a nanotecnologia poderá ser usada para combater tais agentes infecciosos e todas as outras doenças de forma mais veloz e eficiente do que o próprio organismo natural (FLORES et al., 2010, p. 47).

Pesquisas já concretizam (LOOS, 2014, p. 15) a criação de dosímetro descartável que mede o nível de exposição aos raios ultravioleta; micromicroscópio, quatro vezes mais preciso que o microscópio eletrônico; peças metálicas usando moldes de polímero – com detalhes estruturais cerca de 100 vezes menores do que uma bactéria; nanoturbina de elétrons que possibilitará a movimentação de nanorrobôs, bem como o chaveamento ultrarrápido em sistemas de telecomunicações; nanomolas capazes de absorver choques com grande eficiência (além de proteger equipamentos miniaturizados, os pesquisadores acreditam que suas nanomolas logo poderão se tornar parte integrantes de paraquedas de automóveis, mancais, solados de sapatos esportivos e qualquer outro equipamento que requeira proteção antichoque); materiais artificiais com capacidade de curvar as

⁷ Conforme Ferreira e Rangel (2009, p. 24) “nos últimos anos, foram obtidas nanopartículas e nanocamadas com diferentes funções, tubos e fios de vários materiais, dispositivos moleculares tridimensionais, materiais para a substituição de tecidos vivos e novas ferramentas tais como pinças nanomecânicas. Também foram fabricados dispositivos ultrapequenos, incluindo dispositivos eletrônicos moleculares, nanobiomotores e sistemas nanoeletromecânicos. Além disso, foram preparados compósitos nanoestruturados, produtos químicos e bioestruturas e foram desenvolvidas novas rotas de síntese de drogas e novos métodos de transporte através do corpo humano. Foram, ainda, desenvolvidos novos processos de preparação dos nanomateriais, incluindo a autoaglomeração induzida e a fabricação de materiais com precisão atômica. Os principais aspectos científicos se referem à descoberta de novos fenômenos em nanoescala; de novos métodos de medidas e modelagem de um grande número de nano-objetos; do entendimento da relação entre a nanoestrutura e a aplicação do material; da manipulação com precisão atômica e molecular, da agregação e conexão em nanoescala; do entendimento da moderna biologia e do sinergismo com a informação tecnológica. Além disso, foi demonstrado o comportamento quântico à temperatura ambiente e o confinamento quântico dos nanomateriais”.

ondas eletromagnéticas; nanocircuitos; supercomputadores, que são capazes de tornar objetos invisíveis ao olho humano; além de aplicações no segmento de cosméticos e de eletrodomésticos.

Na mesma esteira, desenvolvimento de materiais inteligentes; artigos esportivos mais leves, rápidos e aerodinâmicos; cosméticos que agem nas camadas mais inferiores da pele; maior velocidade de processamento de dados; alimentos mais bem conservados por embalagens comestíveis ou que mudam de nuances conforme o tempo de envasamento; materiais que absorvem toda a energia do impacto; etc. Os campos de aplicabilidade das nanotecnologias são os mais vastos, porém, nesse atual contexto de preocupação com o aquecimento global, descobertas acerca dos recursos hídricos e energéticos ganham destaque.

Dessa forma, a criação dessas novas tecnologias demonstra a dimensão e a profundidade desse moderno cenário de inovação das indústrias de nanotecnologias que está sendo delineado, especialmente através das características de “tecnologia de propósito geral”, com possibilidade de trazer uma revolução no mundo industrial.

No que concerne à seara da transferência de tecnologia, a literatura estrangeira, com especial ênfase ao Grupo de Estudos da União Européia, “*Nanoeconomics*”, dos autores Corine, Khalib Gauthier, tem, frequentemente, apontado características específicas no modelo de transferência de conhecimento nas nanotecnologias, em comparação com os modelos de duas tecnologias que recentemente emergiram: biotecnologia e microeletrônica (ERRABI; KHALIB; GAUTHIER, 2013, p.205).

As nanotecnologias são frequentemente comparadas às biotecnologias, devido aos avanços que esta tem gerado na indústria farmacêutica (ZUCKER et al., 2007), especialmente com realização de comparação em termos de suscitar o crescimento de pequenas e médias empresas (PME), em razão destas serem suscetíveis de desempenhar um papel fundamental na dinâmica industrial das nanotecnologias, levando a arquiteturas industriais, principalmente compostas por empresas de natureza *spin-offs* focadas em trazer processos nanotecnológicos, ferramentas, materiais de nova geração, dispositivos e pioneiros sistemas para o mercado (CHACHAMIDOU et al., 2008).

No mesmo sentido, as nanotecnologias também podem ser comparadas à microeletrônica, embora aqui a comparação pareça apontar para uma paisagem industrial diferente. Como Abernathy e Utterback (1978) têm destacado, as grandes

empresas, como a *Fairchild Semiconductors*, IBM e *Texas Instruments* desempenharam papéis fundamentais nesse campo nas primeiras fases de P&D nos anos 60 e 70. Surgem, assim, questionamentos a respeito da nanotecnologia, especialmente se seu desenvolvimento requer o mesmo tipo de ampla base de conhecimento que as empresas de microeletrônica já estabelecidas possuíam, o que implicaria na hipótese de que as grandes empresas iriam predominar tanto na exploração como na comercialização dos potenciais mercados da nanotecnologia, e que pequenas e médias empresas possuiriam papéis menores, em termos econômicos.

Estudos de Youties et al. (2008) descobriram que a nanotecnologia e a biotecnologia exibiram padrões tecnológico-evolutivos semelhantes. O padrão de desenvolvimento da biotecnologia tem sido amplamente baseado na criação de Pequenas e Médias Empresas (PME) de pesquisa intensiva geralmente *spin-offs* universitárias formadas através da colaboração de um cientista e um gestor profissional, apoiada por capital de risco, com o objetivo de aplicar novas descobertas científicas para o desenvolvimento de produtos comerciais, com amplo grau de especialização (MANGEMATIN, et al., 2003).

Consequentemente, a indústria de biotecnologia é caracterizada por uma estrutura de rede de alianças interorganizacionais entre os diferentes atores envolvidos: instituições de pesquisa e empresas de grande e pequeno-médio porte, em que os últimos são vistos como um nexo de ligação, mediando os cientistas e os grandes *players* mundiais (MANGEMATIN, et al., 2010a).

No que diz respeito à microeletrônica, Abernathy e Utterback (1978), Peck (1986) e Braun e MacDonald (1978) sublinharam o papel fundamental que as grandes empresas exerceram nas fases iniciais da indústria de microeletrônica, especialmente em termos de desenvolvimento tecnológico interno dessas firmas. Com projetos de investigação em grande escala, posicionando as grandes empresas como os agentes econômicos centrais.

Assim, os resultados dos últimos estudos realizados na área mostram que o modelo de transferência de tecnologia da nanotecnologia é muito diferente da biotecnologia.

Conforme Errabi, Khalib e Gauthier (2013, p. 214):

Contrary to what happened in the development of the biotech sector, small and medium nanotech firms play an important technology-bringing role, but do not play the key role as translator of new knowledge between public research and industry. We know that small firms provide specific equipment and research services to very large companies: indeed, working at the nanotech level requires specific equipment, simulation models, first generation materials, devices and software. The nanotech-value chain is supported by a set of tools including scanning probe microscopes, nanofabrication tools, and computer modeling systems. Following Rosenberg's (1992) argument that scientific instruments can enable technologies that fuel subsequent down-stream discoveries, specific equipment, simulation models and specialized software play a similar role in nanotechnology R&D, and these are elements that are typically developed and commercialized by small firms. Government investment in the biotech sector was mainly channeled through supporting the creation of start-ups: but while this was quite successful in boosting technology transfer and the commercialization of R&D in that context, public policies designed to support nanotechnologies needs to be designed differently.

Conforme Pyka e Saviotti (2005), na biotecnologia as grandes empresas farmacêuticas estavam comprometidas com o velho paradigma da química orgânica, na qual todas as suas competências foram concentradas, não podendo estas, facilmente, internalizar o novo conhecimento biotecnológico. Assim, pequenas e médias empresas se destacaram no paradigma da biotecnologia, em razão do formato daquele momento histórico do mercado, totalmente focado em química orgânica. De banda outra, o cenário desenvolvido pela nanotecnologia não apresenta segmentação industrial, evidenciando um ambiente de infinitas possibilidades de aplicação industrial (posto que tecnologia de propósito geral).

No que se refere ao comparativo com a microeletrônica, os estudos realizados pelo grupo francês revelam, por outro lado, que a nanotecnologia está sendo desenvolvida nas grandes empresas, havendo grande destaque nesse sentido, evidenciando-se o mesmo padrão observado nas fases iniciais de microeletrônica, já que o desenvolvimento da nanotecnologia requer grande e diversificada base de conhecimento; conhecimento este que existe em grandes empresas. Contudo, difere-se da microeletrônica, em razão dessas grandes empresas transcenderem a concepção de PD&I interna, buscando fonte de conhecimento externo, especialmente de Universidades e de Centros de Pesquisa, destacando-se, fortemente, atividades de Interação Universidade-Empresa (IUE) para fins de PD&I em novos produtos e processos em nanotecnologia.

Destarte, conforme visto na subseção das características da nanotecnologia, as Tecnologias de Propósito Geral são usualmente descritas como sistemas de conhecimento e técnicas com a capacidade de alterar a economia e de causar

impacto, em nível global, sobre a produção de bens e de serviços (JOVANOVIĆ et al., 2005).

Tais tecnologias são entendidas na literatura (BRESNAHAN et al., 1995) como tecnologias transversais dos setores intensivos em conhecimento, possuindo múltiplos campos de aplicação, sendo caracterizadas por sua aplicabilidade em vários setores industriais e por possuírem potencial de melhorar, consideravelmente, ao longo do tempo, permitindo a criação de outras novas tecnologias com inovações complementares. Ademais, com progressões de investimentos em nível geométrico nos últimos anos, estimativas internacionais apontam para investimentos privados ultrapassarem a casa de 3 (três) trilhões de dólares até 2020 (ABDI, 2010).

Diante desse contexto, uma análise econômica da nanotecnologia, sob o prisma da inovação, aponta como um caminho interessante em termos de entendimento do cenário dessa nova tecnologia. Um olhar da Ciência Econômica, especialmente da Economia da Tecnologia, poderá, pois, trazer um olhar relevante para a compreensão dessa conjuntura. As ferramentas teóricas e analíticas discutidas pela linha neoschumpeteriana, a partir da compreensão das trajetórias tecnológicas, do progresso tecnológico e, especialmente, da dinâmica da inovação e de seu papel de desenvolvimento na economia capitalista auxiliarão na compreensão das seções que seguirão.

2.3 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

Nas diferentes “eras tecnológicas”, relacionadas e brevemente explicadas no início desse capítulo, as inovações tecnológicas normalmente surgem como tecnologias-chave possuindo funções essenciais na geração e na difusão de inovações em diversos campos, podendo ser elas incrementais ou radicais. Em geral, são as inovações radicais que impulsionam as incrementais em áreas complementares, introduzindo, assim, efeitos econômicos e sociais de amplo alcance, trazendo consigo uma série de inovações complementares, tecnológicas e organizacionais (PEIXOTO, 2010, p.75).

Assim, quando as novas tecnologias têm o potencial de ampla e de múltipla aplicação e utilização, como no caso da nanotecnologia, essas são determinadas pela literatura de “Tecnologias de Propósito Geral” (OTT et al., 2009). Uma vez

difundidas no sistema econômico, elas funcionam como “motores do crescimento” durante um longo período de tempo (PALMBERG; NIKULAINEN, 2006).

Ao se analisar a essência da nanotecnologia, verificou-se a consistente habilidade de se trabalhar em nível atômico, molecular e macromolecular com possibilidades, até então, nunca imaginadas, de se criar materiais, dispositivos e sistemas com propriedades e com aplicações fundamentalmente novas, “permitindo ao homem alcançar escalas além da sua limitação natural de tamanho e trabalhar diretamente na construção dos blocos de material” (FERREIRA; RANGEL, 2009, p. 22). É possível, assim, direcionar o raciocínio ao encontro do potencial revolucionário da nanotecnologia.

Ademais, evidenciou-se, através de estudos da OCDE, o campo complexo, multidisciplinar e dependente de várias disciplinas científicas da nanotecnologia, comprovando-se a necessidade de instrumentação avançada e de pesquisadores e de engenheiros com alto nível de conhecimento. Tal complexidade traz consigo, inexoravelmente, altos níveis de investimentos e alto grau de base científica em atividades de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) em nanotecnologia.

O capítulo permitiu, também, a diferenciação entre nanotecnologia e nanociência; definições essas que ajudam na compreensão dos capítulos seguintes, especialmente na abordagem de políticas de promoção e de incentivo à nanotecnologia.

No mesmo sentido, a abordagem desenvolvida possibilitou o descortinar do debate comparativo da nanotecnologia com a microeletrônica e a biotecnologia. Verificou-se, através de estudos da União Europeia, com destaque as publicações de Coribe, Khalib e Gauthier (2013) que a nanotecnologia apresenta características diversas da biotecnologia e alguma semelhanças à microeletrônica.

Sendo assim, as características, tanto históricas como técnicas das nanotecnologias, trazidas para discussão nesse capítulo, evidenciam um potencial revolucionário, com perspectivas de impulsionar o crescimento econômico de países que souberem aproveitar essa oportunidade, através de suas iniciativas nacionais.

Cumpridos os objetivos fulcrais desse capítulo, a partir da contextualização e caracterização da nanotecnologia, essenciais para a compreensão da temática em dimensão e profundidade, é possível avançar à próxima seção, que se dedica a ingressar na teoria econômica com vistas a buscar os fundamentos analíticos que

sustentam a análise da nanotecnologia sob o viés dos Sistemas Nacionais de Inovação.

3 SISTEMAS NACIONAIS DE INOVAÇÃO: REFERENCIAL ANALÍTICO DE AMPARO À ANÁLISE DO CENÁRIO ECONÔMICO DA NANOTECNOLOGIA

Os países vivem hoje o desafio de se desenvolverem dentro de um ambiente econômico baseado no conhecimento e caracterizado pela existência de mercados dinâmicos e competitivos, marcados, cada vez mais, por alta intensidade tecnológica, destacando-se como um elemento-chave a busca por um constante processo de inovação (VILLELA; MAGACHO, 2009, p. 37).

Cada país, nesse contexto, portanto, deve planejar seu crescimento, organizar e estruturar ações voltadas para esse objetivo. Desde 1945, com a publicação do influente relatório de Vannevar Bush, "*Science: The Endless Frontier*" (BUSH, 1945), que destacou a importância da pesquisa básica para avanços na pesquisa aplicada e na comercialização, a pesquisa universitária tornou-se um importante veículo, através do qual os governos procuram promover o crescimento econômico nacional, por meio da construção de ambientes favoráveis ao seu crescimento.

Esses programas são frequentemente associados a missões específicas a serem realizadas, como o famoso projeto americano representado pelo Programa Apollo. Em termos de investimentos, mais de 90% da despesa em investigação e desenvolvimento (P&D) do governo dos EUA foi considerada de pesquisa aplicada (MOWERY, 2009).

Destarte, o presente capítulo objetiva estudar os Sistemas Nacionais de Inovação como ferramenta analítica de análise do cenário da nanotecnologia.

Sendo assim, no que concerne ao referencial teórico econômico, as próximas seções dedicam-se a ingressar na teoria econômica com vistas a buscar os fundamentos analíticos que sustentam a análise da nanotecnologia sob o viés dos Sistemas Nacionais de Inovação.

3.1 SISTEMAS NACIONAIS DE INOVAÇÃO: UM REFERENCIAL ANALÍTICO

Um dos maiores desafios da sociedade atual é o de gerar, aplicar e divulgar o conhecimento científico produzido e, mais além, o de transformar esse conhecimento em inovação tecnológica e em fonte de rendimento econômico.

Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) são elementos-chave para o crescimento, para a competitividade e para o desenvolvimento de empresas, de indústrias, de regiões e de países; contexto em que a busca da compreensão e do monitoramento dos processos de produção, da difusão e do uso de conhecimentos científicos, de tecnologias e de inovações, bem como dos fatores que os influenciam, tornam-se extremamente importantes, havendo claras evidências de uma forte relação entre crescimento econômico, elevação da produtividade e progresso técnico (VIOTTI; MACEDO, 2003, p.61).

Nesse contexto de desenvolvimento de um ambiente nacional favorável, a literatura econômica tem se dedicado ao tema, tratando-o como “Sistemas Nacionais de Inovação”⁸, levando a contribuição de diversos autores, todavia, com especial destaque aos trabalhos pioneiros de Freeman (1987), Lundvall (1992), Edquist (2001) e Nelson (1993).

A guisa de conceituação, um Sistema Nacional de Inovação é visto, na literatura, como uma construção analítica, oriunda de uma visão sistêmica que concebe a inovação como processo social, econômico, político interativo e sistêmico⁹. Pode ser visto, pois, sob o prisma de uma articulação de instituições dos setores público e privado (agências de fomento e financiamento, instituições financeiras, empresas públicas e privadas, instituições de ensino e pesquisa, etc.), cujas atividades e interações geram, adotam, importam, modificam e difundem novas tecnologias, tendo como sua característica principal a inovação e o

⁸ Atenta-se para o fato da identificação de estudos de Peixoto (2014) e Perez Vico e Jacobsson utilizarem a concepção da TIS (*Technology Innovation System*) como base analítica para seus estudos econômicos na área da nanotecnologia. Trata-se de concepção analítica que tem se mostrado útil na análise do papel da academia no desenvolvimento e na difusão de tecnologias emergentes, conforme se depreende de estudos de Hellsmark e Jacobsson (2009); Mohamad (2009) e Suurs (2009). Utilizou-se, contudo, em razão das características de multidisciplinaridade e de propósitos gerais da nanotecnologia, o quadro analítico da SNI para o presente estudo. Pelas características apresentadas no primeiro capítulo, verifica-se que a nanotecnologia tem sido denominada pela literatura como tecnologia de propósito geral que não pode ser analisada especificamente, mas sim como um revolução em todas as áreas, diferentemente da biotecnologia e da microeletrônica que são áreas específicas e que justificariam a análise sob o viés da TIS.

⁹ Nesse sentido, ver as contribuições de Lundvall e Johnson (1994): “El primer paso en el desarrollo del concepto de los sistemas nacionales de innovación es analítico y concibe las innovaciones como un proceso social e interactivo en un entorno social específico y sistémico. El segundo paso, lo nacional, tiene un carácter diferente. Que la atención se centre en los sistemas nacionales (más que en los locales, regionales o transnacionales) no se deriva de una comprensión meramente teórica de la innovación, sino de consideraciones sobre historia económica: las naciones-Estado han sido importantes porque han permitido la creación de entornos sociales y económicos propicios para los procesos de innovación. Además, centrarse en los sistemas nacionales refleja una elección pragmática y política: la mayor parte de la información estadística se genera en el país y las políticas económicas en materia de innovación las han formulado, y las formulan aún en un grado considerable, dependencias nacionales”.

aprendizado¹⁰.

Conforme Albuquerque (2004, p. 9) “trata-se de um conceito síntese de elaboração evolucionista (ou neo-schumpeteriana): ele expressa o complexo arranjo institucional que impulsionando o progresso tecnológico determina a riqueza das nações”. Como um conceito que sintetiza a elaboração (ampla) de uma abordagem teórica, Albuquerque afirma que se trata de um

conceito que está em aberto, enriquecendo-se dos avanços na elaboração teórica e contribuindo para apresentar novas questões para a construção e reflexão coletiva, [...] permitindo um diálogo com outras abordagens teóricas na economia e nas ciências sociais.

Em termos histórico-conceituais¹¹, a literatura tem dividido em três rodadas de elaboração do conceito (ALBUQUERQUE, 2004, p. 9). A primeira rodada foi concebida, ainda, na década de 70, estando relacionada aos fundamentos teóricos, vinculando-se ao próprio desenvolvimento da abordagem evolucionista/neoschumpeteriana como teoria econômica de oposição ao *mainstream*. Destaca-se, no período, a primeira edição do *Economics of Industrial Innovation*, de Freeman, em 1974; a coletânea de artigos de Rosenberg, denominado de *Perspectives of Technology*, em 1976, e o artigo de Nelson e Winter “*In search of a useful theory of innovation*” (ALBUQUERQUE, 2004, p. 9). Esses trabalhos, portanto, possuem a expressão de investigarem, pioneiramente, inúmeras dimensões do progresso tecnológico, colocando a questão da ciência e da tecnologia como um tema decisivo na economia, estipulando, posteriormente, uma vasta e diversificada produção teórica e empírica.

A segunda rodada foi aberta com vistas à proposição do conceito de SNI, no final da década de 80. Há destaque para a obra coletiva “*Technical Change and Economy Theory*”, publicada em 1988. Como resultado das discussões do período, “há uma demonstração da riqueza do conceito e sua capacidade de ampliar a capacidade de compreensão dos processos de desenvolvimento e das causas da

¹⁰ Para aprofundamento ver amparo teórico em Freeman (1987); Lundvall (1992); Metcalfe (1997); Edquist (1997) e Cassiolato et al. (2005).

¹¹ Existe, nessa senda, uma polêmica referente à primeira referência ao conceito de Sistema Nacional de Inovação, que paira sobre a autoria de Freeman e Lundvall. Lundvall (1992, p. 16) atribui o termo a Freeman e Freeman, por sua vez, em artigo publicado na Revista Brasileira de Inovação, atribui a Lundvall. Para mais informações vide ALBUQUERQUE, 2004, p. 9.

estagnação tecnológicas de vastas regiões do planeta”¹².

Por fim, a terceira rodada é atribuída à data de 1995, com a publicação do texto de Freeman “*The National System of Innovation in historical perspective*”, cujo artigo reúne os avanços dos estudos do final dos anos 80 e início dos anos 90, permitindo novas indagações e a formulação de novas agendas de pesquisa.

Conforme Cassiolato et al. (2005):

As razões que explicam porque a abordagem de sistemas de inovação (SI) atraiu tanto interesse como ferramenta que permite compreender e orientar os processos de criação, uso e difusão do conhecimento estão relacionadas ao renascimento do interesse em compreender as mudanças técnicas e as trajetórias históricas e nacionais rumo ao desenvolvimento. Foi particularmente relevante o fato de o conceito ter sido criado e desenvolvido em meados dos anos 80, exatamente quando tomava corpo, e rapidamente se difundia, a tese sobre a aceleração da globalização econômica que, inclusive, foi associada à hipótese de uma certa tendência ao tecnoglobalismo. O desenvolvimento desta abordagem reforçou o foco no caráter localizado (e nacional) da geração, assimilação e difusão da inovação em oposição à ideia simplista de um suposto tecnoglobalismo. A capacidade inovativa de um país ou região é vista como resultado das relações entre os atores econômicos, políticos e sociais, e reflete condições culturais e institucionais próprias.

A partir da concepção conceitual do SNI, verifica-se que, através de sua condição de construção analítica, este poderá fornecer uma estrutura sólida para a compreensão e para o entendimento do cenário econômico da nanotecnologia.

3.2 SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO E NANOTECNOLOGIAS: FUNDAMENTOS PARA A ANÁLISE DO AMBIENTE DA NANOTECNOLOGIA

A partir da concepção de paradigmas e de trajetórias tecnológicas da literatura neoschumpeteriana, especialmente nos estudos de Dosi (1984), verifica-se como determinadas mudanças e novas lógicas foram, e são, capazes de trazer transformações revolucionárias com potencial de modificar toda uma estrutura econômica e social. Essas transformações estão relacionadas à emergência de novas tecnologias, que trazem consigo uma nova lógica capaz de modificar as relações sociais e econômicas de toda uma geração (ou gerações), configurando-se

¹² Albuquerque afirma que Dosi et al. (1994) e Fagerberg (1994) são exemplos do tipo de intervenção que os neo-schumpeterianos realizaram no debate e da crítica às simplificações teóricas e às generalizações não fundamentadas que tipificaram intervenções menos consistentes do *mainstream* econômico sobre o tema (ALBUQUERQUE, 2004, p. 11).

como um novo paradigma tecno-econômico. É nesse contexto que se busca identificar novas tecnologias ainda não consolidadas e com grande potencial revolucionário.

Esse período, apesar de grande incerteza, configura-se como uma janela de oportunidade para empresas e para países destacarem-se no conhecimento e na produção dessas tecnologias, contexto este que se insere a análise das nanotecnologias. Ademais, o advento de um novo paradigma tecno-econômico traz consigo uma série de inovações radicais e incrementais que se espalham por todo o sistema econômico e social, levando ao surgimento de toda uma gama de novos produtos e de novos processos, momento este que ocorre o processo de “*destruição criadora*” schumpeteriano (SCHUMPETER, 1942, p. 81).

No cenário retro, oportunidades se abrem para que novas firmas e, sobretudo, países ganhem destaque no desenvolvimento das novas tecnologias advindas do novo paradigma. A literatura neo-schumpeteriana enfatiza que as trajetórias que emergem de um paradigma tecno-econômico raramente são “naturais”, impulsionadas apenas por fatores científicos e tecnológicos externos. Fatores econômicos e sociopolíticos são também importantes na determinação de trajetórias tecnológicas em diferentes países.

Assim, o processo de seleção ocorre dentro de um ambiente específico, no qual a qualidade das instituições técnicas e científicas, das estratégias do setor privado, dos estímulos e dos financiamentos às inovações, cumpre papel fundamental, possuindo o Estado uma função de atuação particularmente importante na concepção do ambiente no qual essa nova trajetória de desenvolvimento será configurada, relacionado à elaboração e à coordenação de iniciativas que estimulem e criem as condições para que essa nova concepção possa florescer.

3.2.1 Da geração da inovação no Sistema Nacional de Inovação: modelos de inovação e de aprendizado

O sucesso na coordenação de políticas estatais, aliado às interações entre os agentes e suas capacidades de absorção em momentos de grandes mudanças técnico-econômicas, aponta para a habilidade do “aprendizado com essas

mudanças e capacidade de explorar as novas oportunidades” (NELSON; WINTER, 1982, p. 117).

Ao longo das décadas de 1960 e 1970, duas abordagens opostas surgiram tentando explicar os elementos comuns do processo de inovação e os fatores indutores das atividades inovativas (DOSI, 1984). A primeira enfatizava as forças de mercado como o principal determinante do progresso técnico (teorias da “indução pela demanda” - *demand-pull*) e a segunda definindo tecnologia (ou ciência) como um processo relativamente autônomo que leva ao progresso técnico (teorias do “impulso pela tecnologia” - *technology-push*).

Trata-se de modelos que influenciaram a própria criação dos primeiros indicadores de CT&I; processos esses que ocorrem por intermédio de etapas mais ou menos estanques e em sequência, nas quais, primeiro, como resultado da pesquisa básica, seria gerado o conhecimento científico, sobre o qual poderia ser desenvolvida a pesquisa aplicada e, posteriormente, o desenvolvimento experimental e a invenção como respectiva produção (VIOTTI; MACEDO, 2003, p. 55).

Os modelos lineares estão profundamente associados ao famoso relatório Vanner Bush – *Science: the endless frontier* (BUSH, 1945), que estabeleceu as bases da política de C&T norte-americana no pós-guerra e que exerceu enorme influência na definição dessas políticas em muitos países. Além da sua simplicidade atraente, conforme Viotti e Mace (2003, p. 56) “a popularidade do modelo linear entre cientistas e pesquisadores reside especialmente na importância seminal atribuída por esse modelo à pesquisa básica”, tratando-se de pesquisa realizada com vistas à expansão do conhecimento em geral e para a compreensão da natureza e de suas leis, contudo sem qualquer objetivo prático em mente – de natureza eminentemente estática.

Segundo Dosi (1984), essas visões lineares do processo de inovação, não conseguem retratar a complexa estrutura de retroalimentação entre o ambiente econômico e as direções das mudanças tecnológicas, sendo necessário definir, de forma mais geral possível, a natureza dos mecanismos interativos (FAGERBERG, 2005).

Desde a década de 1950, portanto, o processo de inovação foi dominado por esta visão linear, em que um processo sequencial e hierárquico, partindo da invenção para a inovação, foi traduzido como iniciado da pesquisa fundamental

(básica) para a pesquisa aplicada, e desta para o desenvolvimento do produto/processo e conseqüente produção e comercialização. Essa relação de causalidade, portanto, partia da ciência (na forma da pesquisa básica) para a tecnologia (pesquisa aplicada e desenvolvimento), sendo esta última considerada como a aplicação do conhecimento científico previamente disponível (PEIXOTO, 2010).

Apesar de ter alcançado o *status* de paradigma dominante do entendimento do processo científico e de suas relações com o desenvolvimento tecnológico na segunda metade do Século XX (STOKES, 1997, p.4), a complexidade dos processos de inovações vem trazendo, a reboque, um combate, no meio acadêmico, à linearidade, em especial por autores neo-schumpeterianos, que abordam a política de inovação no contexto dos sistemas de inovação (ROSENBERG, 1982; KLINE; ROSENBERG,1986). A abordagem linear exclui os efeitos interativos e sistêmicos do processo de inovação, componentes esses que são essenciais para o sucesso da inovação. Ademais, o processo de inovação envolve relações extremamente complexas entre um conjunto de importantes variáveis – invenções, inovações, trajetórias de difusão e atividades de investimento. A P&D deve ser vista, portanto, como uma condição necessária, porém não suficiente para viabilizar a comercialização de novos produtos e a efetiva aplicação de novas técnicas de produção (ROSENBERG, 1994). Assim, qualquer modelo que descreva a inovação como um processo simples e unívoco, ou atribua a sua origem a uma única fonte, distorce a realidade complexa e contingente do processo inovativo.

As críticas na literatura, destarte, concentram-se na compreensão do processo de inovação como um fenômeno compartimentalizado e sequencial, no qual a empresa desempenha, basicamente, o papel de uma simples usuária da tecnologia.

Essas críticas, pois, levaram a esforços para o desenvolvimento de modelos alternativos (VIOTTI; MACEDO, 2003, p. 57), destacando-se, nessa senda, o modelo de elo de cadeia (*chain-linked model*), desenvolvido por Kline e Rosenberg (1986). Esse modelo enfatiza a concepção de que a inovação é resultado de um processo de interação entre oportunidades de mercado e a base de conhecimentos e capacitações da firma. Segundo Kline e Rosenberg (1986, p.25):

Envolve inúmeros subprocessos, os quais apresentam uma sequência ou progressão claramente definida, e seus resultados são altamente incertos. É comum a ocorrência de interações ou realimentações (*feedbacks*) entre diversos subprocessos e, mesmo, o próprio retorno às etapas anteriores do desenvolvimento para aperfeiçoamento ou para a solução de problemas surgidos ao longo do processo de inovação. A efetiva integração entre os diversos subprocessos, especialmente entre etapas de comercialização e de invenção e projeto, é vista como um dos fatores determinantes do sucesso no processo de inovação.

Por conseguinte, nesse modelo a empresa não é uma simples compradora de tecnologias, ela está posicionada no centro do processo de inovação, e a pesquisa não é vista como fonte das ideias inventivas, mas sim como uma atividade adjunta ao processo de inovação. Segundo Smith (1998, p.15) no modelo elo de cadeia, a inovação não é um processo sequencial, mas envolve, muitas interações e realimentações. A interatividade, cuja forma une o impulso tecnológico à demanda de mercado, enfatiza a natureza da inovação, evidenciando que é resultado da interação do mercado, da base científica e das capacidades de organização. Todo o processo de indução da inovação é pensado como um conjunto complexo de caminhos comunicativos, por meio dos quais o conhecimento é transferido (TROTT, 2012, p.25)¹³.

Sendo assim, essa (nova) forma de entender o processo de inovação reflete importantes implicações tanto para as políticas e para as estratégias tecnológicas, quanto para a forma de monitoramento do processo de inovação (VIOTTI; MACEDO, 2003, p. 59). A percepção de um modelo interativo como transcendência de concepções lineares, alinha-se com a complexidade dos novos processos de inovação do Século XXI, trazendo para o centro do palco a empresa e sua base de conhecimento e capacitações, enfatizando o apoio ao fortalecimento da capacitação tecnológica das empresas e de suas relações com as instituições de pesquisa.

Ressalta-se, nesse contexto, portanto, a fundamental atuação do Estado enquanto formulador de políticas para o estímulo à inovação e, mais do que isso, para coordenar as políticas de forma que elas não se anulem e tenham o “efeito desejado sobre o sistema que se pretende criar/estimular/desenvolver, ou seja, atuar para que ele funcione como um sistema coordenado e alinhado pela interatividade”

¹³ Conforme visto nos capítulos anteriores, a nanotecnologia vem exigindo dos Sistemas Nacionais de Inovação atitudes mais dinâmicas e interativas, transformando modelos lineares amplamente consagrados, como o dos EUA.

(PEIXOTO, 2013, p. 67), podendo-se atuar como uma importante ferramenta para o progresso.

3.2.2 Nanotecnologia: uma “nova onda” no Sistema Nacional de Inovação?

A literatura sobre a nanotecnologia tem destacado vários elementos de processos e políticas de incentivo e promoção à nanotecnologia que se distanciam da concepção tradicional e linear de apoio a ciência básica (*technology-push*) na (nova) estrutura do sistema de inovação nacional.

Conforme afirma Mowery “*the ‘new wave’ is most apparent in the characteristics of federal-government funding of nanotechnology R&D and in the inter-institutional relationships that characterize nanotechnology R&D and innovation*” (MOWERY, 2011, p. 699). Esse novo regime é caracterizado por uma ênfase sobre a utilidade da ciência e do alistamento de pesquisa acadêmica aplicada e interativa como um “motor tecnocientífico de criação de riqueza para toda a economia” (MCCRAY, 2005, p. 192).

O Programa interministerial do governo federal dos EUA para apoio ao P&D em nanotecnologia, *National Nanotechnology Initiative* (NNI), é um exemplo privilegiado desse processo de inflexão do Sistema Nacional de Inovação. Trata-se de um processo que, em razão da alta intensidade tecnológica, tem buscado maiores interações e aplicações da tecnologia desenvolvida na Universidade como forma de impulsão econômica.

Historicamente o Sistema Nacional de Inovação americano, desde 1945 com o relatório “*Science - The Endless Frontier*”, com o financiamento federal da ciência, enfatizou a pesquisa básica, estabelecendo uma relação de autonomia concedida aos cientistas e aos acadêmicos em estabelecer as suas prioridades de pesquisa. As ações projetadas e realizadas pelo NNI representam uma significativa mudança na concepção do processo de indução da inovação, rompendo com a filosofia subjacente do apoio federal de P&D em ciência básica.

Conforme Mowery (2011, p. 700):

In the 1950s and 60s, science and technology policy was guided by the ‘pipeline’ model of the relationship of science to technology championed by Vannevar Bush [...]. In this scheme, federally funded basic science would

provide the new knowledge that underpinned new technological developments. Government spending needed to focus on basic, non-targeted research because this kind of scientific work was both fundamental and less attractive to the private sector [...]. As economic circumstances worsened after 1973, policy makers wanted to demand more economic bang for their research buck. American scientific research had to be part of the solution: American scientific superiority needed to translate into economic performance. But to do so, the role of the federal government had to change, and these changes took over a decade to put into place.

Verifica-se, desse modo, que o financiamento público de P&D em nanotecnologia acadêmica tem sido motivado nos países líderes, especialmente no modelo americano¹⁴, em face do interesse em resultados econômicos, em vez de um compromisso com o avanço do conhecimento fundamental. Em parte devido a esta ênfase nos resultados relacionados com a inovação, a NNI também enfatiza a colaboração entre Universidade-Indústria e a transferência de tecnologia.

A criação de ambientes que possam contribuir para o desenvolvimento econômico da nanotecnologia, através da idealização de programas e de políticas de incentivo e de promoção de P&D, relaciona-se a novos recursos, sejam de ordem financeira, como de intensidade tecnológica e representam desafios para o futuro dos sistemas nacionais de inovação.

Conforme visto no primeiro capítulo, a nanotecnologia apresenta características próprias, representando o início de um novo caminho na história tecnológica mundial, emergindo novas formas de condução de políticas de incentivo e de promoção aos Sistemas Nacionais de Inovação.

Mowery (2011, p. 711) aponta algumas características apresentadas pelo Sistema Nacional de Inovação de países líderes em tecnologia nano:

1) the intensive patenting of nanotechnology discoveries, including many that are well “upstream” from commercial application; (2) the intensive patenting of nanotechnology discoveries by research universities that seek to “transfer” these research advances to commercial application through licensing; and (3) the emergence of a vertically specialized structure for innovation in nanotechnology at an early stage of the technology’s development.

Como uma tecnologia emergente na “era pro-patente”, as atividades de PD&I em nanotecnologia têm sido caracterizadas por extenso patenteamento, e alguns observadores argumentam que essas patentes cobrem, agora, conceitos científicos,

¹⁴ Este modelo de Iniciativa Nacional em Nanotecnologia do Governo Americano será analisado com mais profundidade no próximo capítulo.

ao invés de inovações que estejam mais perto de comercialização. Esta característica da nanotecnologia contrasta com as inovações tecnológicas do pós-guerra anteriores, como semicondutores, *hardware* e *software*, os quais enfrentaram um ambiente de políticas de direitos de propriedade intelectual que era mais hostil ao titular dos direitos de propriedade intelectual.

O rápido crescimento do patenteamento mundial em nanotecnologia tem sido impulsionado, em grande parte, por universidades, outra característica nova e potencialmente desafiadora para o sistema nacional de inovação em sua concepção tradicional. Os dados da OCDE, trazidos no capítulo inicial dessa dissertação, evidenciam características de grande relacionamento de empresas com Universidades em projetos de PD&I em nanotecnologia, em razão da alta intensidade tecnológica abarcada, que marca essa nova “onda tecnológica” por transcender barreiras geográficas da firma, em constantes movimentos de *open innovation*, especialmente em atividades de Interação Universidade-Empresa (IUE).

Ademais, a estrutura da inovação industrial em nanotecnologia na “era pró-patente” contrasta com a estrutura de inovação em outros segmentos pós 1945, particularmente com os segmentos de semicondutores e de computadores. A Inovação no início do desenvolvimento destas indústrias era dominada por empresas industriais integradas verticalmente, que conduziram a investigação fundamental, o desenvolvimento dos novos produtos, a sua fabricação e a comercialização dentro de uma única organização (em muitos casos, produzindo o equipamento necessário para a fabricação de semicondutores ou de componentes de computador). Com o desenvolvimento da nanotecnologia, verifica-se um processo de abertura dessas firmas, especialmente em termos de Interação Universidade-Empresa, possuindo a Universidade papel fulcral para a construção dos projetos de PD&I em nano, desempenhando, doravante, um papel de destaque como fonte de avanços tecnológicos ou de criação de empresas de natureza “*spin off*” (MOWERY, 2011, p. 702).

A emergência da “*vertically specialized structure of innovation*”, no contexto da nanotecnologia, reflete a interação de vários elementos novos do ambiente desafiador criado por essa nova tecnologia.

A mudança no papel das universidades, bem como mudanças mais amplas na política de direitos de propriedade intelectual, são características que emergem nesse novo caminho traçado pela tecnologia, fazendo insurgir, ademais, uma nova

concepção de Sistema Nacional de Inovação para fins de criação de um ambiente propício à nanotecnologia.

Assim, os dados acima apontam para uma nova estrutura institucional para fins de políticas públicas de incentivo e de promoção à nanotecnologia, representando-se um afastamento, a partir de características acima trazidas, de um Sistema Nacional de Inovação baseado tão somente em um modelo de *technology-push*, evidenciando a confirmação de um olhar interativo ao modelo de inovação e de aprendizado no cenário da nanotecnologia¹⁵.

3.3 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

A estruturação do primeiro capítulo possibilitou a contextualização e a caracterização da nanotecnologia, abrindo o caminho para a análise teórica em epígrafe. A partir da compreensão das especificidades da nanotecnologia, foi possível ingressar na seara teórica e na concepção analítica que sustenta a ideia de Sistemas Nacionais de Inovação.

O capítulo terceiro buscou, dessarte, em um primeiro momento, revisitar o quadro analítico dos principais autores sobre Sistema Nacional de Inovação, destacando os esforços de Freeman, Lundvall e Edquist, evidenciando o papel do Estado no caráter pró-ativo voltado para a coordenação e para a indução dos processos de transformação produtiva, visando internalizar os benefícios potenciais proporcionados por tecnologias de um novo paradigma tecnológico.

A partir do entendimento da construção analítica dos Sistemas Nacionais de Inovação foi possível entender a dinâmica da nanotecnologia buscando-se a compreensão da geração da inovação dentro dos Sistemas Nacionais de Inovação.

Ao longo das décadas de 1960 e 1970, duas abordagens opostas surgiram buscando explicar os elementos comuns do processo de inovação e os fatores indutores das atividades inovativas (DOSI, 1984), quais sejam: o impulso tecnológico e a demanda de mercado. A análise teórica trazida à baila evidenciou o combate da literatura na defesa de processos de indução da inovação em formas lineares, desafiando a construção de uma (nova) estrutura interativa aos Sistemas Nacionais

¹⁵ A análise das características do SNI brasileiro será desenvolvida no início do capítulo cinco.

de Inovação. Tal constatação possibilitou o avanço da estrutura do capítulo, abrindo as portas para a análise de uma nova “onda” nos Sistemas Nacionais de Inovação.

Assim, objetivando a conclusão articulada do capítulo, o último item buscou trazer elementos ao leitor que evidenciem a mudança na forma de pensamento e de estruturação dos Sistemas Nacionais de Inovação, a partir da revolução das nanotecnologias. Esse novo regime da inovação vem se caracterizando, em países líderes, por uma ênfase sobre a utilidade da ciência e do alistamento de pesquisa acadêmica aplicada e interativa como um "motor tecnocientífico de criação de riqueza para toda a economia" (MCCRAY, 2005, p. 192), transcendendo a concepção tradicional e linear de apoio e de protagonismo, tão somente, da ciência básica.

Estudos da literatura econômica a respeito da nanotecnologia, com destaque a Mowery, apontam algumas características apresentadas pelo Sistema Nacional de Inovação de países líderes em tecnologia nano, como analisado acima.

Diante de todo exposto, é possível afirmar que a literatura tem apontado para novos desafios acerca do futuro dos Sistemas Nacionais de Inovação, especialmente em termos de criação de ambientes que possam contribuir para o desenvolvimento econômico da nanotecnologia, através de criação de programas e políticas de incentivo e de promoção de P&D com foco específico em nanotecnologia.

Sendo assim, a partir das contribuições teóricas apresentadas nesse capítulo, será possível avançar para uma análise de experiências internacionais de países líderes no desenvolvimento da nanotecnologia e do cenário da nanotecnologia no Brasil; direção essa pretendida nas próximas seções. Buscar-se-á, pois, investigar a experiência de países líderes no desenvolvimento da nanotecnologia no que diz respeito à criação de um cenário com vistas a oportunizar um ambiente empresarial “nanoestimulante” às suas empresas para fins de exploração de “espaços cada vez menores”.

4 EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS AO DESENVOLVIMENTO DA NANOTECNOLOGIA

A percepção de que uma tecnologia é revolucionária e promissora de mudanças radicais, capazes de mudar toda estrutura de um país, e advogar pela sua exploração nos seus estágios iniciais, sem dúvida, trata-se de uma rara oportunidade, apesar dos riscos e das incertezas envolvidos. O papel do Estado, nesse contexto, se torna fundamental no desenho de seu Sistema Nacional de Inovação com políticas que visem disponibilizar as condições materiais e estruturais necessárias para que essas inovações potenciais se concretizem.

Geralmente, os países que melhor dominam essas tecnologias emergentes, desde o início, costumam ter papel de destaque no momento de sua difusão. No final dos anos 1950 e ao longo da década de 1960, os EUA estabeleceram uma definitiva fronteira tecnológica de semicondutores, induzida, sobretudo, por mecanismos de coordenação e de planejamento implicitamente propiciados por políticas públicas. No final desse processo, emergiu uma liderança tecnológica norte-americana muito fortalecida (DOSI, 1984).

Seja como for, em ambos os casos, a mudança técnica está presente, e novas tecnologias vêm ganhando cada vez mais espaço em políticas industriais e de inovação em diversas economias, reforçando a ideia de que se vivencia um período no qual novas tecnologias com o potencial de modificar o cenário produtivo mundial estão se consolidando (PEIXOTO, 2013).

Diversas novas tecnologias e fontes de energia vêm sendo apontadas como potenciais para assumir um papel de destaque no advento de um novo ciclo de crescimento e de desenvolvimento. Entre essas, a nanotecnologia tem sido considerada uma tecnologia estratégica chave, sendo objeto de políticas específicas de fomento em diversos países, conforme se depreende dos estudos de Schaper-Rinkel (2013, p. 445):

As science and technology become more central to economic development, the question of future-oriented governance of emerging technologies gets raised repeatedly. A decade ago, the question addressed how to maximize the contribution of such technologies to economic innovation with the intention of enhancing competitiveness. Today, the question also includes how to use these technologies to tackle societal challenges and to contribute to environmental sustainability. In both rationales, different types of future-oriented technology analysis (FTA) are used to determine national science and technology priorities, to develop governance frameworks and to address

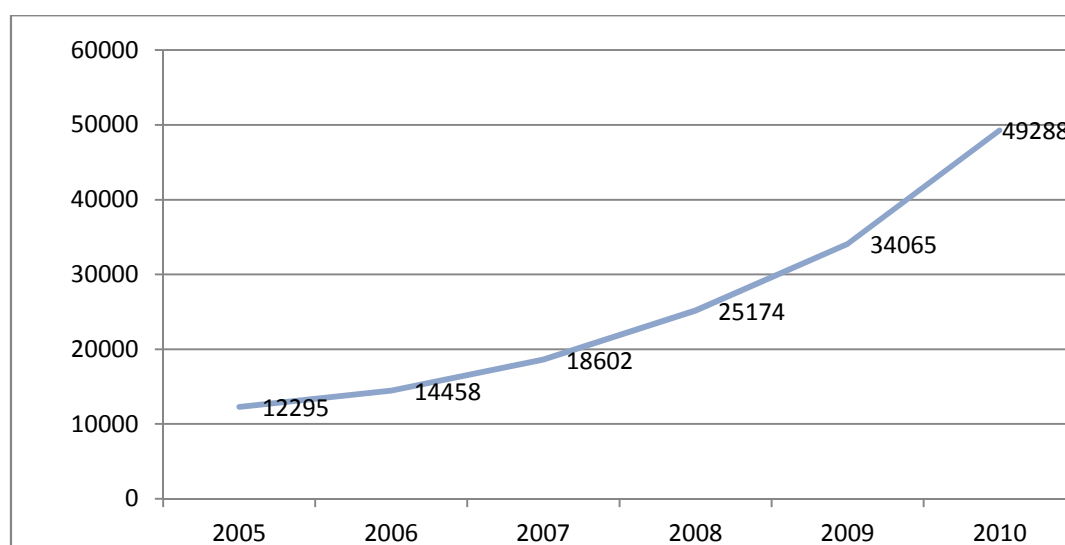
national innovation systems. In the case of nanotechnology, a variety of FTA activities have been in use over the last quarter of a century to structure the field itself and to establish governance structures in the field of nanotechnology.

Ademais, um elemento fundamental dos países que conseguiram equiparar-se, com sucesso, aos países líderes, durante os Séculos XIX e XX, residiu no ativo apoio governamental ao processo de emparelhamento, envolvendo várias formas de proteção e de subsídios, diretos ou indiretos, e de políticas em Sistemas Nacionais de Inovação (CIMOLI et al., 2007, p. 66).

A percepção, portanto, de que a nanotecnologia representa um novo patamar do conhecimento, com imensos e, ainda não devidamente mensurados, impactos científicos e econômicos, tem levado diversos países líderes, como EUA, Alemanha, Rússia, China e, também, a União Europeia, em termos de bloco econômico, a desenhar iniciativas nacionais e transnacionais de incentivo e de financiamento privilegiado à área, visando novos níveis de competitividade de suas empresas.

Em uma visão global, investimentos mundiais (públicos e privados) estão em crescimento em progressão geométrica, com estimativa para 2015, ultrapassando a casa de 3 (três) trilhões de dólares e 12 (doze) trilhões para 2020 (PIB, 2010), conforme gráfico abaixo.

GRÁFICO 1 - Investimentos públicos e privados em nanotecnologia no mundo
(trilhões de dólares)



Fonte: ABDI, 2010.

Diante do exposto, o presente capítulo tem por objetivo apresentar as principais diretrizes das políticas desenhadas em países líderes em nanotecnologia ao longo da última década. Essas políticas serão analisadas à luz da abordagem de Sistemas de Inovação, na medida em que o foco se concentra na abordagem sob o viés teórico de promoção de um conjunto de elementos e de interações capazes de gerar inovações, propiciando um ambiente de estímulo às inovações nas empresas.

4.1 A TRAJETÓRIA AMERICANA E A ALEMÃ EM NANOTECNOLOGIA: “MOLDANDO O MUNDO ÁTOMO A ÁTOMO”?

Se comparado com outros países líderes, EUA e Alemanha começaram a avaliar a situação e as tendências futuras na área da nanotecnologia muito antes dos demais países desenvolvidos, possuindo classificação elevada no que diz respeito aos indicadores de entrada e de saída em termos de PD&I, tais como publicações e depósitos de patentes. Mais de quinze anos se passaram desde que o Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia dos Estados Unidos publicou a sua primeira visão para pesquisa e desenvolvimento de nanotecnologia e que a Alemanha estabeleceu o seu programa de financiamento público.

Emergindo uma característica em comum, verifica-se que ambos os países partiram de uma abordagem via Sistema Nacional de Inovação, com o objetivo de entender o que a nanotecnologia é e como ela é regida, focalizando os processos de governança associados ao seu desenvolvimento e, em seguida, reconhecendo que o surgimento da nanotecnologia não é apenas oriunda de manipulações em laboratórios, mas também em processos como previsão tecnológica, avaliação de tecnologias e futuro participativo, envolvendo cientistas, indústria, políticos, mídia e outros participantes públicos (SCHAPER-RINKEL, 2013, p. 446), especialmente em razão da sua característica multidisciplinar.

Em termos de marco histórico de políticas de promoção e de incentivo à nanotecnologia, o início da história da nanotecnologia como uma tecnologia emergente é heterogênea (NORDMANN, 2008, p. 43). Na década de 1980, um primeiro programa de financiamento foi criado no Reino Unido, no entanto, desde então, esta tem caído no esquecimento, normalmente sendo atribuído o pioneirismo à Alemanha e aos EUA.

Normalmente, duas são as visões dos EUA o vistas como o ponto de partida da nanotecnologia como uma tecnologia emergente. A visão individual precoce de Eric Drexler, que previu uma visão de futuro distante da manufatura molecular no final de 1980, foi, então, a primeira. Em seu livro "*Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*", Drexler alertou sobre o alcance de novas ideias sobre as possibilidades e os riscos de tecnologias em nanoescala. Ele imaginou máquinas moleculares programadas por nanocomputadores integradas para executar tarefas específicas e criar máquinas moleculares capazes de manipular átomos individualmente e construir artefatos, utilizando-se, precisamente, da ferramenta de engenharia *bottom-up*. Drexler tornou-se uma figura-chave para esta nova visão tecnológica e suas ideias tornaram-se um ponto de referência disputada no debate em torno da nanotecnologia entre os anos de 1980 e 1990. Seu trabalho foi muito influente no início da história da nanotecnologia em que fotografa uma nova revolução industrial através da nanotecnologia (DREXLER, 1992, p. 24).

A segunda visão foi apresentada ao grande público, em 2000, pela Iniciativa Nacional de Nanotecnologia dos Estados Unidos, iniciativa esta denominada de "*Nanotecnologia - Moldando o mundo átomo por átomo*" (SCHAPER-RINKEL, 2013, p. 446).

No final da década de 1990, a comunidade política científica dos Estados Unidos estabeleceu uma estrutura organizacional em torno das nanotecnologias e desenvolveu uma visão de P&D específica. Isso começou em 1998, quando o Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia (NSTC) - o principal órgão executivo responsável pela coordenação política, científica e tecnológica, foi formalmente criado com um grupo de trabalho específico, denominado de Grupo Interinstitucional de Trabalho sobre Nanociência, Engenharia e Tecnologia (IWGN), incluindo membros de diferentes departamentos governamentais e agências¹⁶.

O programa reuniu dez departamentos e agências independentes: departamentos de Defesa; de Energia; de Justiça; de Transportes; de Agricultura; a Agência de Proteção Ambiental; a NASA; o Instituto Nacional de Saúde; o Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia e a Fundação de Ciências Naturais (VON DE

¹⁶ Participating agencies included the Department of Commerce (DOC), Department of Defense (DOD), Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), Department of Energy (DOE), Department of Transportation (DOT), National Aeronautics and Space Administration (NASA), National Institutes of Health (NIH), and the National Science Foundation (NSF) (SCHAPER-RINKEL, 2013, p. 446).

KOKEN, 2006). Com a sua criação, diversas pesquisas na área de nanotecnologia foram desenvolvidas em centros interdisciplinares (PEIXOTO, 2010, p. 115).

Conforme Schaper-Rinkel (2013, p. 450):

In 1999, the NSTC conducted a series of studies and published reports on the status of and trends in nanotechnologies. The studies brought together science and technology assessment of different fields of what would then be called "nanoscale science and technology". Visits to leading research laboratories in Japan and Europe and workshops held in the United States, Europe, and Russia were used to gather additional information for worldwide studies in the field of nanostructure science and technologies. The resulting report most explicitly related to future orientation was the IWGN workshop report on nanotechnology research directions, which included a "Vision for Nanotechnology Research and Development in the Next Decade". Vision building at this stage was accompanied by early cooperation and coordination between and among agencies and departments of the federal government. In their work within the IWGN, the participating agencies and departments stated their major interests in nanotechnology, proposed themes for R&D support and stated their planned contributions of their programs to the nanotechnology initiative. Over 150 participants and contributors from government, science, and industry were involved in developing the vision. Nearly all of the experts from academia came from the natural sciences and engineering. Only one expert was from toxicology, and no experts represented the social sciences, humanities, innovation studies, environmental studies or science and technology studies. At this stage, the FTA activities did not involve a broad range of stakeholders. Rather, it was a process driven by technology experts.

O relatório oriundo do workshop IWGN em epígrafe trouxe contribuições a respeito do "impacto social da nanotecnologia", contendo uma "visão do futuro" e direcionando dois fatores que "iriam determinar a competitividade dos indivíduos, organizações e nações". Estes fatores são: "a) how fast people adapt and how smart they become about the application of nanotechnology solutions e b) those societies that support nanotechnology education, research, and development the fastest will thrive in the new millennium" (NSTC, 1999).

Assim, o relatório desenvolvido concluía que as sociedades que apoiassem a educação e a pesquisa e o desenvolvimento da nanotecnologia iriam prosperar mais rápido no novo milênio, demonstrando que o relatório representou uma relação orientada para o futuro da tecnologia, especialmente em termos de formulações de política de incentivo e de promoção à nanotecnologia, caracterizado como um modelo de inovação linear e orientado para a ciência (NSTC, 1999). Neste modelo, a tecnologia resulta de pesquisa, considerando que a sociedade tem de se adaptar a tecnologia para fazer suas aplicações de sucesso. Por sua vez, o papel do governo é melhorar e acelerar a absorção de tecnologia por meio de financiamento,

educação e sensibilização, criando um ambiente de estímulo e de promoção. Assim, como considerada pelo Governo Americano, “*that nanotechnology will lead to the next industrial revolution*” (NSTC, 1999). Os EUA, em 1999, duplicou a verba pública direcionada à Engenharia, Pesquisa e Desenvolvimento e Nanociência, ultrapassando, já naquela época, a casa de 255 milhões de dólares (SCHAPER-RINKE, 2013, p. 451).

Nos anos seguintes à implementação da NNI, a NSTC (*National Science and Technology Council*) sucedeu ao IWGN, iniciando trabalhos com vistas às questões sociais e regulatórias. Desde 2004, o risco tornou-se o assunto de preocupação política, bem como objeto de análise. Conforme tabela de estudo realizado por Justo-Hanini e Dayan (2013, p.2875), verifica-se temporalmente a criação de normas de regulamentação da nanotecnologias nos EUA, evidenciando a referida preocupação.

TABELA 2 - Criação de Marcos Regulatórios em Nanotecnologias nos EUA¹⁷

Área de regulação	Ano	Instrumento regulatório	Política adotada
pré-fabricação	2008	regulação administrativa	regulação dos nanotubos de carbono como um instrumento químico
pré-fabricação	2010	regulação administrativa	inserção de novos elementos químicos com uso de nanotecnologia
pré-fabricação	2012	regulação administrativa	requisitos de informação mais rigorosos na manipulação de nanotubos de carbono
pós-fabricação	2011	lei	expansão de requisitos e aumento da frequência de informação referente a nanotecnologia à indústria
pós-fabricação	2011	regulação	restrição/diminuição do poder de barganha do setor privado

Fonte: Adaptado de JUSTO-HANINI; DAYAN, 2013, p. 2875.

A Tabela acima apresenta algumas tendências em termos regulatórios nos EUA. Pelo menos quatro processos regulatórios foram emitidos desde 2008. Conforme Justo-Hanini e Dayan (2013, p. 2875):

Isto é particularmente importante à luz de uma tendência geral para melhorar a regulamentação ambiental e de segurança do governo dos Estados Unidos como uma chave para a continuação da liderança global, de acordo com a agenda regulatória do presidente Barack Obama. Apesar

¹⁷ Deve-se ressaltar a diferença do sistema jurídico americano, ancorado em um modelo common law de softlaw, focalizando grande poder administrativo às suas agências reguladoras.

(ou por causa) de uma verdadeira incerteza científica, a adoção de regras e princípios que afetam as tecnologias emergentes globais tornou-se, inevitavelmente, uma rotina na política dos EUA.

Em suma, a influência dos Estados Unidos sobre as regras do mercado global em nanotecnologia tem crescido acentuadamente. A quantidade, a abrangência e a variedade de dados que relatam a regulação têm aumentado avultadamente em países desenvolvidos. O modelo regulatório criado pelos EUA tenta, sistematicamente, limitar o poder discricionário da indústria e procura aumentar a autonomia política estatal, influenciando um movimento global em direção a regulação centrada em um sistema coercitivo estatal de estipulação de normas e de regras para a manipulação de átomos e de moléculas em escala nanométrica¹⁸, com forte atuação de suas agências reguladoras.

No que concerne às estratégias americanas em nanotecnologia, em 2010, um relatório de acompanhamento de visão de 1999, intitulado “*Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020*”, combinando uma análise de documentação retrospectiva e prospectivas, orientada para o futuro da nanotecnologia 2000-2010, foi desenvolvido; apresentando-se uma visão para progressos em nanotecnologias para tal período.

As metas definidas no último plano estratégico do NNI estão enraizadas na ideia de “‘*user-centric ecosystem*’ by covering the whole ‘*ecosystem of innovation*’”. O Programa inclui investimentos ainda mais expressivos em P&D, com vistas ao avanço da nanotecnologia, criando, para tanto: a) um programa de desenvolvimento; b) promoção de transferência de novas tecnologias em produtos para o benefício comercial e público; c) investimentos em infraestrutura, incluindo a educação (desenvolver e sustentar recursos educativos, criando-se uma força de trabalho qualificada e infraestrutura de apoio com ferramentas para o avanço da nanotecnologia); d) suporte de desenvolvimento responsável das nanotecnologias com avanço na análise dos riscos e e) ações de coordenação entre as agências e maior engajamento das partes interessadas.

Assim, altera-se, com o decorrer do tempo, também, o modelo inicial de indução da nanotecnologia, fundamentalmente, ancorado em *technology-push*,

¹⁸ Verifica-se, desse modo, uma inflexão na trajetória regulamentadora americana, na medida em que o Sistema, com o passar dos anos, vem aumentando a coercitividade estatal, deixando-se de lado o modelo de autodeclaração das empresas.

passando-se, portanto, a uma abertura mais interativa com outros setores, agentes e áreas do conhecimento.

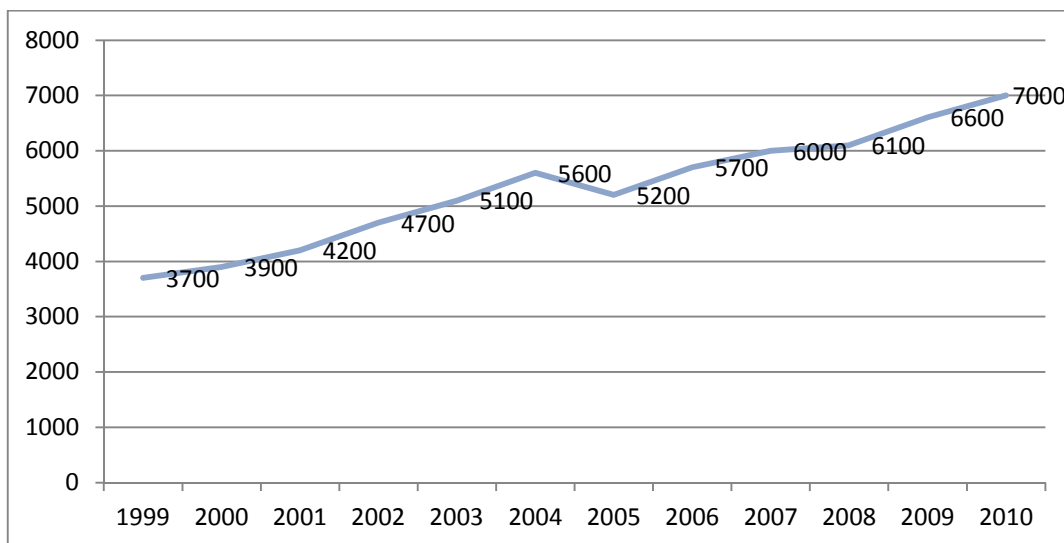
Verifica-se, pois, uma análise mais sistêmica da nanotecnologia, na medida em que o NNI propõe o conceito central para o desenvolvimento futuro ancorado em uma “governança responsável da nanotecnologia”, tratando-se de um conceito enraizado em abordagens para dialogar o meio ambiente, a saúde, a segurança e os impactos sociais da nanotecnologia, com vistas ao desenvolvimento ambientalmente responsável com o uso da gestão de riscos para com as nanotecnologias.

Em termos financeiros, desde a sua criação, o NNI coordenou o desembolso de mais de 14 (quatorze) bilhões de dólares até o final de 2011. Ao canalizar o orçamento em Pesquisa e Desenvolvimento em nanotecnologia, o NNI orienta a direção da pesquisa universitária para a agenda de pesquisa que criou (MOWERY, 2009).

Em 03 de dezembro de 2003, seguindo-se por iniciativa da Administração Clinton, o presidente Bush assinou o "*Century Nanotechnology Research and Development Act 21*", o que garantiu um financiamento de vários anos em pesquisa em nanotecnologia (LAN; KALIL, 2009). O orçamento de 2010 promoveu 1,9 bilhões de dólares americanos para a NNI, refletindo um crescimento constante no investimento; no tocante aos investimentos acumulado até o ano de 2011, os valores ultrapassam os 14 (quatorze) bilhões de dólares. Esta magnitude do orçamento faz com que o NNI, destarte, seja o maior programa do governo dos EUA em Pesquisa e Desenvolvimento desde o programa *Apollo*.

O gráfico abaixo demonstra a evolução de investimentos públicos americanos em nanotecnologia:

GRÁFICO 2 - Investimentos Públicos em Nanotecnologias nos Estados Unidos (milhões de dólares)



Fonte: ABDI, 2010.

À vista disso, é possível afirmar que o NNI é claramente uma iniciativa direcionada do governo no sentido de que não só serve missões gerais do governo na defesa nacional, agricultura, saúde e educação, mas também persegue sua própria missão de garantir a liderança econômica dos EUA via nanotecnologia (JU-JUNG; LEE, 2013, p.18). Em particular, o NNI destina-se a "avançar a produtividade e a competitividade industrial através de investimentos coordenados em nanotecnologia", caracterizando a estratégia como o início de uma intervenção política que enfatiza a comercialização de nanotecnologia e uma direção de pesquisa focada para atingir o crescimento econômico nacional americano. O programa, ademais, define a universidade para além de sua característica fundamental de formação em educação (JU-JUNG; LEE, 2013, p. 21). Conforme definição de Ju-Jung e Lee:

Funding is the main mechanism that the NNI uses to achieve its goals by supporting nanotechnology research. The participating federal agencies have pre-allocated R&D budgets for nanotechnology; the publicized NNI budget represents the collective sum of these agency-level budgets. Federal research grants are awarded by individual agencies in accordance with their respective missions. While the NNI utilizes a traditional government funding system, it drives a national strategic plan for nanotechnology with integrated and unified directions across funding agencies. The NNI has been one of the top priorities in the S&T policy agenda that fomentions do exert significant impacts on university research.

De uma perspectiva teórica, a literatura sobre inovação e desenvolvimento comercial em nanotecnologia tem afirmado que esta representa uma "New Wave" de políticas públicas e de relações interinstitucionais no sistema nacional de inovação dos Estados Unidos (MOWERY, 2011, p.697). Nesse contexto, destacam-se dois elementos constituídos nesse Sistema Nacional de Inovação¹⁹: 1) "*Federal R&D funds are focused on economic objectives*" e 2) "*the policies adopted by US universities in nanotechnology research represent a new form of 'post-academic research', emphasizing the commercialization of discoveries through licensing of academic patents*" (MOWERY, 2011, p. 699).

Johnson (2004) e McCray (2005) argumentam que o apoio da NNI a pesquisa em universidades é um exemplo de "pesquisa pós-acadêmica". Este regime é caracterizado por uma ênfase sobre a utilidade da ciência e do alistamento de pesquisa acadêmica como um "motor tecnocientífico de criação de riqueza para toda a economia".

O financiamento público de P&D em nanotecnologia, dentro da nova estrutura criada pelo NNI, agora, é motivado por um interesse em resultados econômicos, em vez de um compromisso com o avanço do conhecimento científico-fundamental; com ênfase, portanto, nos resultados relacionados com a inovação, como o foco na colaboração universidade-indústria e na transferência de tecnologia.

Sendo assim, conforme Mowery (2011, p.701):

Although some of the claims for novelty in US nanotechnology R&D and policy may be overstated, nanotechnology R&D programs and policies do include new features that pose challenges for the future performance of the US innovation system. These novel features include (1) the intensive patenting of nanotechnology discoveries, including many that are well "upstream" from commercial application; (2) the intensive patenting of nanotechnology discoveries by US research universities that seek to "transfer" these research advances to commercial application through licensing; and (3) the emergence of a vertically specialized structure for

¹⁹ Entendido o Sistema Nacional de Inovação da seguinte forma: "The 'national innovation system' framework for analyzing innovative performance and policy has been an influential area of scholarship for more than 20 years, since the first articulation of the concept in Freeman (1987; see also Lundvall 1992 and Nelson 1993). 'National' innovation systems typically include the institutions, policies, actors, and processes that affect the creation of knowledge, the innovation processes that translate research into applications (either for commercial sale or deployment in such 'nonmarket' contexts as national defense), and processes and institutions that influence the adoption of innovations. As such, the US national innovation system includes not just the institutions performing R&D and the level and sources of funding for such R&D, but policies—such as antitrust policy, intellectual property rights, and regulatory policy—that affect technology development, the training of scientists and engineers, and technology adoption. Institutions and policies ranging from national systems of higher education to corporate finance and governance also are important components of national innovation systems" (MOWERY, 2011).

innovation in nanotechnology at an early stage of the technology's development.

Isso posto, verificam-se mudanças nas características do Sistema Nacional de Inovação com o desenvolvimento da NNI, nos EUA, especialmente no que diz respeito à promoção da interação universidade-empresa e da política de propriedade intelectual, pró-patentes, os quais se combinaram, estrategicamente, com vistas a produzir uma estrutura para a inovação industrial em nanotecnologia.

Diante do exposto, evidencia-se que os programas governamentais de C&T e P&D desenvolvidos pelo Governo Americano, procuram, claramente, facilitar a transferência de tecnologia da universidade para a indústria, objetivando o fortalecimento de seu Sistema Nacional de Inovação, definindo, através da NNI, as orientações para a pesquisa focada de nanotecnologia (JU-JUNG; LEE, 2013), oportunizando um ambiente diferenciado à pesquisa, ao desenvolvimento e à criação de novos produtos e processos em nanotecnologia.

Na Alemanha, a nanotecnologia tem estado na agenda política do Ministério Federal Alemão de Educação e Pesquisa (BMBF) desde o final da década de 1990. Assim sendo, o país foi um dos primeiros - em nível de UE e, também, mundial, a atentar precocemente à nanotecnologia.

As atividades relacionadas à nanotecnologia foram propostas pela BMBF, o principal órgão público na Alemanha, encarregado de promover as investigações pré-comerciais e de desenvolvimento, iniciado no final de 1980, cuja atuação centra-se nos estágios iniciais de análise de tecnologia, análises de mercado e atividades de avaliação da tecnologia (SCHAPER-RINKEL, 2013, p.449). O BMBF encomendou vários estudos em campos relacionados com a nanotecnologia a partir do início de 1990. Os resultados dos exercícios de previsão foram publicados no documento "*Technology Analyses*". Estes relatórios forneceram informações sobre a área de tecnologia, descrevendo aplicações futuras, analisando déficits de pesquisa, e sugerindo recomendações de política.

De 1988 a 1998, a área de nanotecnologia foi monitorada através da análise da literatura, da organização de painéis de especialistas sobre diferentes aspectos da nanotecnologia e com a realização de estudos sobre nano-subcampos específicos, trazendo atores relevantes da ciência e da indústria através de oficinas de discussões. Com o diálogo entre diversos atores, foram identificadas as áreas

promissoras do campo para fins de análise de futuras aplicações “nano” no mercado.

Em 1998, essas atividades de monitoramento e previsão foram seguidas por uma iniciativa do BMBF para estabelecer os primeiros seis centros de competência nacional de nanotecnologia nacional, com financiamento anual direcionado à área, visando o preenchimento da lacuna entre a ciência e a indústria, desde o início das atividades de PD&I, definindo-se as necessidades e os interesses da indústria, especialmente no que tange à transferência de conhecimento entre a indústria e as ciências naturais (SCHAPER-RINKEL, 2013, p.449).

Em 2003, o BMBF desenvolveu uma estratégia nacional para financiamento e apoio da nanotecnologia. A estratégia foi denominada de “*Lead Innovations*” com concentração nos seguintes projetos (BLIND; GAUCH, 2009, p.322):

- *Nanofab* (eletrônica, nanotecnologia para componentes de TIC de alta performance);
- *Nanoforlife* (nanotecnologia para produtos farmacêuticos, tecnologia médica para novas terapias e diagnósticos);
- *Nanomobil* (nanotecnologia para a economia do setor de automóveis);
- *NanoLux* (nanotecnologia para iluminação eficiente da energia);
- *NanoChem* (produção e avaliação da segurança dos nanomateriais para aplicações industriais).

Em 2006, o Ministério Federal do Meio Ambiente, Conservação da Natureza e Segurança Nuclear (BMU) estabeleceu o “*NanoKommission*” - uma comissão das partes interessadas sobre as nanotecnologias - como parte da estratégia de alta tecnologia do governo federal. Em 2007, foi criada a “*Nano-Initiative — Action Plan 2010*”, surgido como uma parte importante da estratégia de alta tecnologia do governo alemão; tal estratégia foi ampliada, posteriormente, para análise de 2015. Como resultados da *NanoKommission*, fora publicado em 2011, um relatório sugerindo que o governo federal alemão estabelecesse uma plataforma interdepartamental para fornecimento de informações nacionais sobre a evolução das atividades em nanotecnologia (ZWECK et al., 2008, p. 777).

Em resumo, as atividades em nanotecnologia por mais de dez anos foram governadas principalmente por um ministério (BMBF), e focadas, em grande parte, sobre as relações ciência-indústria. As atividades foram estrategicamente direcionadas para a construção em áreas já existentes de força, como na indústria automotiva e na micro-eletrônica. Ao contrário dos EUA, não havia nenhuma iniciativa em reunir outros atores, agências e ministérios; diálogo este que começou a ser costurado somente em 2006, após o direcionamento dos financiamentos. Em contraste com os EUA, a Alemanha carece de uma estrutura organizacional que reúna a experiência da ampla variedade de ministérios e de agências às partes interessadas, bem como de pesquisa para reunir o "conhecimento estratégico" (SCHAPER-RINKEL, 2013, p.449). O sistema de pesquisa alemão é caracterizado por seu alto nível de fragmentação institucional, e esta fragmentação institucional também pode ser observada no que respeita à governança da ciência, da tecnologia e da inovação no campo da nanotecnologia.

4.2 UNIÃO EUROPEIA (UE): UM MODELO DE SISTEMA TECNOLÓGICO DE INOVAÇÃO EM NANOTECNOLOGIAS?

Através do conhecimento de que a nanotecnologia tratava-se de uma "tecnologia de propósito geral"²⁰, e ciente da exigência, pois, de esforços de investigação, de colaboração e de criação de redes de inovação, em razão do conhecimento multidisciplinar da nanotecnologia, a União Europeia estabeleceu diversos arranjos institucionais, com a criação de políticas de incentivo e de promoção à nanotecnologia, visando a criação e a valorização de redes de pesquisa em nanotecnologia.

É possível depreender-se das ações realizadas pela UE, que, desde a concepção da estratégia em nanotecnologia, os atores envolvidos dispunham da consciência geral de que os processos, as propriedades dos materiais, os sistemas e os dispositivos em nanotecnologia diferiam significativamente daqueles em maior escala (KOSTOFF et al., 2007), com ciência de que se estava traçando uma estratégia de uma tecnologia de plataforma com um potencial de transformar muitos setores industriais, em especial, promovendo a convergência entre as indústrias

²⁰ Vide caracterização no capítulo 1.

orientadas para as tecnologias anteriormente separadas (ALENCAR et al., 2007; BOZEMAN et al., 2007). A natureza interdisciplinar da nanotecnologia, que se estende por desenvolvimentos científicos em todas as disciplinas, também, é constantemente realçada (SALERNO et al., 2008) na estratégia e nas ações desempenhadas, com ênfase na comunicação, conforme Romig et al. (2007, p. 22), “de que a nanotecnologia pode ter diferentes impactos em diferentes setores industriais e membros das cadeias de valor”.

O conhecimento prévio de que a combinação de novidade e de dispersão, muitas vezes assimétrica de conhecimento sobre nanotecnologia (PANDZA; HOLT, 2007), sugeriu ações relevantes em trajetórias de construção de redes de organizações, incluindo indivíduos, empresas, universidades, institutos de pesquisa, e agências de políticas públicas (ou partes ou grupos de cada um) em um contexto de Sistema de Inovação Tecnológica.

Cientes de que um sistema de inovação tecnológica é suscetível de prolongar para além de um determinado sistema nacional de inovação e de um certo ambiente institucional, a diversidade internacional e institucional tornou-se o foco com suas propriedades intrínsecas, passando a integrar o conhecimento através de políticas que estimulassem a transcendência de fronteiras nacionais e institucionais, criando diversas redes de pesquisa na União Europeia (PANDZA et al., 2011, p. 477), aproveitando-se de sua natureza de bloco econômico.

A história de políticas criadas pela UE com foco na nanotecnologia é caracterizada por uma série de mudanças institucionais (HARGRAVE; VAN DE VEN, 2006), na qual a Comissão Europeia (CE) cria arranjos institucionais que determinam a natureza e a estrutura das redes de colaboração de pesquisa financiada a partir de recursos da UE. Assim, a diversidade institucional em pesquisa colaborativa da UE é influenciada por vários objetivos políticos, que incluem o aumento da competitividade industrial, promover a inovação para atingir o crescimento econômico e enfrentar os desafios sociais em grande escala através da organização de pesquisa sobre prioridades temáticas estratégicas.

A criação da nanotecnologia como uma prioridade de investigação reflete o espírito da época, no início do Século XXI. A ambiciosa iniciativa, coordenada e centralizada pela NNI, nos EUA, em 2001, claramente expôs a fragmentação da pesquisa em nanotecnologia na União Europeia, e reforçou o reconhecimento de

que a UE não poderia continuar a ser competitiva a nível mundial sem uma melhor orientação e coordenação na investigação da nanotecnologia.

As instituições do “*Framework Program nº 6*”, proporcionou um ambiente institucional fértil para a criação de um programa de pesquisa separada e dedicada à nanotecnologia, sendo introduzida com o objetivo de uma política ambiciosa para melhorar significativamente a inovação industrial, através da introdução da *Integrated European Research Area* (IERA). Essa confluência única do surgimento de um grande paradigma tecnológico novo, as pressões competitivas e um novo contexto institucional, explica a criação de uma política centrada e integrada de investigação da UE dedicada à nanotecnologia. A Tabela abaixo, desenvolvida nos estudos de Pandza et al. (2011, p. 482), apresenta uma cronologia detalhada das políticas de promoção e de incentivo à nanotecnologia da UE, destacando-se os instrumentos de política com maior impacto sobre a diversidade e as configurações de redes de pesquisa em nanotecnologia.

TABELA 3 - Cronologia de Ações da UE em Nanotecnologia

Política	Período	Ação
Framework Programme 4	1994-1997	O Programa não se dedicava à nanotecnologia
Framework Programme 5	1998-2002	Nanotecnologia incluída na pauta de tecnologia revolucionária
Framework Programme 6	2002-2007	Nanotecnologia obteve uma pauta específica nas discussões com total de gastos em 1,4 bilhões de euros
Fórum Europeu de Nanotecnologia	2003	Iniciativas de debates para discutir futuras políticas de desenvolvimento para a nanotecnologia
Plano Estratégico	2004	Criação de documento com objetivos para desenvolvimento da nanotecnologia na UE
Consulta Aberta	2004	Reunião de 700 especialistas para confecção do plano estratégico
Report Action Plan	2005-2007	Início das atividades focalizadas no plano estratégico com destaque a transferência de tecnologia

Fonte: Adaptado de PANDZA et al., 2011, p. 482.

Conforme Pandza et al. (2011, p. 483):

Research policy development in the EU is a highly complex process wherein a myriad of representatives from different EU countries and different institutional environments attempt to shape the structure of the final Work Programme. FP6 introduced European Technology Platforms (ETPs) for providing high-level industrial input into the development of European research policy. At the end of FP6, the number of ETPs was 33, each producing a strategic research agenda that fed into the preparation of a

series of annual Work Programmes. ETPs have been a major force for driving industry sector diversity and significantly increasing the range of institutional stakeholders that influence EU research policy development in general and nanotechnology in particular. The EC recognizes that some twelve ETPs (e.g. Nano-Medicine, Sustainable Chemistry, Future Manufacturing Technologies) have a direct interest in nanotechnology. FP6, similarly to its predecessors, consists of thematic programmes (TPs) that concentrate on a particular research area and instruments for funding and managing research. Typically, TPs and instruments are structured as vertical and cross-cutting activities. Each TP is managed by an EC Research Directorate and builds its annual operational plan (Work Programme) with input from member states' governments via its Programme Committee and a variety of other stakeholders. It is implemented through various instruments, which are the principal mechanisms for realizing the EU's objectives for international and institutional diversity within the annual operating plans and are defined at the start of each FP. We introduce four instruments that have a strong influence on the configuration of nanotechnology research networks.

Em 2005, criando o Plano de Ação 2005-2009 – *EU Policy for Nanosciences and Nanotechnologies: Action Plan for Europe 2005-2009 – FP7*, a UE, com o objetivo de fazer parte de uma ação integrada para “manter e fortalecer a P&D europeia em nanociências e nanotecnologias” determinou os seguintes escopos do projeto (PEIXOTO, 2013, p.109; ROCO, 2011, p. 21):

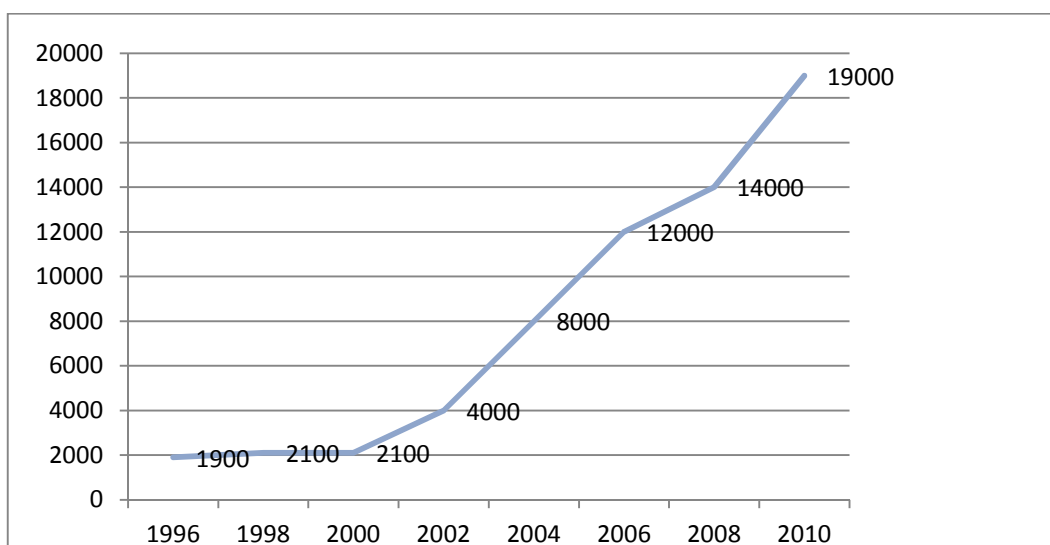
- Aumentar o investimento e a coordenação de P&D para reforçar a exploração industrial das nanotecnologias, ao mesmo tempo em que mantém a excelência científica e a competição;
- Desenvolver uma infraestrutura de P&D mundialmente competitiva (“polos de excelência”) que leve em consideração as necessidades tanto da indústria quanto das organizações de pesquisa;
- Promover a educação interdisciplinar e o treinamento de pessoal de pesquisa, criando uma mentalidade empreendedora mais forte;
- Garantir condições favoráveis para a transferência de tecnologia e a inovação para assegurar que a excelência europeia em P&D seja traduzida em produtos e em processos geradores de riqueza;
- Integrar as condições sociais aos processos de P&D em seus estágios iniciais;
- Trazer para discussão os potenciais riscos de saúde pública, de segurança e de meio-ambiente e os riscos ao consumidor, gerando dados para avaliação de riscos; integrando tais avaliações em todas as etapas do ciclo de vida de produtos baseados em nanotecnologia; adaptando as

metodologias existentes e, quando necessário, desenvolver novas;

- Complementar as ações descritas acima com apropriada cooperação de nível internacional.

Em uma perspectiva de investimentos públicos, a União Europeia investiu desde 1997, mais de 10 (dez) bilhões de dólares, conforme estudos da *National Science Foundation* (National Science Foundation, 2012, p. 37.).

GRÁFICO 3 - Investimentos Públicos da UE em Nanotecnologia (milhões de dólares)



Fonte: National Science Foundation, 2012, p. 37.

No que diz respeito à criação de Marcos Regulatórios, a União Europeia possui uma base legislativa em nanotecnologia das mais protetivas desenvolvidas no mundo.

A Tabela abaixo, oriunda dos estudos legais de Justo-Hanini e Dayan (2013, p.2874), apresenta uma visão geral das principais iniciativas regulatórias em nanomateriais no âmbito do REACH²¹, desde 2008. Embora cada definição possua jurisdição ao mercado europeu, a política regulatória resultante é de "efeito macro-influência" (BACH; NEWMAN, 2007), estabelecendo a UE padrões de entrada no mercado e, também, para o mercado global como um todo, em razão da densidade regulatória desenvolvida²² (SELIN; VANDEVEER, 2006; HEYVAERT, 2010).

²¹ REACH é Comissão de regulação da União Europeia, adotado para melhorar a proteção da saúde humana e do ambiente contra os riscos que podem ser provocados por produtos químicos da UE.

²² Especialmente pela definição do termo nanotecnologia, através da ISOTC 229, conceito este inclusive trazido à tona no capítulo 1 como definição de nanotecnologia.

TABELA 4 - Principais Marcos Regulatórios da UE

Área de regulação	Ano	Instrumento regulatório	Política adotada
Identificação de substância	2011	Recomendação	Definição supracional do conceito de nanotecnologia
Identificação de substância	2010	Recomendação	Utilização do conceito ISOTC 229 como definição da nanotecnologia
Registro	2012	Lei (Comissão Europeia)	Definição de normas e proibição de manipulações para graphite e nanotubos de carbono
Registro	2011	Resolução (Parlamento Europeu)	Definição de normas e proibição de manipulações para graphite e nanotubos de carbono
Registro	2011	Resolução (Parlamento Europeu)	Criação de critérios para registro da nanotecnologia e criação de padrões técnicos de segurança

Fonte: Adaptado de JUSTO-HANINI, 2013, p. 2875.

Da tabela *retro* é possível depreender-se três tendências. Em primeiro lugar, o número absoluto de iniciativas regulatórias tem crescido, destacando-se a preocupação com a conceituação de nanomateriais, processando-se pelo menos três novos obstáculos regulamentares e legais para a capacidade da indústria em entrar no mercado, instado pelo Parlamento (JUSTO-HANINI; DAYAN, 2013, p. 2875).

Em segundo, há uma tendência leve para a revogação da delegação de regulamentação de agentes privados na definição e na aplicação de critérios para a entrada no mercado de nanotecnologia, elevando os critérios de densidade e os aspectos restritivos da legislação. O novo regulamento criado desviou em pontos centrais das normas internacionais existentes, reconhecendo a falha de agentes privados autorreguladores na definição de nanomaterial²³.

Por fim, a tabela acima indica que os aspectos regulatórios que definem a entrada no mercado na UE são impulsionados por duas lógicas: (1) ações que promovem a integração do mercado e (2) o aumento da capacidade de regulação

²³ Leia-se BSI, ASTM, IEC, conforme se depreende do texto de Justo-Hanini e Dayan (2013) *verbis*: “Second, there is a mild trend toward revoking delegation of rulemaking from private actors in defining and enforcing criteria for market entry. Business rulemaking has played virtually the most important role in defining the European and the global markets semantics (EC, 2010; D’SILVA, 2011). Almost all standardized vocabulary and core terms emanated from private international standards organizations with ISO at the forefront (including BSI, ASTM, IEC). Delegated rulemaking power to ISO on nano-related standards is provided by CEN (CEN/TC 352), which empowered CEN to propose the ISO documents for adoption as CEN documents using the Vienna Agreement process (EC, 2010)”.

administrativa. Em 2011, a Comissão concordou em uma única definição para assegurar a conformidade em todas as áreas e setores legislativos e fez um primeiro passo legal para harmonizar o comércio de nanomateriais nos mercados da UE, dando um passo importante em termos de generalização de normas definidoras do comportamento da nanotecnologia. Tais ações estão inseridas no contexto de políticas de incentivo e de promoção ao desenvolvimento da nanotecnologia – Programa FP7 do Plano de Ação 2005-2009 descrito anteriormente.

Em termos comparativos, portanto, o estudo dos Marcos Regulatórios dos EUA e da UE revela que a UE e os EUA optaram por diferentes vias regulatórias para atender os desafios da nanotecnologia. O estudo de Justo-Hanini e Dayan (2013) destaca que a regulamentação dos EUA parece estar sendo conduzida em nível de agências reguladoras, ao invés de nível de Governo Federal. Assim, enquanto os EUA possuem um marco regulatório mais aberto, com forte intervenção industrial, a regulamentação europeia, por sua vez, é mais densa e restritiva. Esta última tornou-se o padrão internacional de fato para a regulamentação global.

Diante do exposto, através dos documentos oficiais da UE explorados e da literatura específica sobre a temática utilizada, verifica-se que as políticas e as ações desenvolvidas pela UE em relação à nanotecnologia estão inseridas em um contexto de Sistema Tecnológico de Inovação (PANDZA et al., 2013), cuja preocupação não está focada em um único Estado-Nação, mas centrado em um escopo precípua transnacional de promoção e de incentivo da nanotecnologia para todo o bloco, ultrapassando limites geográficos e nacionais, buscando a exploração e a integração de redes de PD&I e a cooperação internacional entre os países, com vistas a superar os desafios multidisciplinares da nanotecnologia²⁴.

4.3 EXPERIÊNCIAS DE RÚSSIA E CHINA NO FOMENTO DA NANOTECNOLOGIA

Na Rússia, a Estratégia de Desenvolvimento de Nanotecnologia foi adotada em 2007. Seu objetivo inicial era direcionar recursos financeiros e organizacionais na pesquisa interdisciplinar em áreas relacionadas com a nanotecnologia, com

²⁴ Tal característica da UE evidencia ações diferenciadas em comparação aos EUA, que tem adotado um modelo claramente de Sistema Nacional de Inovação.

vistas a criar um mercado doméstico competitivo de produtos habilitados com uso da tecnologia nano (GOKHBERG et al., 2012, p.161).

Um ano antes, em 2006, a nanotecnologia foi incluída na lista nacional de prioridades de C&T. Conforme se depreende do estudo de Gokhberg et al. (2012, p.162):

The Program of Nanotechnology Development in the Russian Federation until 2015 (Program-2015), which started in 2008. Russia has envisaged certain policy actions aimed at promoting; allied R&D, infrastructures, manufacturing, and investment in the implementation of innovative projects. The program provides overall funding at about RUR 100 bln (nearly PPP USD 5.5 bln). Another RUR 300 bln (PPP USD 16.4 bln) have been channeled to the Russian Corporation of Nanotechnologies (RUSNANO) to foster development of nanotech products and their market penetration. These decisions have stipulated ongoing expert discussions on whether public investment in financing nanotechnology at such a scale has been rational vis-a-vis the national R&D expenditure total equal to PPP USD 26.6 bln.

Durante os dois primeiros anos de implementação do Programa - 2015, a Rede Nacional de Nanotecnologia (RUSNANONET) foi estabelecida. Ela é composta de organizações de pesquisa, universidades e empresas, bem como, de indivíduos envolvidos em nanotecnologia C&T e P&D, possuindo mais de 740 membros ao final de 2011. Seu objetivo principal é a construção de uma plataforma de comunicação de e cooperação entre profissionais.

Em termos regulatórios, outra importante ação foi realizada pelo Serviço Federal de Proteção dos Direitos dos Clientes e de Bem-estar Humano (*Rospotrebnadzor*) que aprovou as normas de saúde e de segurança para a identificação e para o controle de nanomateriais em organismos vivos, para produtos químicos, para fornecimento de água e para produtos alimentares (GOHKBERG et al., 2011, p.3).

Depois que os EUA, Europa, Japão e muitos outros governos nacionais e regionais lançaram estratégias de desenvolvimento de nanotecnologias, em finais dos anos 1990 e início dos anos 2000, os políticos chineses sentiram que o país devia pensar em estratégias para evitar deixar para trás a oportunidade de explorar esta emergente tecnologia (HUANG; WU, 2011, p.5).

O governo chinês agiu como maior fonte do país de financiamento de P&D para o desenvolvimento da nanotecnologia. O investimento público foi transformado em infraestrutura avançada, equipamentos e instrumentos com altos níveis de

padrões tecnológicos, atraindo diversos cientistas e engenheiros, particularmente os jovens investigadores. Devido a esses esforços sem precedentes do governo, a China emergiu como um importante *player* global no campo da nanotecnologia.

Na década de 1990, várias conferências acadêmicas importantes realizadas na China, como a 7ª Conferência Internacional de Microscopia de Tunelamento (1993) e a 4ª Conferência Internacional sobre Escala Nanométrica para a Ciência e Tecnologia (1996), apresentaram já a participação dos cientistas chineses no campo. De 1990 a 2002, cerca de 1.000 projetos foram financiados pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (ou o Estado de Ciência e Tecnologia da Comissão). Durante o mesmo período, a Fundação Nacional de Ciência Natural da China aprovou mais de 1.000 bolsas de pequena escala para projetos relacionados à nanotecnologia. Em suma, o início das atividades de P&D em nanotecnologia na China pode ser datado entre 1980 e 1990. Atividades de P&D intensivas, porém, não começaram antes do início dos anos 2000 (HUANG e WU, 2011, p.5).

Em novembro de 2000, o Comitê Gestor Nacional de Nanociência e Nanotecnologia foi criado para supervisionar as políticas nacionais e coordenar as ações. A comissão elaborou o primeiro documento chinês de política nacional destinada a promover o desenvolvimento da nanotecnologia, que foi anunciada como a Estratégia Nacional de Nanotecnologia de Desenvolvimento (2001 - 2010) e foi uma reminiscência de estratégias semelhantes ou iniciativas anunciadas em outros países, como a Iniciativa Nacional de Nanotecnologia nos EUA (PEIXOTO, 2013, p. 118).

A Estratégia Nacional de Nanotecnologia de Desenvolvimento (2001 - 2010) – denominada de “*the strategy*” - enfatizou a importância da ciência básica e ressaltou a necessidade de apoio financeiro fortalecido do governo. A estratégia priorizou recursos para o desenvolvimento de formação de cientistas em um clara visão de política de longo prazo.

Em 2003, foi criado o Centro Nacional para Nanociência e Nanotecnologia pela Academia Chinesa de Ciências e pelo Ministério da Educação, integrando-se a esse centro as duas principais universidades chinesas, *Perking University* e *Tsinghua University*. Os objetivos principais do Centro foram a construção de uma plataforma tecnológica e a execução de uma pesquisa básica em nanociência com equipamentos modernos, sendo aberta à comunidade científica chinesa e aos colaboradores internacionais. A pesquisa foi focada principalmente na

nanofabricação, nos nanodispositivos, nos nanomateriais, nas nanoestruturas, na nanobiologia, na nanomedicina e na caracterização e nas medidas, compondo um corpo de, aproximadamente, 100 pesquisadores.

Com o desenvolvimento da orientação da estratégia e do envolvimento precoce em P&D em nanotecnologia, a ascensão global da China em nanotecnologia tem sido fenomenal. Conforme se infere dos estudos da *Lux Research* (2008):

The US and Japanese governments invested US\$1,816 million and US\$1,060 million (by purchasing power parity or PPP), respectively, on nanotechnology R&D during 2005–2007. The Chinese government invested US\$PPP893 million during the same period, which positions China in third place in the worldwide ranking (Figure 3). However, corporate funding in China amounted to only US\$PPP348 million, which was only slightly more than one-third of government funding. Ranked by corporate funding, China was ranked fifth in the world after the US (US\$PPP2,362 million), Japan (US\$PPP2,038 million), Germany, and South Korea. The European Commission (2005) estimation showed that the Chinese government invested 83 million Euros in 2004 on nanotechnology R&D, in comparison with the US government's 1.2 billion Euros and the Japanese government's 750 million Euros. China was thus ranked after the US, Japan, Germany, France, South Korea, and the UK in public investment in nanotechnology R&D in 2004.

Por fim, do ponto de vista regulatório, à medida que a complexidade da investigação baseada em nanociência e em nanotecnologia (pura e aplicada) aumentou, houve, proporcionalmente, o aumento dos investimentos e dos financiamentos do governo e, em razão do aumento do número de aplicações industriais para os nanomateriais, a China passou a melhor identificar a medição, a manipulação, os padrões de exposição, a toxicidade e a segurança.

Normas a respeito da nanotecnologia são revisadas pelo “*National Nanotechnology Standardization Technical Committee*”, por um comitê Nacional de Normalização Técnica criado pelo Governo Chinês (NSTC) e pelo Comitê Técnico 279 - um subcomitê específico sob a administração da “*Standardization Administration of China*” (SAC) (JARVIS; RICHMOND, 2011, p. 13). O SAC, sob a normatização técnica TC279, tem a função precípua de órgão de coordenação para a elaboração dos projetos de normas essenciais para as nanotecnologias, incluindo terminologia, metodologia e segurança nas áreas de medições em escala nanométrica, materiais e biomedicina em nanoescala. O NSTC-TC também desenvolve protocolos de testes e normas técnicas utilizadas por empresas de fabricação. A Comissão também supervisiona uma base de dados para estudos de

toxicologia em nanomateriais, com o objetivo de auxiliar no estabelecimento de normas de segurança para a produção de nanomateriais, para a embalagem e para o transporte (PEIXOTO, 2013, p.112).

O NSTC-TC possui cinco grupos de trabalho de pesquisa do núcleo: 1) microfabricação, 2) nanometrologia, 3) saúde, segurança e meio ambiente, 4) testes de nanoindentação e 5) microscopia de varredura e sondagem (JARVIS; RICHMOND, 2011, p. 13). Os padrões são normalmente publicados, administrados e executados pela agência controladora da TC279, a GAQSIQ – “*General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine*”.

A tabela abaixo, criada por Jarvis e Richmond (2011, p. 13), evidencia, no tempo, a preocupação chinesa em termos de regulação em nanotecnologia:

TABELA 5 - Marcos Regulatórios em Nanotecnologia na China

Área de regulação	Ano	Instrumento regulatório	Política adotada
Identificação de substância	2004	Lei	Definição do conceito de nanotecnologia e determinação do conceito de tamanho de partículas para fins de segurança
Identificação de substância	2004	Lei	Criação de métodos de análise e padrões para investigação de segurança
Identificação de substância	2004	Lei	Definições de padrões de tamanho de partículas para nano-níquel, nano-cálcio, nanotubos de carbono, nano-titânio, e terminologia para nano-materiais
Identificação de substância	2006	Lei	Criação de regras gerais sobre metrologia e determinação da nano-escala
Identificação de substância	2008	Lei	Definição de métodos e propriedades para identificação de nano-organismos
Identificação de substância	2008	Lei	Definição de regras para nano-filmes, alta resolução de microscopia e dispersão de partículas

Fonte: Adaptado de Jarvis e Richmond, 2011, p. 13.

Diante do exposto, verifica-se o impacto total do esforço chinês para a liderança em nanotecnologia. Investimentos pesados e a criação de infraestrutura são características apresentadas pela “*The Strategy*” Chinesa, projetando um cenário extremamente interessante em se tratando da tecnologia nano. O planejamento de políticas, a regulamentação e a gestão do setor revela muito sobre o estado da nanotecnologia no país. Muito embora a nanotecnologia possua um enorme potencial para ganho comercial e excelentes perspectivas de desenvolvimento de uma economia do conhecimento inovadora, os riscos

associados à saúde humana e ao meio ambiente são também preocupações do Governo Chinês, possuindo, ressalvada suas características, certo alinhamento com as estratégias e as ações Norte Americanas e da União Europeia.

4.4 QUADRO SISTEMÁTICO

A partir das considerações trazidas nos itens anteriores referentes às experiências de países líderes no desenvolvimento da nanotecnologia, como EUA, Alemanha, China e Rússia e de uma análise focada na União Europeia, foi possível traçar um quadro-resumo, identificando-se os pontos nodais que contribuem para a criação de um ambiente de promoção e de incentivo à nanotecnologia, assim como o posicionamento de cada país analisado em uma visão global.

Destarte, o quadro abaixo tem o escopo de apresentar os seguintes dados: a) o momento de criação da estratégia em nanotecnologia (Iniciativa Nacional); b) os investimentos públicos realizados; c) o início de ações de promoção à educação focada na multidisciplinaridade da nanotecnologia em Universidades; d) a colocação do país em termos de produção científica; e) a colocação do país em termos de depósitos de patentes; f) a existência de marco regulatório específico em nanotecnologia no país e a data de construção e g) a data de início da preocupação iminente com os riscos advindos da manipulação de átomos e de moléculas em escala nanométrica.

QUADRO 3 - Quadro Sistemático

PAÍS	MOMENTO DE CRIAÇÃO DA ESTRATÉGIA NACIONAL EM NANO	INVESTIMENTOS PÚBLICOS*	PROMOÇÃO A EDUCAÇÃO EM NANO DENTRO DO CONTEXTO DE INICIATIVA NACIONAL EM UNIVERSIDADES
EUA	1999 - NNI - "Nanotecnologia - Moldando o mundo átomo por átomo"	1999 a 2011 - 14 bilhões de dólares	Desde 1999. O NNI define a Universidade para além de sua característica fundamental de formação em educação. Pesquisa Pós-Acadêmica
UE	Início do Debate em 1997 e 2002 - Institucionalização do <i>Framework Program 6</i> - focado em processo de cooperação internacional entre países do bloco	1997 - 2010 - 10 bilhões de dólares	Desde 1997
Alemanha	Sem criação de Programa específico de estratégia, focada apenas no Ministério BMBF. Fragmentação Institucional, programa focado na nanociência - educação	6 bilhões de dólares até 2012	Desde 1990, concentrando-se seu focus até tempos atuais
Rússia	2007 - <i>Strategy for Nanotechnology Development</i> - RUSNANO	16 bilhões de dólares até 2015	Desde 2007
China	2001 - <i>The Strategy</i> - Iniciativa Estratégica que priorizou recursos para o desenvolvimento de formação de cientistas em uma clara visão de política de longo prazo	11 bilhões de dólares até 2012	Desde 2001 com intensidade

PAÍS	COLOCAÇÃO EM PRODUÇÃO CIENTÍFICA***	COLOCAÇÃO EM DEPÓSITOS DE PATENTES****	MARCO REGULATÓRIO	PREOCUPAÇÃO COM RISCOS EM TERMOS DE INICIATIVA NACIONAL
EUA	1º	1º	Marco regulatório específico que vem aumentando a coercitividade ao longo do tempo	Desde de 2004
UE	Sem dados - Bloco Econômico**	Sem dados **	Marco regulatório específico mais coercitivo do mundo, sendo usado como exemplo para outros países	Desde de 2008
Alemanha	5º	8º	Marco Regulatório da UE e químico próprio	Desde de 2011
Rússia	13º	7º	Marco regulatório específico, criação da <i>ROSPOTREBNAZDOR</i> - Serviço Federal de Proteção dos Direitos dos clientes e vigilância do bem estar humano	Desde de 2007
China	2º	2º	Marco Regulatório específico - <i>National Standardization Technical Committee</i>	Desde de 2005

* A uniformização de dados do mesmo período de tempo foi prejudicada pela falta de estudos e dados globais. Extração: statnano.com.

** Dados referentes ao bloco econômico da UE não foram compatíveis de serem analisadas, apenas de países isolados.

*** Dados referentes ao período de 2011 disponibilizados pelo INPI (dados discutidos no capítulo 5).

**** Dados extraídos da base de dados *ISI Web of Knowledge*.

FONTE: Elaborado pelo autor.

4.5 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

Conforme visto no primeiro capítulo, a nanotecnologia tem sido considerada uma tecnologia estratégica/chave, sendo objeto de políticas específicas de fomento em diversos países líderes, como EUA, Alemanha, Rússia, China e, também, da União Europeia (no âmbito de bloco econômico), as quais desenharam iniciativas nacionais e transnacionais de incentivo e de financiamento privilegiado à área, visando novos níveis de competitividade de suas empresas.

No plano de visão global, o capítulo buscou contextualizar os investimentos mundiais (públicos e privados) que estão em crescimento, isto é, em progressão geométrica, trazendo à baila dados estimados para 2015 da OCDE, que ultrapassam a casa de 3 (três) trilhões de dólares, e de 12 (doze) trilhões para 2020.

Verificou-se, ademais, nessa seção uma característica em comum entre EUA e Alemanha: ambos os países partiram de uma abordagem via Sistema Nacional de Inovação, com o objetivo de entender o que a nanotecnologia é e como ela é regida, focalizando os processos de governança associados ao seu desenvolvimento e, em seguida, reconhecendo que o surgimento da nanotecnologia não é apenas oriundo de manipulações em laboratórios, mas, também, de processos como previsão tecnológica, avaliação de tecnologias e futuro participativo envolvendo cientistas, indústria, políticos, mídia e outros participantes públicos (SCHAPER-RINKEL, 2013, p. 446), especialmente em razão da sua característica multidisciplinar.

Analisou-se, ainda, com apoio das contribuições de Johnson (2004) e McCray (2005), que o apoio da NNI de pesquisa em universidades é um exemplo de "pesquisa pós-acadêmica". Este regime é caracterizado por uma ênfase sobre a utilidade da ciência e do alistamento de pesquisa acadêmica como um "motor tecnocientífico de criação de riqueza para toda a economia". O financiamento público de P&D em nanotecnologia, dentro da nova estrutura criada pelo NNI, agora, é motivado por um interesse em resultados econômicos (ciência aplicada), em vez de um compromisso com o avanço do conhecimento científico-fundamental (ciência básica), com ênfase, portanto, nos resultados relacionados com a inovação e com foco na colaboração universidade-indústria e na transferência de tecnologia.

Estudos evidenciam, pois, mudanças nas características do Sistema Nacional de Inovação com o desenvolvimento da NNI, nos EUA, especialmente no que diz respeito à promoção da interação universidade-empresa e da política de propriedade

intelectual - pró-patentes, que se combinaram, estrategicamente, com vistas a produzir uma estrutura para a inovação industrial em nanotecnologia.

No que diz respeito à União Europeia, conforme amplamente desenvolvido no capítulo, o conhecimento prévio de que a combinação de novidade e de dispersão, muitas vezes assimétrica, de conhecimento sobre nanotecnologia (PANDZA; HOLT, 2007), sugeriu ações relevantes em trajetórias de construção de redes de organizações, incluindo indivíduos, empresas, universidades, institutos de pesquisa, e agências de políticas públicas (ou partes ou grupos de cada um) em um contexto de Sistema de Inovação Tecnológica. Cientes de que um sistema de inovação tecnológica é suscetível de prolongar para além de um determinado sistema nacional de inovação e de um determinado ambiente institucional, a diversidade internacional e institucional tornou-se foco com suas propriedades intrínsecas, passando a integrar o conhecimento através de políticas que estimulem a transcendência de fronteiras nacionais e institucionais, criando diversas redes de pesquisa na União Europeia (PANDZA et al., 2011, p. 477), aproveitando-se de sua natureza de bloco econômico.

A história de políticas criadas pela UE com foco na nanotecnologia é caracterizada por uma série de mudanças institucionais (HARGRAVE; VAN DE VEN, 2006), nas quais a Comissão Europeia (CE) cria arranjos institucionais que determinam a natureza e a estrutura das redes de colaboração de pesquisa financiada a partir de recursos da UE. Assim, a diversidade institucional em pesquisa colaborativa da UE é influenciada por vários objetivos políticos, que incluem o aumento da competitividade industrial, a promoção da inovação para atingir o crescimento econômico e o enfrentamento de desafios sociais em grande escala, através da organização de pesquisa sobre prioridades temáticas estratégicas. Por meio dos documentos oficiais da UE explorados e da literatura específica sobre a temática utilizada, verificou-se, também, que as políticas e as ações desenvolvidas pela UE em relação à nanotecnologia estão inseridas em um contexto de Sistema Tecnológico de Inovação (PANDZA et al, 2013), cuja preocupação não está focada em um único Estado-Nação, mas focada, sim, na promoção e no incentivo da nanotecnologia para todo o bloco, transcendendo limites nacionais, buscando a exploração e integração de redes de PD&I e a cooperação internacional entre os países, com vistas a superar os desafios multidisciplinares da nanotecnologia.

Por fim, insta consignar, também, que o capítulo oportunizou expor informações sobre promoção e incentivo de países como China, Alemanha e Rússia, que seguem, em linhas gerais, programas semelhantes ao Americano, em termos de incentivo e promoção à nanotecnologia, em seus respectivos Sistemas Nacionais de Inovação.

A partir da compreensão das experiências internacionais em ações estratégicas de promoção ao desenvolvimento da nanotecnologia, é possível, pois, avançar. O próximo capítulo, portanto, tem o objetivo de caracterizar o cenário da nanotecnologia no Brasil em suas dimensões científica, tecnológico-industrial e político-regulatória.

5 CENÁRIO DA NANOTECNOLOGIA NO BRASIL

Esse capítulo objetiva analisar o cenário brasileiro da nanotecnologia sob a perspectiva analítica do Sistema Nacional de Inovação Brasileiro, a partir de suas características, particularidades históricas, seus arranjos institucionais e sua realidade social. Em razão de se tratar de um novo paradigma científico e tecnológico, buscar-se-á relatar elementos de três dimensões: a científica, a tecnológico-industrial e a político-regulatória, uma vez que essas dimensões possibilitam o aporte ao entendimento de fatores que auxiliam a análise econômica, considerando um viés neoschumpeteriano.

5.1 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO BRASILEIRO

Para a compreensão dos Sistemas Nacionais de Inovação, conforme ensinamentos da literatura brasileira especializada (SBICCA-FERNANDES; PELAEZ, 2006; SBICCA-FERNANDES, 2004; CASSIOLATO; LASTRES, 2005; AVELLAR; OLIVEIRA, 2008; VILLASCHI, 2005), é necessário o entendimento das especificidades de cada país estudado.

De acordo com Sbicca e Pelaez (2006), isso ocorre porque uma das características desta análise é a perspectiva histórica e, assim sendo, o processo de inovação muitas vezes é dependente da trajetória (*path dependence*) de desenvolvimento adotada, de forma que a simples “cópia” de padrões de Sistemas de Inovação pode ser temerária, *verbis*:

Quando se estuda um SNI que obteve êxito pode-se observar os elementos que contribuíram para este resultado. Mas a transposição pura e simples desse modelo para outros países, regiões ou setores é impraticável, na medida em que cada sistema apresenta características específicas que só se revelam ao longo de um processo histórico de formação. (SBICCA E PELAEZ, 2006, p. 420).

Desse modo, uma análise das características intrínsecas aos SNI brasileiro se torna necessária. O Brasil caracteriza-se por ser um país cuja industrialização e

criação das instituições de pesquisa e universidades²⁵ ocorreram em caráter tardio²⁶ (SUZIGAN; ALBUQUERQUE, 2008).

Contudo, apesar desse processo de atraso, assim como outros países latino-americanos, o Brasil teve um forte crescimento econômico entre 2002 e 2008, em grande medida graças a um mercado global favorável de *commodities* (UNESCO, 2010, p.33). Paralelamente, tanto o setor de negócios quanto o governo federal e os governos estaduais começaram a aumentar os gastos com P&D, chegando ao *quantum* de dispêndios em P&D, em 2008 (US\$23 bilhões), comparáveis aos níveis de investimento da Espanha (US\$ 20 bilhões) e da Itália (US\$22 bilhões) em termos absolutos (UNESCO, 2010, p. 34).

Tomando-se em consideração as características científicas, conforme relatório de 2010 da UNESCO,

o setor público arca com a sua maior parte (55%), um fenômeno comum a quase todos os países em desenvolvimento. Aproximadamente três quartos dos cientistas continuam trabalhando no setor acadêmico. Os cientistas brasileiros publicaram 26.482 artigos científicos em periódicos indexados pelo Thomson Reuter's Science Citation Index em 2008, fazendo do país o 13º maior produtor de ciência do mundo. Mais de 90% desses artigos foram gerados em universidades públicas (UNESCO, 2010, p. 38).

²⁵ Suzigan e Albuquerque (2008) sugerem uma periodização de cinco “ondas de criação de instituições de ensino e pesquisa” no país. A primeira “onda” é posterior a 1808, e neste período destaca-se a criação dos cursos de anatomia e cirurgia no Rio de Janeiro e em Salvador e da Academia Militar (em 1810), além do Jardim Botânico e da Biblioteca Nacional (criação tardia, tendo em vista que os Estados Unidos e alguns países da América Latina já possuíam diversas universidades nesta mesma época (SUZIGAN; ALBUQUERQUE apud MADDISON, 2001, e SCHWARTZMAN, 1979). A segunda “onda” refere-se à criação, dentre outras instituições, entre 1870 e 1900, do Museu Arqueológico e Etnográfico do Pará (1866), da Escola Politécnica de São Paulo (1894) e dos Institutos Vacinogênico, Bacteriológico e Butantã (entre 1892 e 1899) e da fundação do Instituto de Manguinhos (1900). Uma “terceira onda” teria tido lugar entre 1920 e 1934, quando começaram as iniciativas para a criação de universidades, que culminam com a fundação da USP em 1934 (entretanto, as faculdades que integram a maioria destas universidades continuam a atuar de forma independente). A criação do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas – CBPF (1949), do Instituto Tecnológico da Aeronáutica – ITA (1950), do Centro Tecnológico da Aeronáutica – CTA (1951) e de duas importantes instituições coordenadoras (o CNPq – Conselho Nacional de Pesquisas - e a CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) identificam a quarta “onda”. A quinta e última “onda” é identificada pelos autores durante o período do regime militar: destacando-se a criação de centros de pesquisa em empresas estatais (CENPE da Petrobras e o CPqD da Telebrás); a fundação da Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, em 1973; e a criação de instituições e fundos de financiamento para ciência e tecnologia, como o FUNTEC – Fundo de Desenvolvimento Tecnológico e a FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos (SUZIGAN; ALBUQUERQUE, 2008, p.12).

²⁶ Conforme Suzigan e Albuquerque (2008), tardia fora, também, a industrialização brasileira, pois a indústria no país só passa a ganhar expressão de fato a partir da segunda metade do Século XX. Ela se inicia nas últimas décadas do Século XIX, atrelada ao desempenho da agricultura voltada para a exportação e influenciada pelas condições adversas deixadas pela escravidão (desigualdades sociais, mercado interno limitado, educação e formação de qualificações técnicas deficientes, formação tardia de um mercado de trabalho assalariado) (SUZIGAN; ALBUQUERQUE, 2008, p. 19).

No que concerne às publicações científicas, o cenário, nos últimos anos, também é mais promissor se comparado às décadas anteriores.

Há de se observar, também, que entre 2000 e 2008, o GERD (*Gross Domestic Expenditure on Research and Development*) no Brasil aumentou em 28%, de R\$ 25,5 bilhões para R\$ 32,8 bilhões, a preços constantes de 2008. A relação GERD/PIB progrediu de maneira mais modesta, de 1,02% para 1,09% do PIB (UNESCO, 2010).

Verifica-se, também, nos planos institucionais, conforme estudos de Suzigan e Albuquerque (2008) e Villasqui (2005), que a P&D industrial precisa receber uma atenção ainda maior do que a pesquisa acadêmica. A pesquisa e o desenvolvimento industrial continuam sofrendo com a falta de apoio governamental, ainda que a situação tenha melhorado radicalmente nos últimos oito anos. Espera-se que medidas institucionais como a lei de inovação e suas consequências, tais como a reestruturação da legislação de incentivos fiscais e a introdução de uma política de subsídios, tenham um forte impacto sobre a P&D industrial. Essas medidas visam possibilitar uma ambiente de maior interação entre Universidade e Empresas na construção, em conjunto, de novas tecnologias e novos conhecimentos (UNESCO, 2010).

Diante do exposto, caracteriza-se, portanto, o SNI brasileiro como imaturo/incompleto (ALBUQUERQUE, 1995), com problemas estruturais concernentes às relações entre seus atores, aos baixos níveis de indicadores em gasto de P&D, em registro de patentes e em produção científica e a programas institucionais incipientes, especialmente de promoção e de incentivo ao desenvolvimento de novas tecnologias.

5.2 UM PANORAMA DO SNI DE NANOTECNOLOGIA NO BRASIL

O ingresso, aos poucos, do Brasil em setores da indústria *hightech* e a pouca expressividade em termos de atividades de geração de inovação no país, em relação a nações de fronteira tecnológica, evidencia a preocupação de serem pensadas ações normativas direcionadas à intensificação da capacidade do país de gerar e de difundir inovações centralmente em atividades de mais valor agregado por meio do seu Sistema Nacional de Inovação (CIMOLI ET al., 2007, p.67).

Considerando-se esse cenário do Sistema Nacional de Inovação Brasileiro, o objetivo destes próximos tópicos é traçar um esboço atual da nanotecnologia no Brasil, com a intenção de apresentar alguns elementos que contribuam para a compreensão do cenário de desenvolvimento desta área no país. Destarte, em razão de se tratar de um novo paradigma científico e tecnológico, buscou-se relatar elementos de três dimensões: a científica, a tecnológico-industrial e a político-regulatória, uma vez que essas dimensões possibilitam o aporte ao entendimento de fatores que podem fomentar, ou não, a criação de oportunidades para o país em uma perspectiva de política industrial e de inovação.

5.2.1 Ações brasileiras de incentivo e de promoção à nanotecnologia: antecedentes políticos-institucionais e aportes da sua evolução no tempo

Nos últimos anos, conforme visto no tópico anterior, o Brasil tem avançado consistentemente no desenvolvimento de ações em Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I), com resultados concretos na produção científica e tecnológica e na formação de recursos humanos em áreas consideradas estratégicas. Há de se destacar, particularmente, determinados campos de nanotecnologia e de nanociência (N&N).

No início do Século XXI, mais especificamente no final dos anos 2000, o governo brasileiro atentou para o rápido desenvolvimento das nanociências e das nanotecnologias que estava ocorrendo em vários outros países, reconhecendo, em 2001, a importância da nanotecnologia para o país, com a percepção de que uma janela de oportunidade para ciência, tecnologia e inovação, com potencial para produtos brasileiros, ganhariam competitividade no mercado externo, tanto em termos de atualização tecnológica, como em termos de preço, à medida que os avanços em nanotecnologia fossem se consolidando. O CNPq, portanto, estruturou, no período, quatro redes de pesquisa em N&N, nas seguintes áreas: (i) materiais nanoestruturados; (ii) interfaces e nanotecnologia molecular; (iii) nanobiotecnologia; e (iv) nanodispositivos semicondutores (ABDI, 2010, p.98).

Em 2003, juntamente com os Editais Fundos Setoriais, CT-Petro, CT-Energ e Fundo Verde e Amarelo, houve a inclusão da temática nanotecnologia, com recursos no valor R\$ 2,2 milhões. Nesse mesmo ano, o Programa “Desenvolvimento da

Nanociência e da Nanotecnologia” foi aprovado pelo Congresso Nacional no âmbito do PPA 2004-2007, com o objetivo de promover o desenvolvimento de novos produtos e processos em nanotecnologia visando ao aumento da competitividade da indústria nacional. Assegurou-se o apoio à pesquisa básica, à pesquisa entre as Instituições de Ciência & Tecnologia (ICT) e empresas, fortalecendo-se as redes existentes e a infraestrutura instrumental e laboratorial (MCT, 2015).

No ano seguinte, foi lançada a Política Industrial, Tecnológica e do Comércio Exterior (PITCE) e criada a Ação Transversal de Nanotecnologia dos Fundos Setoriais (ABDI, 2010, p. 99), passando-se a novos patamares de investimentos. Ainda em 2005, foi lançado o Programa Nacional de Nanotecnologia (PNN) como parte integrante do Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a PITCE, com determinação dos seguintes objetivos:

- Apoio a redes e a laboratórios de nanotecnologia;
- Implantação de laboratórios e de redes de micro e de nanotecnologia;
- Fomento a projetos de pesquisa e de desenvolvimento em micro e nanotecnologia;
- Fomento a projetos institucionais de pesquisa e de desenvolvimento em nanociência e nanotecnologia.

Verifica-se, portanto, ações, exclusivamente, em âmbito de promoção e de incentivo à pesquisa básica, à instrumentação e ao apoio laboratorial, podendo-se afirmar que as políticas implementadas centravam-se em nanociência²⁷. Conforme relatório da ABDI (2010, p. 101):

Como consequência da implantação do PNN, os investimentos em 2005 até o 1º semestre de 2006 ultrapassaram R\$70 milhões. Nesse período, foram criadas dez novas redes de pesquisa e disponibilizados recursos para o fortalecimento de três laboratórios estratégicos em nanotecnologia (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas – CBPF, Embrapa Instrumentação e Centro Estratégico de Tecnologia do Nordeste – Cetene).

Em novembro de 2007, foi lançado o Plano de Ação em CT&I (PACTI), cujas ações vêm sendo executadas de forma articulada e coordenada por diversos

²⁷ Nesse contexto, deve-se mencionar o conceito e a diferenciação entre nanotecnologia e nanociência trazido no primeiro capítulo dessa dissertação para fins de entendimento dos acontecimentos.

ministérios, tendo à frente o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), dando prioridade estratégica a duas áreas de máxima relevância, a biotecnologia e a nanotecnologia. O plano tem como objetivos principais:

fortalecer a gestão e o planejamento das atividades governamentais nas áreas de biotecnologia, nanociências e nanotecnologia, de modo a melhor identificar os grandes desafios e as oportunidades para o país e estabelecer prioridades e criar as condições institucionais, materiais e de recursos humanos para um maior estímulo à inovação por meio da agilização do processo de transferência de conhecimento (ABDI, 2010, p. 1039.).

Deve-se ressaltar aqui a estratégia compartilhada entre biotecnologia e nanotecnologia para fins de políticas de promoção e incentivo à nanotecnologia²⁸.

Mais recentemente, em maio de 2008, foi lançada a Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP) pelo Governo Federal, inspirada pelo objetivo de contribuir para o crescimento sustentável de longo prazo da economia brasileira, em continuidade às conquistas alcançadas no âmbito da PITCE. A nova política industrial beneficiou 24 setores da economia e teve foco na redução da dependência externa, na descentralização da produção e nos investimentos em avanço tecnológico, objetivando em termos de nanotecnologia: (i) desenvolver nichos de mercado com potencial de competitividade em materiais, eletrônico, médico e farmacêutico, equipamentos e ferramentas e tecidos nanoestruturados e (ii) ampliar o acesso da indústria aos desenvolvimentos da nanotecnologia. São destacados no Programa quatro desafios: (i) incentivo às empresas de base tecnológica; (ii) expansão da formação de recursos humanos especializados; (iii) atração de investimentos em P&D e (iv) adequação do marco legal. No sentido de vencer esses desafios e atingir os objetivos propostos, o Programa estabelece as seguintes metas para 2010: (i) investir R\$70 milhões em PD&I e (ii) alcançar 100% dos investimentos privados previstos no Plano de Ação de Ciência, Tecnologia e Inovação (CGEE, 2008, p. 22).

Destarte, até 2008, no ponto de vista de ações políticas de promoção e de incentivo à nanotecnologia, pode-se sintetizá-las assim:

²⁸ Nesse particular enfocado, um resgate do primeiro capítulo da dissertação ressalta na literatura estrangeira que ações de políticas de promoção em incentivo à nanotecnologia devem, em razão de suas características divergentes, ser segregadas.

QUADRO 4 - Políticas e Ações de Promoção e Incentivo à Nanotecnologia no Brasil até 2008

Ano	Marcos institucionais
1987	Investimento do CNPq em equipamentos para técnicas de crescimento epitaxial de semicondutores.
2000	Reunião seminal do CNPq/MCT sobre o desenvolvimento futuro da N&N no país.
2001	Criadas quatro redes de nanotecnologia CNPq/MCT e apoiados quatro Institutos do Milênio na área.
2003	Criado o Grupo de Trabalho de Nanotecnologia para elaboração do Programa de Nanotecnologia.
2003	Criada a Coordenação-Geral de Políticas e Programas de Nanotecnologia. Atualmente Coordenação de Micro e Nanotecnologias.
2004	Início do Programa Desenvolvimento da Nanociência e Nanotecnologia no âmbito do PPA – 2007.
2004	Criado do GT para estudo sobre a implantação do Laboratório Nacional de Micro e nanotecnologia.
2004	Criada a Ação Transversal de Nanotecnologia nos Fundos Setoriais.
2004	Instituída a Rede BrasilNano e seu Comitê Diretor.
2005	Designados os membros do Conselho Diretor da Rede BrasilNano.
2005	Lançado o Programa Nacional de Nanotecnologia (PNN).
2005	Assinado o Protocolo de Intenções entre Brasil e Argentina criando o Centro Brasileiro-Argentino de Nanotecnologia (CBAN).
2005	Selecionadas 10 Redes Nacionais de Nanotecnologia, com atuação prevista para o período 2006-2009.
2007	Lançamento do Plano de Ação em CT&I (PACTI), cujas ações são executadas de forma articulada e coordenada por diversos ministérios, tendo à frente o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT).
2008	Inauguração do Centro de Nanociência e Nanotecnologia Cesar Lattes, construído no campus do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), em março de 2008.
2008	Lançamento pelo Governo Federal da Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP) em maio de 2008. Integra a PDP o Programa Mobilizador em Nanotecnologia, cuja gestão está a cargo do MCT.

Fonte: ABDI, 2010, p. 97

Em matéria de criação de uma Iniciativa Brasileira em Nanotecnologia, o debate iniciou no Fórum de Competitividade em Nanotecnologias, criado pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), em 23 de novembro de 2009; Fórum este que objetivava a aproximação de representantes governamentais, acadêmicos e empresários com foco em Grupos de Trabalhos de Mercado, de Regulação, de Recursos Humanos e de Perspectivas Internacionais. A partir desse Fórum iniciou-se a embrionária IBN (Iniciativa Brasileira em Nanotecnologia), criada em 19 de outubro de 2013, com realização do SisNano.

A IBN nasce, portanto, com o objetivo de promover o desenvolvimento científico, tecnológico e a inovação na área de nanotecnologia. A iniciativa pretende aproximar a infraestrutura acadêmica e as empresas, fortalecendo as relações entre pesquisa, conhecimento e setor privado. Entre as principais ações da IBN está a reestruturação do Sistema de Laboratórios em Nanotecnologias (SisNano). O SisNano é formado por um conjunto de laboratórios dedicados às atividades de

pesquisa, de desenvolvimento e de inovação (P,D&I), em um amplo espectro de nanotecnologias. O SisNano tem como característica essencial o caráter multiusuário, de acesso aberto, mediante submissão de propostas e de projetos de P,D&I ou de requisição de serviços e é formado por duas categorias de laboratórios: os Laboratórios Estratégicos e os Laboratórios Associados (MCT, 2013, p. 5).

O SisNano visa a modernização e o fortalecimento de infraestruturas de P,D&I para nanotecnologias. Um de seus propósitos mais centrais é facilitar o acesso de usuários dos setores acadêmico e empresarial aos laboratórios com infraestrutura moderna e recursos humanos especializados, estimulando a convergência, a interação e a transferência de conhecimento entre a academia e as empresas.

O projeto compreende 26 laboratórios, selecionados a partir de chamada pública que receberão financiamento prioritário do MCTI para: (i) melhorar a infraestrutura e mantê-los internacionalmente competitivos; (ii) permitir a incorporação, fixação e manutenção de corpo técnico- científico de alta qualificação, adequado ao desenvolvimento das missões desses laboratórios e (iii) permitir que funcionem de forma aberta, atendendo usuários e instituições dos setores público e privado.

Conforme informações do MCTI, “O SisNano tem como característica essencial o caráter multiusuários, sendo composto de laboratórios estratégicos e laboratórios associados”, conforme a seguinte disposição geográfica:

FIGURA 2 - SisNano



FONTE: MCT, 2013, p. 14

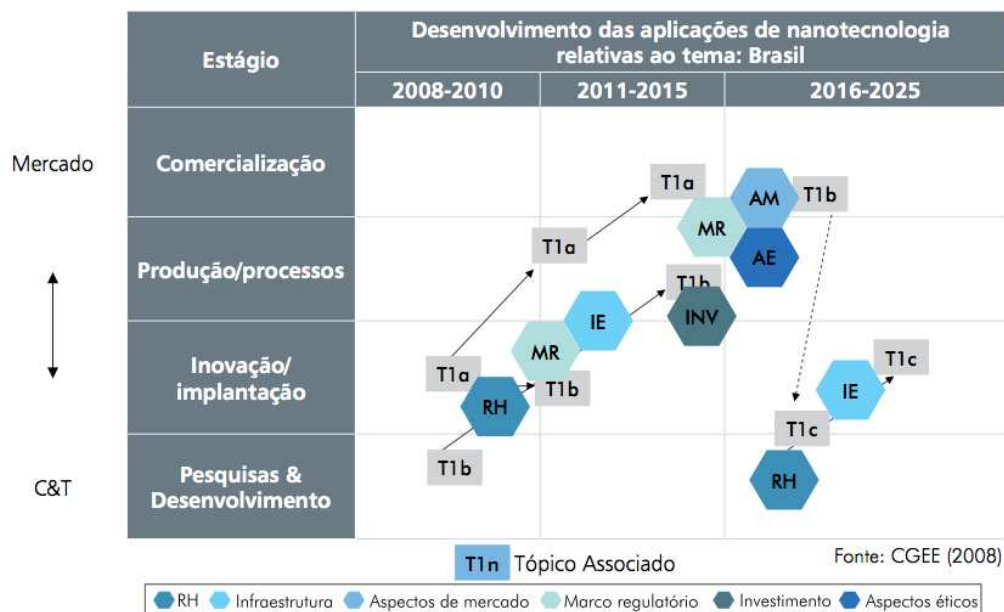
Em termos de estratégias de promoção e de incentivo à nanotecnologia, objetivando o investimento até 2015 de 440 milhões de Reais, a IBN, juntamente com o SisNano, possuem os seguintes escopos (MCT, 2013, p. 14):

- Criar e atualizar infraestruturas para atividades de PD&I em nanotecnologia;
- Acreditar laboratórios para caracterização e para controle de qualidade de produtos em nanotecnologia;
- Formação de recursos humanos com vistas à criação de conhecimento em áreas estratégicas ao Brasil;
- Manter atualizada a infraestrutura de pesquisa básica;
- Valorizar o desenvolvimento tecnológico na formação acadêmica;
- Propor a criação de uma estrutura de coordenação, avaliação e monitoramento dos impactos da nanotecnologia no meio ambiente e nos seres humanos;
- Propor marco regulatório para a PD&I, produção e comercialização das

nanotecnologias e produtos nanotecnológicos.

Sendo assim, a IBN apresenta um mapa tecnológico brasileiro, a partir de trajetórias tecnológicas que foram e serão adotadas, além de mercados desenhados em exercício prospectivo.

FIGURA 3 - Representação do Mapa Estratégico: Prioridades de Ações



Fonte: Adaptado de CGEE, 2008, p. 27.

Deve-se observar, por fim, que a estratégia brasileira para “áreas portadoras de futuro” em todo o período analisado, englobou ações compartilhadas para biotecnologia e nanotecnologia, conforme se pode verificar do Relatório de Orientações Estratégicas do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação:

Áreas portadoras do futuro: Biotecnologia e Nanotecnologia: fortalecer a gestão e o planejamento das atividades governamentais nas áreas de biotecnologia, nanociências e nanotecnologia, de modo a melhor identificar os grandes desafios e as oportunidades para o País: a) estabelecer prioridades e criar as condições institucionais, materiais e de recursos humanos para um maior estímulo à inovação por meio da agilização do processo de transferência de conhecimento para a geração de produtos e processos que utilizem biotecnologia e nanotecnologia, b) favorecer o aumento da competitividade das empresas nacionais, conforme estabelece a Política de Desenvolvimento Produto (PDP), pela incorporação da biotecnologia e da nanotecnologia no desenvolvimento de novos produtos e processos (MCT, 2011, p.36).

5.2.2 A dimensão científica

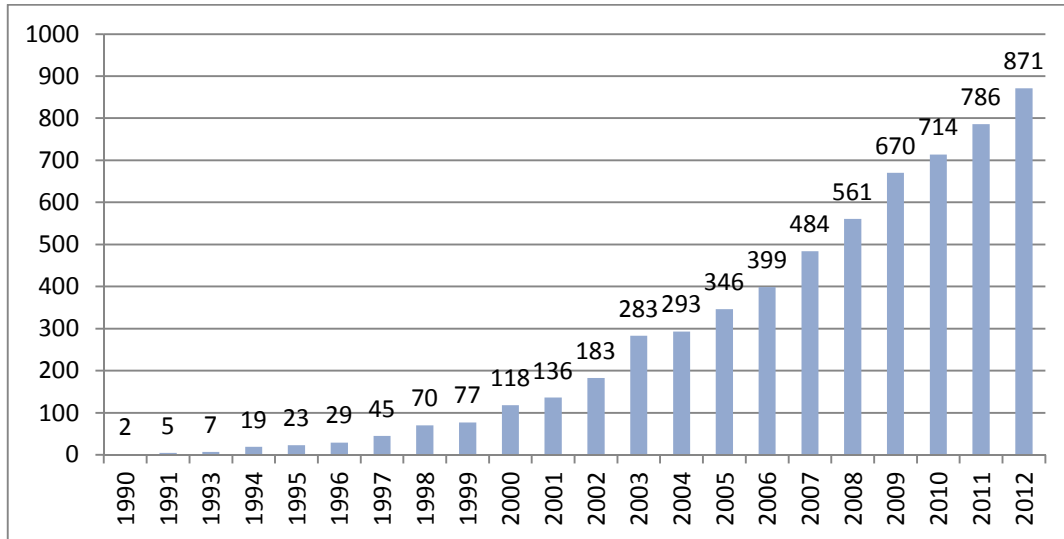
A abordagem denominada de dimensão científica visa entender algumas características em termos de produção científica brasileira na área de nanotecnologia, especialmente a quantidade de produção de artigos científicos e a comparação com países líderes, a posição geográfica dessa produção e as principais áreas.

Estudos da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, ABDI, referentes aos trabalhos científicos indexados na base de dados internacional *Scopus*, no campo da nanociência, no período 1996 a 2006, considerando um total de cerca de 379.000 trabalhos científicos em nanociência publicados desde 1996, apontam os EUA como líder de publicações, com 102.000 trabalhos; respondendo por 27% da produção mundial; o Japão com 13%, ocupa a segunda colocação; e a Alemanha, em terceiro lugar, com 10% da produção mundial. O Brasil ocupava a 25ª posição no ranking geral e a 20ª posição em número de trabalhos científicos, com 4.358 trabalhos publicados e indexados na referida base.

Estudos mais recentes (PEIXOTO, 2013, p. 182), que tomam por base artigos publicados na *ISI Web of Knowledge*, apontam uma pequena evolução brasileira, ocupando no período de 1990 a 2011 a 18ª posição em número de trabalhos científicos na área, correspondendo a menos de 3% da publicação científica mundial.

Verifica-se, nesse contexto, a evolução das publicações de pesquisas por brasileiros em Nanotecnologias no período de 1999 - 2011, passando de 183 artigos, em 2001, para 871 em 2011 (crescimento superior a cinco vezes), totalizando 6121 artigos publicados no período. Tais dados representam uma razoável colocação do país em nível de publicações científicas, dadas as características de “alto grau de base científica envolvidas” (OCDE, 2010, p. 67).

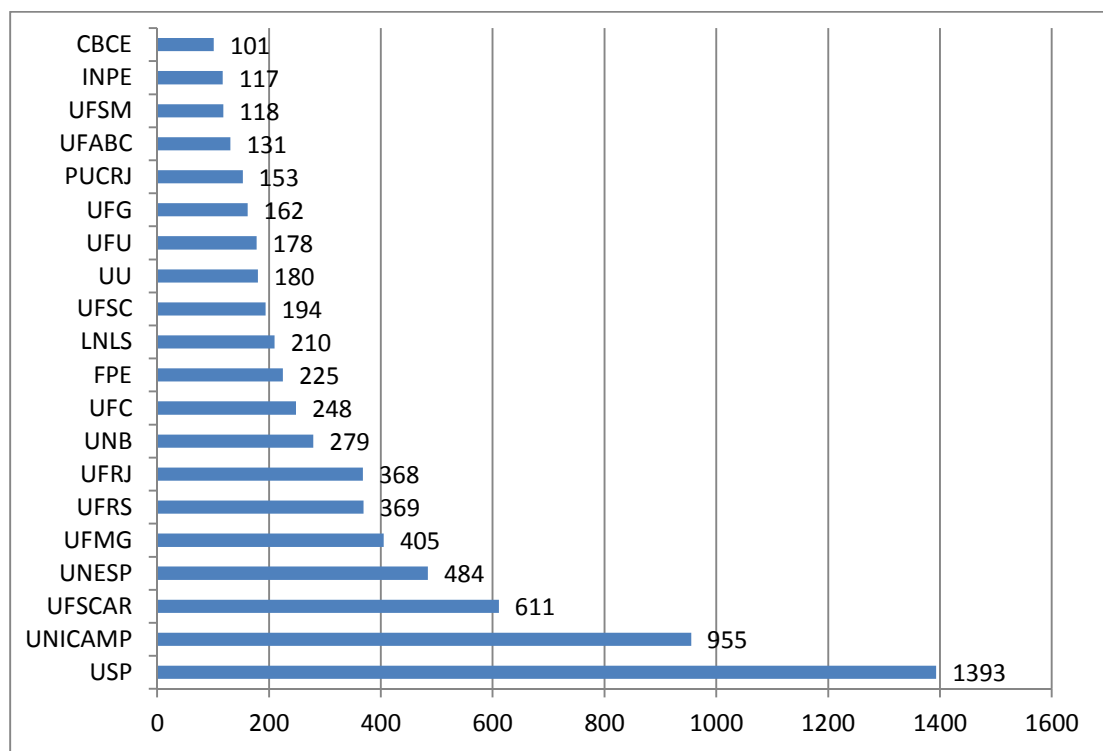
GRÁFICO 4 - Evolução da produção científica (artigos publicados em periódicos extraídos da base de dados ISI *Web of Knowledge*) em Nanotecnologia, no Brasil, de 1990 a 2011



Fonte: Adaptado de PEIXOTO, 2013.

No que tange a distribuição geográfica da produção científica, verifica-se nível de concentração de 60% na região de São Paulo, seguido dos Estados de Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro e Brasília, conforme Gráfico abaixo:

GRÁFICO 5 - Universidades com maiores quantidades de publicações (artigos publicados em periódicos extraídos da base de dados ISI *Web of Knowledge*) entre o período de 2001 a 2011



Fonte: Adaptado de PEIXOTO, 2013.

A concentração de publicações científicas nos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais são informações que possuirão viés de análise análoga ao de Universidades que interagem com empresas, tópico este que será abordado a seguir (análise da IUE da próxima seção), mostrando confluência entre a concentração de maior quantidade de publicações em nanotecnologia em determinados Estados e Universidades, localidades estas que também aparecem no presente estudo como Universidades que interagem com empresas para pesquisa e desenvolvimento da nanotecnologia.

Por fim, em relação às áreas de especialização dos artigos, há predomínio na produção científica nas áreas de Ciência dos Materiais e Física, conforme tabela abaixo:

TABELA 6 - Quantidade e Percentual de Publicações (artigos publicados em periódicos extraídos da base de dados ISI *Web of Knowledge*) por áreas temáticas em nanotecnologia, no período de 2001 a 2011, no Brasil

Áreas temáticas	n° de publicações	%
Ciências dos materiais	1833	29,95
Física: Matéria condensada	1659	27,1
Física aplicada	1215	19,85
físico-química	1125	18,38
Nanociência e nanotecnologia	754	12,32
Química multidisciplinar	574	9,38
Física multidisciplinar	313	5,11
Ciência dos polímeros	305	4,98
Física atômica e molecular	276	4,51
Eletroquímica	260	4,25

Fonte: PEIXOTO, 2013, p. 184.

As áreas acima, que tomaram maior destaque na produção científica, também se destacaram no estudo da Interação Universidade-Empresa. Sendo assim, no mesmo sentido da confluência entre Universidades (e sua respectiva localidade estatal), que se destacam na produção científica e Interação com Empresas, as áreas do conhecimento com destaque envolvidas na interação são as mesmas com destaque em termos de produção científica.

Dados mais atualizados da base de dados ISI *Web of Knowledge*, mostram o Brasil na 17^o colocação no ranking mundial em 2013; ranking este liderado por China, seguindo de EUA, Japão e Alemanha.

TABELA 7 - *Ranking* em Produção Científica (quantidade de artigos publicados por países em periódicos extraídos da base de dados ISI *Web of Knowledge*) em Nanotecnologia no período de 2010 a 2013

PAÍSES	2010	2011	2012	2013
CHINA	1	1	1	1
EUA	2	2	2	2
ALEMANHA	4	3	3	5
JAPÃO	3	4	5	6
RÚSSIA	11	13	13	13
BRASIL	19	18	18	17

Fonte: Adaptado de Statnano²⁹, 2014.

TABELA 8 - Produção Científica (quantidade de artigos publicados por países em periódicos extraídos da base de dados ISI *Web of Knowledge*) em Nanotecnologia no período de 2010 a 2013

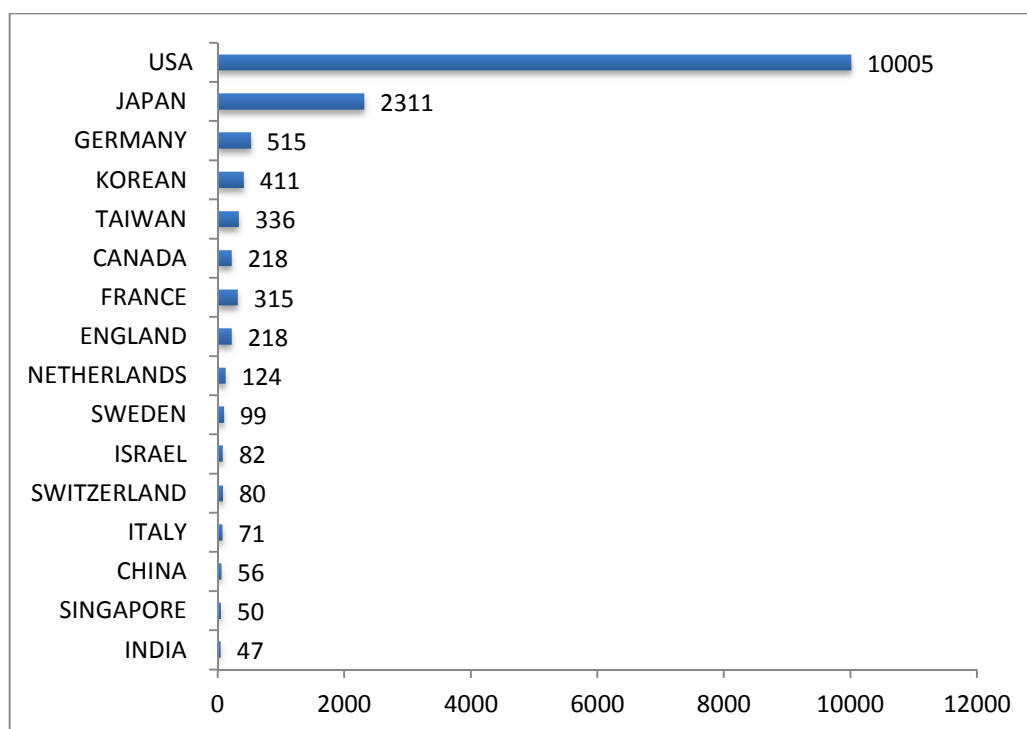
PAÍSES	2010	2011	2012	2013
CHINA	20227	24949	28362	34526
EUA	17409	18749	198414	21738
ALEMANHA	6213	6834	6987	7494
JAPÃO	6302	6763	6717	7164
RÚSSIA	2713	2845	2894	3239
BRASIL	1221	1332	1552	1883

Fonte: Adaptado de Statnano, 2014.

Estudos conduzidos pela *Science-Matrix*, em 2008, referentes ao levantamento de patentes em nanotecnologia, concedidas pelo USPTO (*United States Patent and Trademark Office*), no período de 1981 a 2006, foram trazidos pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) em “Panorama sobre as nanotecnologias no mundo”, em 2010. Tal estudo demonstra a supremacia dos EUA no número de depósitos de patentes em nanotecnologias (ultrapassando a casa dos dez mil), seguido de Taiwan, China, Inglaterra e Canadá.

²⁹ Trata-se de plataforma internacional de dados em nanotecnologia que utiliza a base de dados ISI *Web of Knowledge*.

GRÁFICO 6 - Quantidade de Depósitos de Patentes (por critério de prioridade³⁰)
extraído da base de dados da USPTO atinente ao período 1981 a 2006



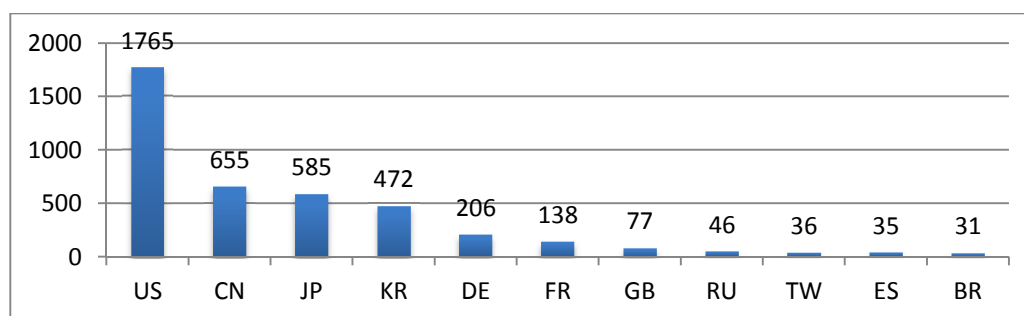
Fonte: ABDI, 2010.

O Brasil, no estudo, encontra-se na 25^o posição, não constando no gráfico acima, bem como não aparecendo em posição de destaque no panorama da propriedade intelectual em nanotecnologia do ponto de vista mundial até 2006.

Os estudos mais recentes do Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI, 2010), referentes ao segundo semestre de 2010 e ao primeiro semestre de 2011, são as análises realizadas até o presente momento no país com dados oficiais. O estudo traz à tona o panorama dos depósitos de prioridade³¹, referente ao segundo semestre de 2010, abrangendo 5256 depósitos mundiais, destacando-se os seguintes países: EUA, China, Japão, Coreia do Sul e Alemanha.

³⁰ Leia-se prioridade como sendo o país onde foi realizado o primeiro depósito do pedido de patente.

GRÁFICO 7 - Quantidade de Depósitos de Patentes em Nanotecnologia no 2º Semestre de 2010 por Critério de Prioridade - extraído da base de dados do INPI

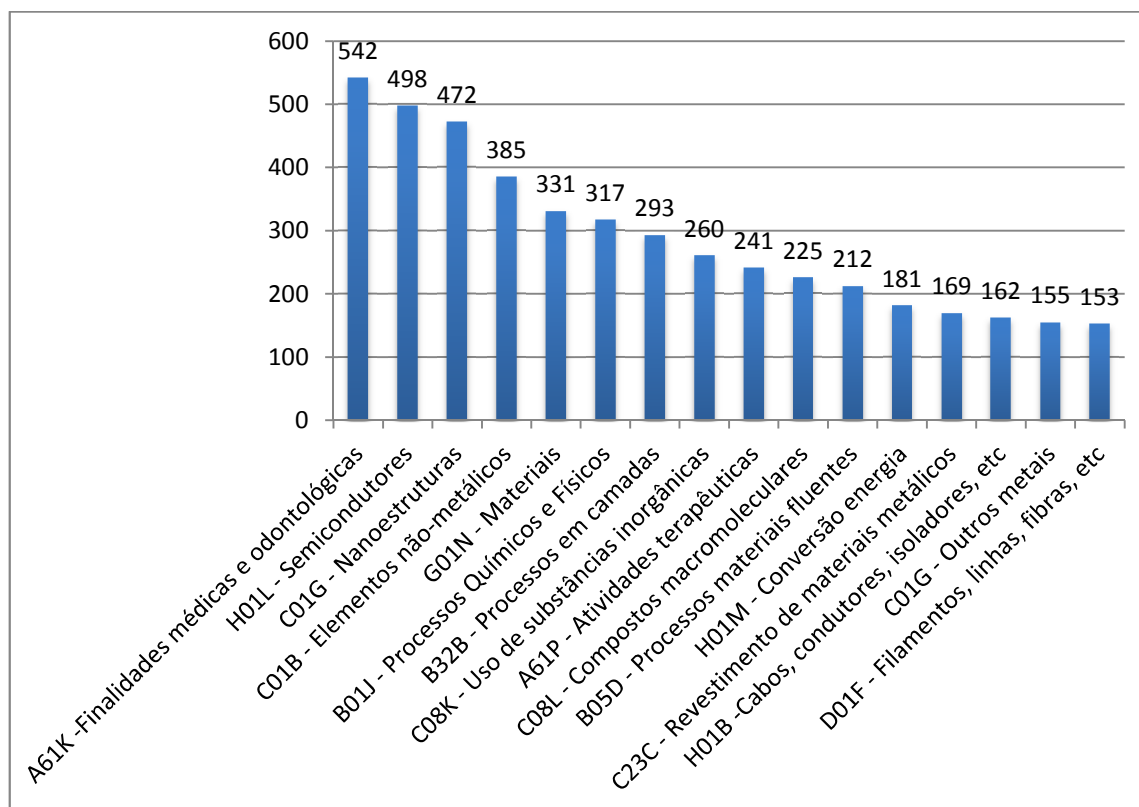


Fonte: INPI, 2010.

Observa-se que o Brasil aparece em 11º lugar no *ranking* de países de prioridade. Do mesmo modo, há uma continuada liderança dos Estados Unidos, mas, também, o surgimento da China nesse cenário, podendo-se inferir que as tecnologias estão sendo desenvolvidas, principalmente, nos países indicados, já que geralmente os depositantes solicitam a prioridade a partir de seus países de origem conforme dados entabulados no relatório do INPI (INPI, 2010).

O gráfico abaixo permite o monitoramento das principais tecnologias relacionadas ao tema nanotecnologias, descritas nos pedidos de patentes publicados no período. Para este levantamento, foram computadas somente as classificações presentes, em mais de 150 documentos, pelo INPI. Estas classificações permitem o monitoramento das tecnologias relacionadas ao tema, descritos nos pedidos de patentes publicados no período.

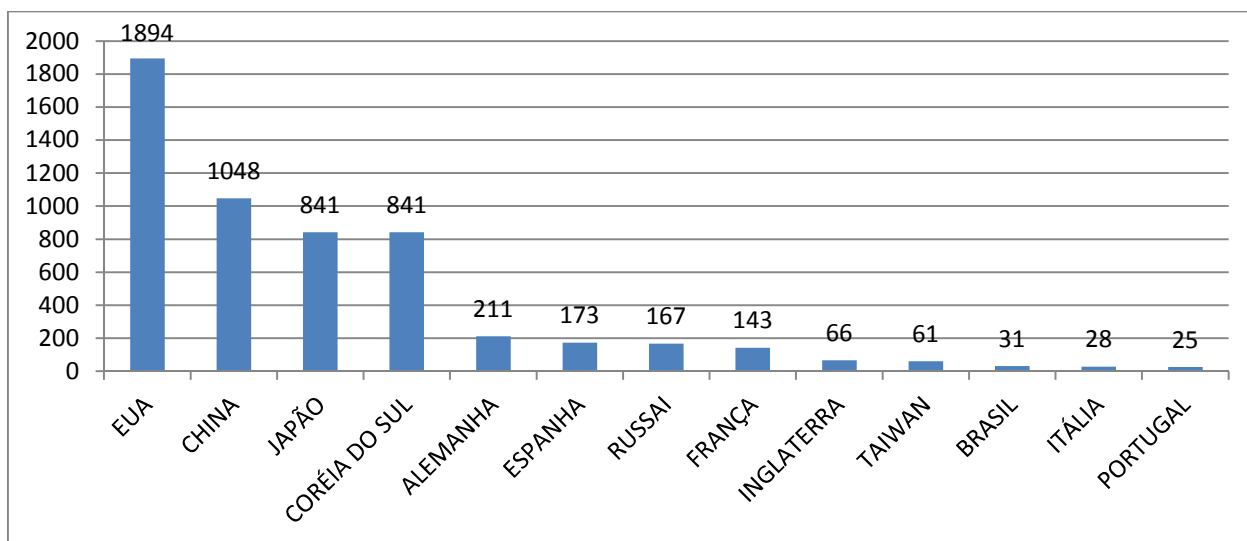
GRÁFICO 8 - Classificação Internacional de Patente (CIP) com maior número de ocorrências nas tecnologias relacionadas à nanotecnologia no mundo, referente ao 2º semestre de 2010 (extraído da base de dados INPI)



Fonte: INPI, 2010.

Em relação ao 1º semestre de 2011, estudos do INPI, com análise de 4016 documentos, evidenciaram diversos aspectos semelhantes aos realizados no segundo semestre de 2010, destacando-se os mesmos países, quais sejam: EUA, China, Japão, Coréia do Sul e Alemanha.

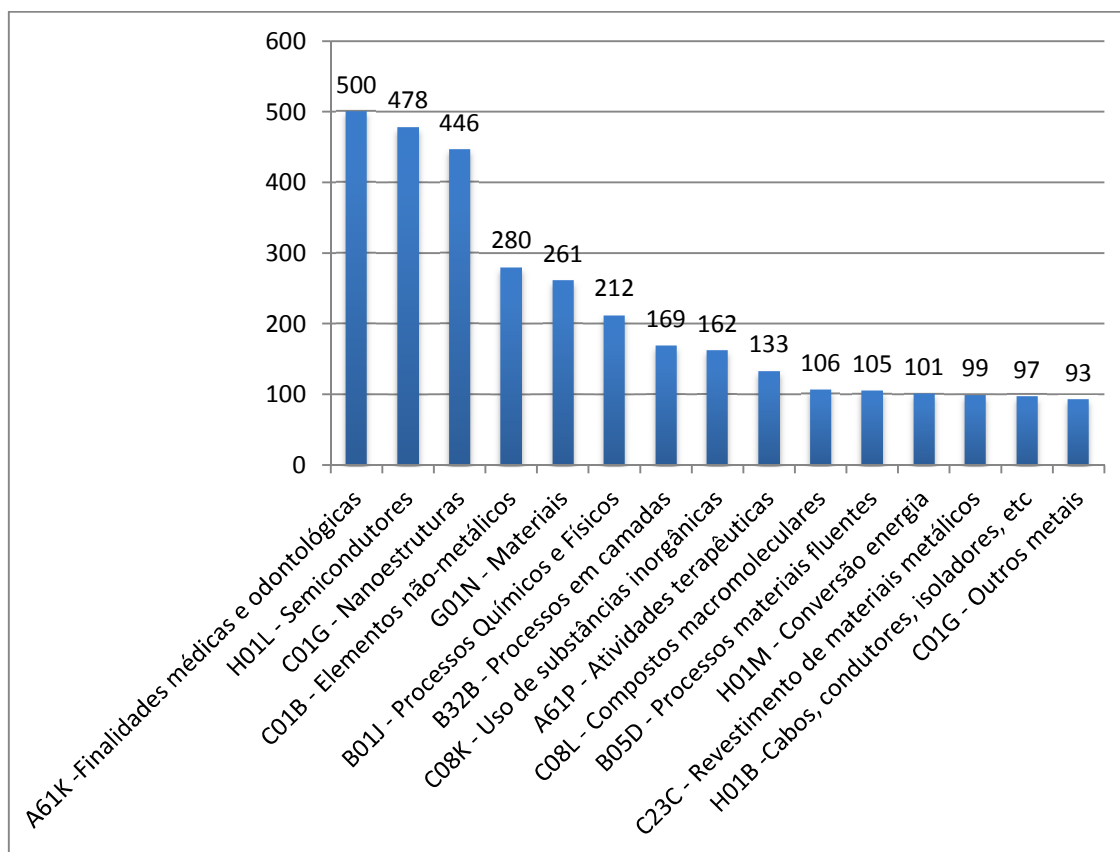
GRÁFICO 9 - Quantidade de Depósitos de Patentes em Nanotecnologia no 1º Semestre de 2011 por Critério de Prioridade (extraído da base de dados do INPI)



Fonte: INPI, 2011.

Observa-se, segundo o estudo, que o Brasil aparece em 13º lugar no ranking de países de prioridade, com a perda de duas colocações no *ranking* mundial em relação ao semestre anterior. No que concerne as principais tecnologias relacionadas aos depósitos, verifica-se as principais ocorrências em dispositivos de preparações para finalidades médicas, semicondutores, fabricação ou tratamento de nanoestruturas, elementos não metálicos e seus compostos e investigação ou análise dos materiais pela determinação de suas propriedades químicas ou físicas.

GRÁFICO 10 - Classificação Internacional de Patente (CIP) com maior número de ocorrências nas tecnologias relacionadas à nanotecnologia no mundo, referente ao 1º semestre de 2011 (extraído da base de dados INPI)

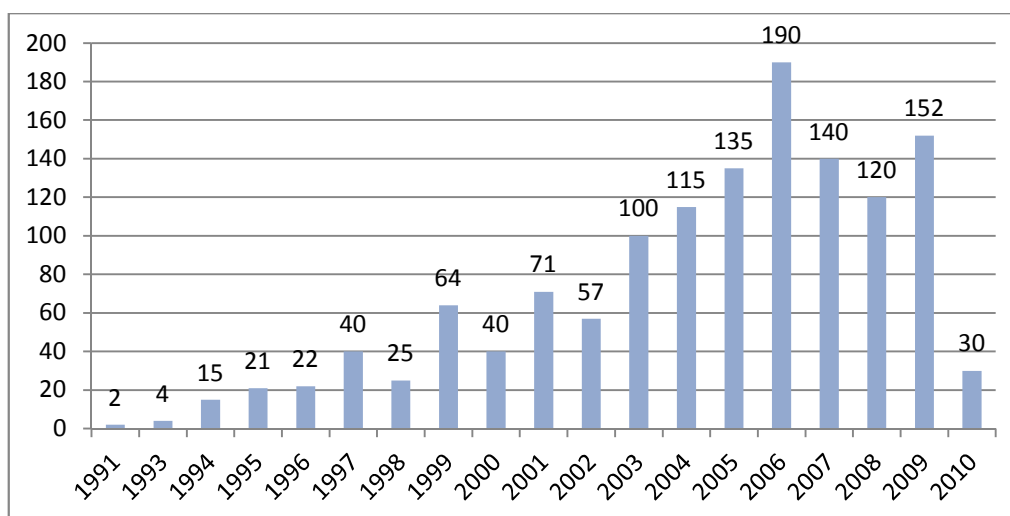


Fonte: INPI, 2011.

Em ambos os semestres, verifica-se o predomínio da tecnologia A61K (preparações para finalidades médicas), H01L (semicondutores), B82B (nanoestruturas), C01B (elementos não metálicos e seus compostos) e G01N (investigação e análise de materiais pela determinação de suas propriedades físicas e químicas) com índices de quantidade de depósitos muito próximos de um semestre para o outro.

Do ponto de vista da evolução do número de depósitos de patentes no Brasil, estudo publicado por pesquisadores da Fiocruz (MENEZES ALENCAR et al., 2013), referente ao período de 1991 a 2010, evidencia a incipiência de transformação dos estudos científicos em inovação nanotecnológica, cuja taxa de depósito, ao contrário da tendência de crescimento mundial, diminuiu em 2010.

GRÁFICO 11 - Depósitos de Patentes em Nanotecnologia no Brasil por critério de prioridade no período de 1991 a 2010 (base de dados INPI)



Fonte: ALENCAR, et al. 2013.

5.2.3 Dimensão tecnológica-Industrial: Evidências do Diretório do Grupo de Pesquisa do CNPQ - Censo de 2010

A abordagem denominada de dimensão tecnológica-industrial visa entender algumas características em termos da atividade industrial em nanotecnologia.

No que concerne às atividades de Interação Universidade-Empresa na área das nanotecnologias, estudos da OCDE³² evidenciam um forte indicador de interações entre Universidade-Empresa nos países analisados, em razão de diversas características arraigadas a Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação na área da nanotecnologia.

Destacam-se entre estas a cumulatividade do conhecimento, em razão do alto nível de conhecimento científico albergado e a própria natureza e a dificuldade de apropriabilidade privada da nanotecnologia (DOSI, 1984), na medida em que se

³² “[...] Universities are often mentioned as a source of competences by the case study companies, although in-house R&D is of primary importance for companies of all sizes. On a closer look, it is evident that universities are relatively more important for smaller companies, and that larger companies tend to combine in-house R&D activities with collaboration across a broader range of organizations, mainly universities and government laboratories. It is worth noting that other for-profit companies do not appear as important collaborators in any company size group, despite the recent attention given to strategic alliances, partnerships and ‘open’ modes of innovation (OECD, 2008). It may be that the science-oriented nature and early phase of nanotechnology commercialization discourage horizontal collaboration with companies that may become competitors in markets for applications” (OCDE, 2010, p. 8).

trata de uma tecnologia altamente complexa e transdisciplinar, cujo resultado final de determinado produto ou processo nanotecnológico possui uma forte relação cumulativa com graus de aprendizado *ex-ante*, isto é: “the case studies illustrate that nanotechnology is a complex field owing to its dependency on various scientific disciplines, research/engineering approaches and advances instrumentation” (OCDE, 2010, p. 8).

Diante dessas constatações e do estudo inexplorado no país, verificou-se a possibilidade de analisar tal perspectiva em nível brasileiro mediante pesquisa na base de dados do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico no Diretório de Grupos de Pesquisa no Brasil, tomando-se como base o Censo de 2010, e buscando-se o entendimento de algumas características de empresas que utilizam a tecnologia em atividades de IEU.

5.2.3.1 Procedimentos de pesquisa a partir do Diretório dos Grupos de Pesquisa do CNPQ – Censo 2010

A busca por dados a respeito de informações de depósitos de patentes, produção científica, investimentos públicos e privados, bem como características das atividades de IUE em nanotecnologias evidenciou a incipiência de informações e a escassa literatura sobre a nanotecnologia para a discussão de comercialização e difusão do conhecimento em termos de iniciativas de promoção e incentivo à nanotecnologia no Sistema Nacional de Inovação.

O caminho trilhado para acesso às informações científicas a respeito da nanotecnologia, iniciou-se pela busca de artigos científicos publicados nos principais periódicos no Brasil e no Exterior referentes a linha de pesquisa econômica neoschumpeteriana. Utilizando-se da terminologia “nano” para a pesquisa, foram encontrados 52 artigos publicados nos periódicos internacionais no período de 2008 a 2013. A análise de periódicos internacionais concentrou-se em: 1) *Technological Forecasting and Social Change*; 2) *Research Policy*; 3) *Science and Public Policy*; 4) *Economics of Innovation and New Technology*; 5) *Structural Change and Economic Dynamics*; 6) *Journal of Evolutionary Economics*; 7) *Industrial and Corporate Change*; 8) *Industry Innovation*; 9) *Technovation*; 10) *International Journal of Technology Management*; 11) *Technology Analysis and Strategic Management*; 12)

International Journal of Innovation Management; e 13) *International Journal of Entrepreneurship and Innovation*.

Diversos trabalhos recentes têm abordado o tema interação universidade-empresa no Brasil (RAPINI et al., 2009; SUZIGAN et al., 2009; GARCIA et al., 2011). Alguns desses trabalhos utilizaram a base de dados do Diretório dos Grupos de Pesquisa da base Lattes do CNPq com o intuito de avaliar o papel e a importância dessas interações e identificar algumas das principais formas de transferência de conhecimento da universidade para as empresas.

A título de procedimentos de pesquisa, para fins de análise de atividades de IUE, o presente trabalho ancorou-se na base de dados do Diretório de Grupos de Pesquisa (DGP) do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) do Brasil. Utilizando-se como critério de pesquisa os grupos de pesquisa e, após, realizando-se um filtro de grande área em “Nanotecnologias e Novos Materiais” e, posteriormente, aplicando-se um segundo filtro com a palavra “nano”, com o objetivo de verificar quais grupos de pesquisa possuem a nomenclatura “nano”, constatou-se a existência de 35 grupos de pesquisa cadastrados junto ao CNPQ que trabalham com atividades específicas de manipulação de átomos e moléculas em escala nanométrica em relação ao Censo de 2010.

O cadastro, portanto, apresenta a existência de 35 grupos de pesquisa que trabalham com nanotecnologias no país, cadastrados junto ao sistema, desmembrando 54 linhas de pesquisa e com envolvimento de 169 pesquisadores. Do total, 23 grupos, de Universidades e Centros de Pesquisa realizam atividades de interação com 49 empresas, números estes que foram objeto da presente pesquisa.

O período para análise *retro*, justifica-se pela atualização da base do Diretório Acadêmico do Grupo de Pesquisa do CNPQ, estando esta atualizada até 2010. O Diretório de Grupos de Pesquisa da Base Lattes do CNPq é a mais ampla base de informações sobre as atividades dos grupos de pesquisa no Brasil, pois reúne e organiza dados sobre essas atividades por meio da coleta de informações junto aos líderes desses grupos (GARCIA, et al., 2012). Entre as diversas informações prestadas, o líder dos grupos de pesquisa responde acerca das interações do grupo com empresas.

Apesar de ser a base de dados mais ampla sobre as atividades dos grupos de pesquisa no Brasil, o Diretório de Grupos de Pesquisa da Base Lattes do CNPq apresenta algumas insuficiências. A principal delas, Segundo Garcia (et al., 2012) é

que o preenchimento da base de dados “*é realizado voluntariamente pelos líderes dos grupos de pesquisa, sem exame posterior de consistência das informações prestadas*”, sendo “*bastante razoável supor que as interações universidade-empresa estejam subestimadas no Diretório de Grupos de Pesquisa da Base Lattes do CNPq*”.

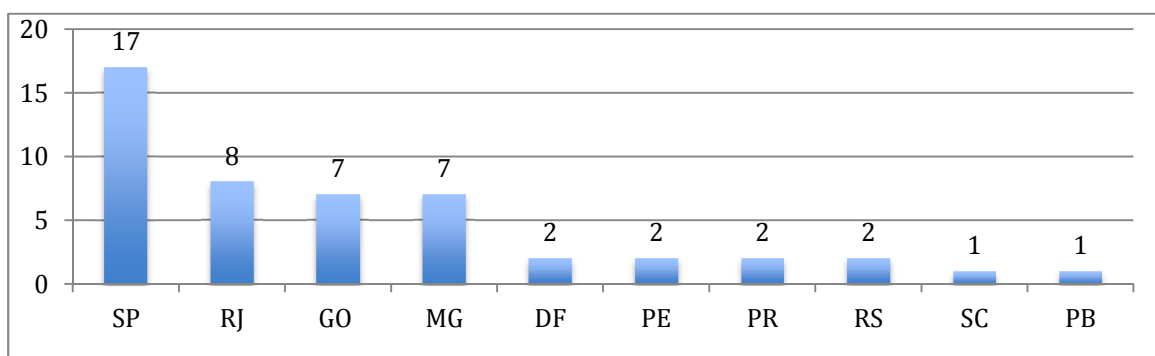
O Diretório dos Grupos de Pesquisa da base Lattes do CNPq é a mais ampla base de informações sobre as atividades dos grupos de pesquisa no Brasil, pois reúne e organiza dados por meio da coleta de informações junto aos líderes dos grupos de pesquisa. Dentre as informações que podem ser encontradas na base, há dados sobre as interações dos grupos de pesquisa com empresas, assim como as principais características dessas relações. A principal base de informações utilizada neste trabalho foi extraída do Censo de 2010 do Diretório dos Grupos de Pesquisa da base Lattes do CNPq.

5.2.3.2 Resultados e Evidências encontradas

Constatou-se que 23 grupos interagem com 49 empresas³³ de diversos estados do país, cuja concentração de disposição geográfica está localizada nos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Goiás, em relação à quantidade de projetos desenvolvidos, conforme gráfico abaixo:

³³ Leia-se pessoas jurídicas que desempenham atividades com fins lucrativos.

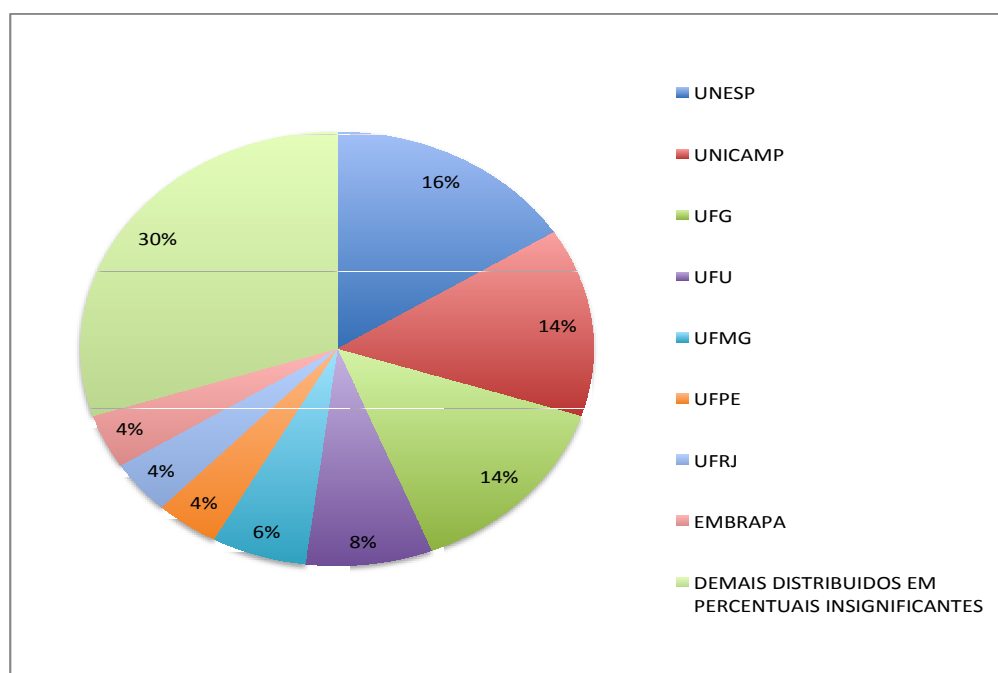
GRÁFICO 12 - Localização das Universidades por Quantidade de Projetos de Interação com Empresas (Distribuição por Estados Federativos dentro do Território Brasileiro)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Destaca-se, nesse contexto, as seguintes Universidades: UFG, UNESP e UNICAMP e UFU que concentram 52% do total de 49 empresas de interações pesquisadas, conforme se depreende dos dados abaixo:

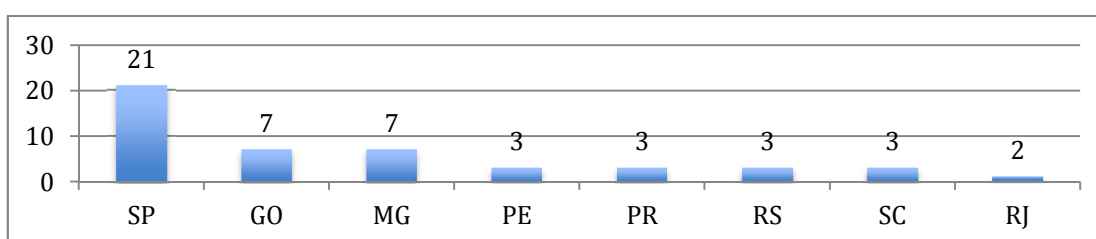
GRÁFICO 13 - Percentual de Concentração de Projetos de Interação em Universidades em Relação ao Total de Interações (49)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Do ponto de vista da localização das empresas, estas se concentram, em maior parte, nos Estados de São Paulo, Goiás e Minas Gerais, constatando-se correlação com a mesma disposição geográfica das Universidades, excetuando-se o Estado do Rio de Janeiro que concentra maior atividade de pesquisa em Universidade do que empresas que usam tal tecnologia, conforme gráfico abaixo:

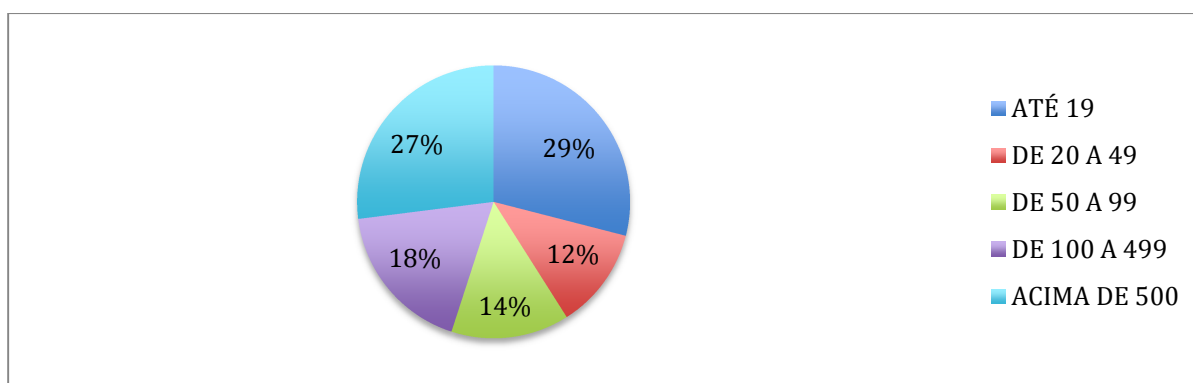
GRÁFICO 14 - Localização das Empresas que Interagem com Universidade em Projetos de Nanotecnologia (Distribuição por Estados Federativos dentro do Território Brasileiro)



Fonte: Elaborado pelo autor

Em relação ao tamanho dessas empresas (nano)inovadoras, 28,57% das empresas possuem até 19 funcionários e 16,53% acima de 500, além de 18% que estão na faixa de 100 a 499 funcionários, levando a interpretação dos indicadores no sentido de concentração da atividade de P&D com interação com Universidade em nanotecnologias em empresas de pequeno e grande porte (juntas representam 74% do total).

GRÁFICO 15– Percentual de Empresas com Interação com Universidades por Número de Funcionários

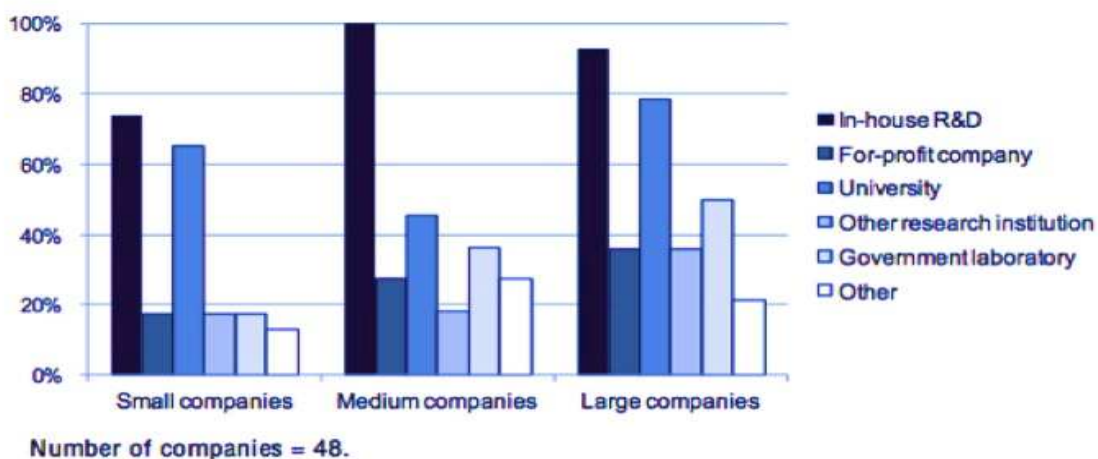


Fonte: Elaborado pelo autor.

A perspectiva dos dados acima mencionados possui sincronia com dados pesquisados pela OCDE, em estudo realizado entre o período de maio a novembro de 2007, publicado, em 2010, no livro “*The impacts of nanotechnology on companies*”, que analisou 51 empresas de 17 países membros que trabalham com nanotecnologias de forma direta ou indireta em seu processo produtivo ou no desenvolvimento de produtos. Classificadas como empresas pequenas as de 1 a 49 funcionários, empresas de médio porte as de 50 a 249 funcionários e grandes empresas as de mais de 250 funcionários. Destaca-se no estudo a predominância de empresas de pequeno (47%) e grande porte (31%) no desenvolvimento da nanotecnologia, conforme:

Universities are often mentioned as a source of competences by the case study companies, although in-house R&D is of primary importance for companies of all. On a closer look, it is evident that universities are relatively more important for smaller companies and for larger companies that tend to combine in-house R&D activities with collaboration with open innovation (OCDE, 2010, p.67).

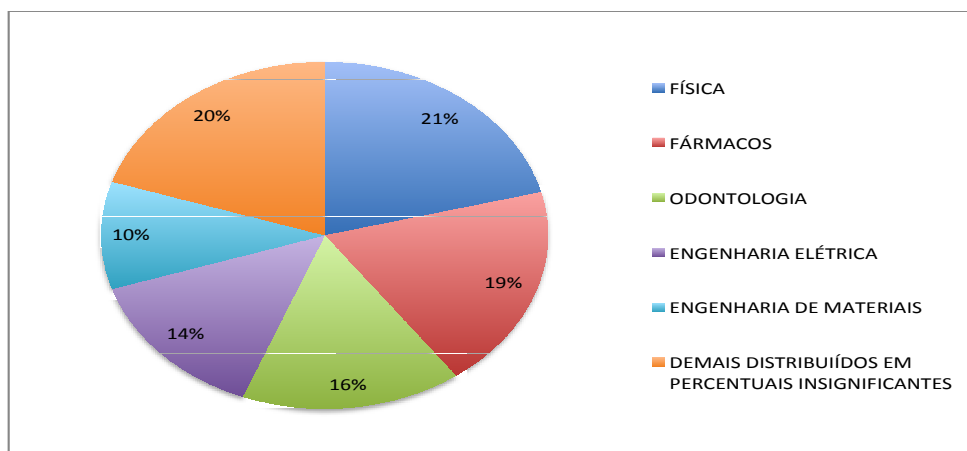
GRÁFICO 16 - Fontes de Interação em Nanotecnologia por tamanho de empresa
(estudo da OCDE)



Fonte: OCDE, 2010.

No que diz respeito às principais áreas do conhecimento objeto de interação em PD&I, constata-se o predomínio das atividades no setor de Fármacos, Física, Odontologia, Engenharia Elétrica e Engenharia de Materiais, conforme gráfico abaixo:

GRÁFICO 17 - Áreas do conhecimento das interações

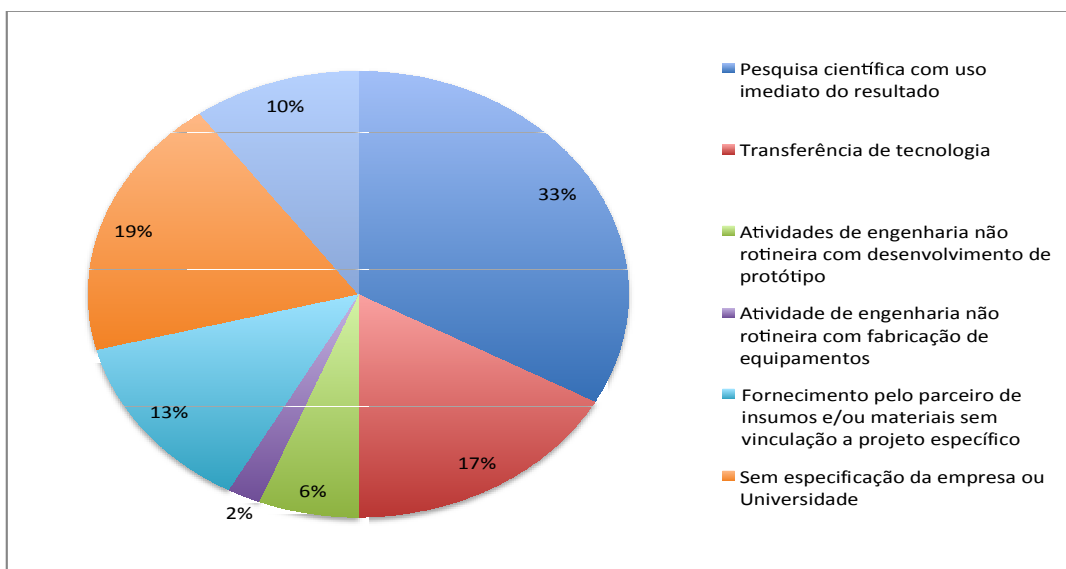


Fonte: Elaborado pelo autor.

As evidências acima possuem sincronia com os dados de depósitos de patentes (objeto de análise em tópico anterior), cujo destaque pela quantidade de depósitos em 2010 e 2011, em nível mundial, deu-se em relação às preparações médicas e odontológicas, às nanoestruturas metálicas e à investigação e à análise de materiais. No mesmo sentido, há de se salientar que as pesquisas referentes à produção científica brasileira (abordagem em tópico anterior) destacam-se nas áreas da Física e das Ciências de Materiais, possuindo alinhamento com os resultados encontrados nas áreas de interação.

Conforme gráfico abaixo, as atividades de interação dispostas no banco de dados do Diretório do CNPQ podem trazer dados de atividades de baixa transferência de tecnologia ou de grau de inovação envolvidos. Contudo, os dados evidenciam predomínio das atividades de inovação na interação com foco em nanotecnologias, com concentração em atividades de pesquisa e desenvolvimento. O estudo realizado demonstra predomínio, em quase todos os itens da interação, de atividades de pesquisa e desenvolvimento e/ou transferência de tecnologia (15%), com destaque à pesquisa científica com considerações de uso imediato de resultados (33%).

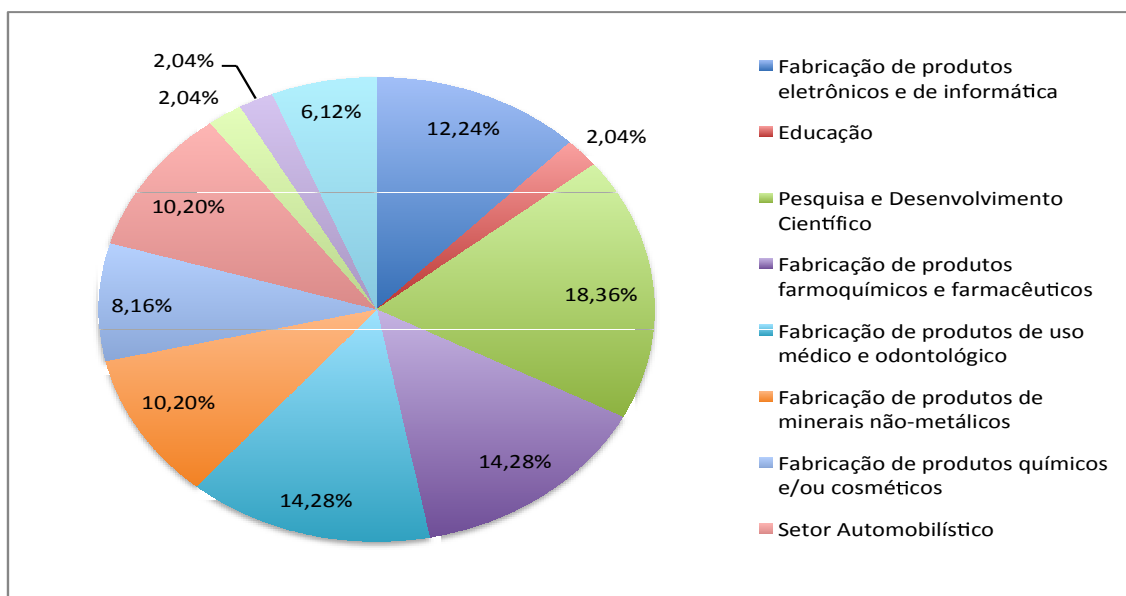
GRÁFICO 18 - Tipo de interação realizada entre Universidade-Empresa



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação ao setor industrial das empresas analisadas, o resultado do gráfico abaixo demonstra predomínio de empresas do setor de P&D (atividade fim), de indústrias farmacêuticas e de indústrias com produção destinada a produtos de uso médico/hospitalar e odontológico.

GRÁFICO 19 - Setor industrial das empresas analisadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, uma importante característica encontrada nas interações analisadas é a revelação dos setores industriais predominantes em cada nível de empresas, classificadas estas pelo seu porte a partir do critério de quantidade de funcionários na pesquisa realizada.

Nas empresas entre 100 e 499 funcionários (10 empresas analisadas nesta pesquisa), há predomínio de 70% de empresas que atuam nos mercados químico/cosmético/hospitalar/odontológico, eletrônico e de informática e P&D. Em empresas com mais de 100 funcionários há predominância de 84,61% em atuação no mercado de fármacos, de eletrônicos, de informática, de P&D e de exploração de minério. Por fim, em empresas com até 19 funcionários há predomínio de mercado em 75% nas áreas de atuação nas áreas de cosmético/químico/hospitalar/odontológico, de eletrônicos e de informática, de P&D e automobilístico.

Os dados revelam, pois, predomínio dos setores farmacêutico, químico/hospitalar/odontológico e eletrônico, tanto em empresas de pequeno porte (até 19 funcionários), como em empresas grandes (entre 100 e 499 funcionários e mais de 500 funcionários).

Sendo assim, diante de todo o exposto, encontram-se no estudo da dimensão tecnológica-industrial importantes aspectos confluentes com a dimensão científica, especialmente em termos de setores de aplicações das pesquisadas realizadas em interação Universidade-Empresa. No mesmo sentido, os depósitos de patentes realizados apontam para setores análogos aos que predominam nas produções científicas e nas interações analisadas, indicadores estes importantes em termos de fotografia da realidade industrial brasileira em nanotecnologia.

5.2.4 Dimensão político-regulatória: a regulação do “invisível”?

Um elemento fundamental dos países que conseguiram equiparar-se, com sucesso, aos países líderes, durante os Séculos XIX e XX, residiu no ativo apoio governamental ao processo de emparelhamento, envolvendo várias formas de proteção e de subsídios diretos ou indiretos e de políticas em Sistemas Nacionais de Inovação (CIMOLI et al., 2007, p. 66).

A percepção de que a nanotecnologia representa um novo patamar do conhecimento, com imensos e, ainda não devidamente mensurados, impactos científicos e econômicos, tem levado diversos países líderes, como EUA, Alemanha, Rússia e Japão e, também, a União Europeia, a desenhar iniciativas nacionais de incentivo e de financiamento privilegiado à área, visando novos níveis de competitividade de suas empresas.

Programas de estímulo à interação entre Universidade e Empresas e de fomento de produção científica na área já foram iniciados em diversos países desde o início dos anos 2000 (JU JUNG; LEE, 2013), tomando destaque a política americana do NNI (*National Nanotechnology Initiative*) criada por Clinton, em 21 de janeiro de 2000. Na Alemanha, desde o início dos anos 90, tem-se considerado como setor estratégico, possuindo agenda política fomentada pelo Ministério Alemão de Educação e Pesquisa (SCHAPER-RINKEL, 2013, p.446). No mesmo sentido, a Rússia, em meados 2006, já a considerava prioridade estratégica em CT&I do país, com implementação, a partir de 2007, de um forte programa de incentivo financeiro e de apoio tecnológico às empresas com a efetivação do *Program of Nanotechnology Development in the Russian Federation*, programa que contempla mais de 740 membros (GOKHBERG, 2012, p. 162).

Tais dados, se confrontados com iniciativas brasileiras na área da nanotecnologia, demonstram o salto temporal dado por esses países em relação ao Brasil, que iniciou o debate no Fórum de Competitividade em Nanotecnologias, criado pelo MDIC (Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior), em 23 de novembro de 2009. A partir desse Fórum iniciou-se a embrionária IBN (Iniciativa Brasileira em Nanotecnologia), criada em 19 de outubro de 2013, com realização do SisNano, tratando-se de uma iniciativa recente e ainda incipiente. Muitos dos mecanismos de fomento existentes ainda estão em fase de construção e os atores envolvidos buscam a criação de instrumentos necessários para fomentar uma cultura empresarial voltada à inovação em nano.

Um aspecto importante nesse contexto é a construção de um Marco Regulatório para a Nanotecnologia no Brasil. A inexistência de definição do alcance do termo “nanotecnologia” por meio de propositura legislativa é algo que impede a criação de produtos e processos em nanotecnologia. Exemplo disso é a empresa *Aquamare*, que transforma água do mar em água potável com uso da tecnologia “nano”. O produto está sendo exportado para os Estados Unidos, onde foi

homologado pela *Food and Drug Administration* (FDA), desde 2008, contudo não é vendido no Brasil, seu país de fabricação, em razão da falta de regulamentação da nanotecnologia, impedindo sua aprovação na ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária).

Ao contrário dos EUA e da UE, que possuem marco regulatório disciplinando a criação de produtos e processos com uso de nanotecnologia desde os anos 2000, propostas legislativas, mesmo que incipientes, não foram consolidadas no processo legislativo brasileiro. Destacam-se nesse contexto o Projeto de Lei 5.076/2005, o Projeto de Lei 131/2010, o Projeto de Lei 6.741/2013 e o atual projeto em andamento PL 5.133/2013 (STRINGHI FLORES et al., 2010, p. 174).

Nos últimos anos, através da criação, via portaria MCTI 510, de 09 de julho de 2012, do Comitê Interministerial de Nanotecnologia, houve um aumento nos debates, com a construção de *workshops* e cenários com vista à Colaboração estratégica com a União Europeia, especificamente em regulação e em nanosegurança, com o objetivo de envolver de forma ativa os laboratórios, grupos de pesquisa e redes nas ações da EU, estabelecendo o reconhecimento mútuo de protocolos, resultados e laboratórios de tal forma que dados e informações levantadas do Brasil estejam alinhados com as metodologias e exigências europeias e vice versa.

Assim, aos poucos o país está buscando a participação no sistema internacional de pesquisa regulatória em nanotecnologia, em uma proposta estratégica de regulação até 2020, conforme se depreende dos objetivos da IBN.

Marcos regulatórios desenvolvidos pela UE e pelos EUA foram passo importante para o desenvolvimento da nanotecnologia nessas regiões, destacando-se a adoção pela União Europeia da padronização do conceito de nanotecnologia, a partir da ISO TC 229³⁴ (DELEMARLE; THRONE-HOLST, 2013, p.134-1). Desse modo, a propositura de criação de uma estrutura de coordenação, de avaliação, de monitoramento dos impactos da nanotecnologia no meio ambiente e nos seres humanos, bem como, o amparo legal para PD&I, produção e comercialização das

³⁴ A norma define nanotecnologia como: "Nanotechnology Standardization in the field of nanotechnologies that includes either or both of the following: 1. Understanding and control of matter and processes at the nanoscale, typically, but not exclusively, below 100 nanometers in one or more dimensions where the onset of size- dependent phenomena usually enables novel applications, 2.Utilizing the properties of nanoscalematerials that differ from the properties of individual atoms, molecules, and bulk matter, to create improved materials, devices, and systems that exploit these new properties" (OCDE, 2010).

nanotecnologias e produtos nanotecnológicos, tratam-se de ações inerentes a natureza da evolução e do desenvolvimento da nanotecnologia.

Diante das evidências acima, constata-se que, apesar da atrasada iniciativa estratégica, o país vem desenhando a IBN – Iniciativa Brasileira em Nanotecnologia, buscando, através da criação do SisNano, a integração e a interação de Universidades, Centros de Pesquisa e Empresas. Do ponto de vista regulatório, um longo caminho ainda deve ser percorrido, caminho este fundamental para o amparo empresarial à criação de novos produtos e processos em escala nano e para o crescimento de atividades empresariais com foco nessa nova tecnologia do Século XXI.

5.3 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

A emergência das nanotecnologias, ou seja, da busca de descobertas técnico-científicas ao nível do nanômetro, tem um significado especial para a inovação industrial, tendo suscitado diferentes análises e expectativas quanto ao potencial caráter revolucionário dessa tecnologia, tanto no que se refere aos desenvolvimentos técnico-científicos *per se*, quanto em termos de seus possíveis impactos na dinâmica e no desenvolvimento industriais.

A percepção de que a nanotecnologia representa um novo patamar do conhecimento, com imensos e ainda não devidamente mensurados impactos científicos e econômicos, tem levado diversos países líderes como EUA, Alemanha, Rússia e Japão, assim como a União Europeia, a desenhar iniciativas nacionais de incentivo e de financiamento privilegiado à área, visando novos níveis de competitividade de suas empresas.

Nesse contexto, entra em proeminência a importância do Estado como agente coordenador dos Sistemas Nacionais de Inovação, cabendo a este a tarefa de intervenção a fim de fomentar o desenvolvimento produtivo e tecnológico e a expansão de setores estratégicos, além do desenvolvimento e da difusão de novas tecnologias através de operações de P&D de atividades consideradas estratégicas para o crescimento econômico.

Contudo, para a compreensão dos Sistemas Nacionais de Inovação, conforme ensinamentos da literatura brasileira especializada trazidos nesse capítulo,

é necessário o entendimento das especificidades de cada país estudado, em razão das características do processo de inovação muitas vezes ser dependente da trajetória (*path dependence*) de desenvolvimento adotada.

Assim, buscou-se no início desse capítulo trazer ao leitor algumas características culturais, institucionais e sociais do Sistema Nacional de Inovação brasileiro; Sistema que se caracteriza por um processo tardio de industrialização e criação das instituições de pesquisa e universidades, mas que, a partir de 2002, vem apresentando dados mais positivos, conforme características trazidas no capítulo.

Dessa forma, a partir da contextualização e da caracterização do SNI brasileiro, foi possível ingressar na seara específica da nanotecnologia, estudo que foi pautado em três dimensões: a científica, a tecnológico-industrial e a político-regulatória, na medida em que, conforme a literatura especializada, essas dimensões possibilitam o aporte ao entendimento de fatores que podem fomentar, ou não, a criação de oportunidades para o país em uma perspectiva de política industrial e de inovação.

O estudo das ações brasileiras e de seus antecedentes político-institucionais possibilitou a compreensão das políticas desenvolvidas pelo Governo brasileiro em nanotecnologias e sua evolução no tempo. Foi possível, assim, verificar que as ações, até a criação da IBN, em 2013, se direcionaram quase que exclusivamente ao apoio à ciência básica, à formação de recursos humanos e à criação de laboratórios e centros de pesquisa – movimento este que pode ser caracterizado por ações de *technology-push*. Tal constatação é ratificada pela análise do mapa estratégico da nanotecnologia desenvolvido pelo MCTI em parceria com os estudos da ABDI, que marcam o processo de produção e comercialização de produtos e processos em nanotecnologia apenas para o período a partir de 2011.

Em termos de análise de dimensão científica, os resultados dos estudos trazidos na seção, reiteram, também, a conclusão acima, na medida em que o país ocupa, nos últimos estudos da literatura, a 18^o colocação no *ranking* mundial.

Destarte, no que diz respeito ao estudo sobre patentes, produção científica e IUE realizados, verificou-se que a produção científica americana domina o cenário mundial (dados entabulados até 2011), com 22% da publicação mundial, representando o dobro da publicação da China, segunda colocada no *ranking*. No que concerne à produção científica brasileira em nanotecnologias, esta cresceu em 2010, com predominância nas áreas de Ciências dos Materiais e Física,

representando 3% da publicação mundial, estando na 18^o posição no *ranking*, sendo que com acentuada concentração em São Paulo (60% do total), seguido dos Estados de Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro e Brasília.

Por outro lado, há de se observar que a quantidade de depósitos de patentes em nanotecnologias diminui em relação aos anos anteriores, representando a 13^o colocação no *ranking* de depósitos mundiais (dados do INPI). O predomínio de depósitos, da mesma forma que em produção científica, é americano (concentrando, em 2010, aproximadamente, o triplo de publicações da China e, em 2011, o dobro da chinesa e japonesa) seguido, portanto, da China e Japão, respectivamente.

No que concerne aos dados do estudo de IUE apresentados, utilizando-se a base do Diretório do Grupo de Pesquisas do CNPQ, constatou-se a existência de 35 grupos de pesquisa que trabalham com nanotecnologias no país, cadastrados junto ao sistema, desmembrando 54 linhas de pesquisa e com envolvimento de 169 pesquisadores. Do total, 23 grupos realizam atividades de interação com 49 empresas, números estes que foram objeto da presente pesquisa.

Os resultados apresentados no presente trabalho são muito semelhantes ao estudo da OCDE, realizado em 51 países (com destaque para: Áustria, Austrália, Bélgica, Canadá, Finlândia, Alemanha, Irlanda, Israel, Japão, Polônia, Coreia do Sul, Suécia, Suíça, África do Sul, Estados Unidos, Reino Unido e França), especialmente no que diz respeito à predominância de empresas pequenas e grandes no desenvolvimento de produtos e processos com interação com Universidades para o desenvolvimento da tecnologia “nano”.

As constatações referentes à interação entre Universidade-Empresa, via base de dados do CNPQ, mostraram, também, sincronia com os dados analisados sobre depósitos de patentes em nível mundial, cujo destaque pela quantidade de depósitos, em 2010 e 2011, dá-se em relação às preparações médicas e odontológicas, às nanoestruturas metálicas e à investigação e à análise de materiais; áreas estas análogas aos dados de interações verificadas. Destaca-se, também, que as pesquisas realizadas referentes à produção brasileira sobressaíram-se nessas mesmas áreas do conhecimento, em especial na área da Física e Ciências de Materiais, possuindo alinhamento com os resultados encontrados nas áreas de interação e de patentes.

No que tange a disposição geográfica das Universidades na interação com empresas, constatou-se a concentração nos Estados de São Paulo (34%), Rio de

Janeiro (16,32%), Minas Gerais (14,28%) e Goiás (14,28%), com predomínio significativo de São Paulo nas atividades de nanotecnologias; mesma liderança esta da produção científica (60% em SP). Em relação à localização das empresas que interagem com Universidades, constatou-se também a concentração nos Estados de São Paulo (34%), Minas Gerais (14,28%) e Goiás (14,28%). Sendo assim, verifica-se predominância, tanto em produção científica quanto em interações (seja do ponto de vista da localização da Universidade, seja da Empresa) dos Estados de São Paulo e Minas Gerais.

Constata-se, também, que as duas Universidades que mais interagem com empresas em nanotecnologias, quais sejam Unicamp e Unesp, aparecem respectivamente como 2º e 4º colocadas no *ranking* das Universidades que mais publicam artigos científicos sobre a temática no Brasil.

Por fim, no que tange à dimensão político-regulatória, verifica-se uma lacuna legislativa referente à regulamentação da nanotecnologia no país. A inexistência de Marco Regulatório sobre a temática tem gerado um campo de incerteza e de barreiras à comercialização e à produção de produtos com tecnologia “nano”, como se depreende do caso da empresa *Aquamare*, evidenciando um cenário de necessidade de “regulação do invisível”.

Diante de todo exposto, verificou-se que Programas de estímulo à interação entre Universidade e Empresas e de fomento de produção científica na área já foram iniciados em diversos países desde o início dos anos 2000 (JU JUNG; LEE, 2013), tomando destaque a política americana do NNI (*National Nanotechnology Initiative*). Iniciativas estas que demonstram o salto temporal dado por esses países em relação ao Brasil, que iniciou o debate no Fórum de Competitividade em Nanotecnologias criado pelo MDIC, instituindo a IBN tão somente em 2013. Tais constatações ampliam a proeminência de um estudo do panorama da nanotecnologia no Brasil em termos de mapeamento de produção científica, de depósitos de patentes, de investimentos e, principalmente, da interação entre Universidade-Empresa em razão das características oriundas da nanotecnologia, mormente o alto grau de conhecimento científico, o qual gera aumento da necessidade de atividades de PD&I com Universidades.

A partir das justificativas *retro*, o presente estudo intencionou revelar alguns breves e preliminares dados a respeito de alguns pilares que sustentam o desenvolvimento da inovação com nanotecnologias no Brasil.

Sendo assim, a título de resultado da análise das três dimensões propostas, verificou-se que os marcos institucionais apresentados evidenciam um descompasso entre a produção científica e a industrial no campo da nanotecnologia, caracterizando as ações de promoção e de incentivo à nanotecnologia como de natureza linear de *technology-push*, dando ênfase, no período de análise do estudo, à ciência básica, à formação de recursos humanos e à criação de laboratórios.

Em consequência da estratégia adotada, os resultados encontrados no estudo das dimensões científica, tecnológico-industrial e político-regulatório coadunam-se com a estratégia de indução da nanotecnologia em um modelo linear.

Contudo, experiências de países líderes revelam a necessidade de (um novo) direcionamento para fins de econômicos das atividades de nanotecnologia – com foco na pesquisa aplicada com atividades constantes de interação entre Universidade e Empresa, para fins de aproveitamento de oportunidades econômicas oriundas da nanotecnologia.

Deve-se destacar, também, que a estratégia brasileira para “áreas portadoras de futuro” em todo o período analisado, englobou ações compartilhadas para biotecnologia e nanotecnologia. Apesar de algumas características em comum, estudos internacionais apontam que a utilização de estratégias de ações de promoção iguais para ambas tecnologias podem ter resultados comprometidos, especialmente quando o foco é incentivar atividades de interação Universidade-Empresa, pois características quanto a natureza, o objetivo e o tamanho das empresas em nanotecnologia divergem do setor da biotecnologia, conforme informações trazidas no primeiro capítulo.

Destarte, os resultados encontrados nesse estudo sugerem pela necessidade de um direcionamento das políticas interativas e não lineares de promoção e de incentivo à nanotecnologia, voltados às atividades de interação científica e industrial, especialmente de ações que promovam estímulos às atividades de IUE.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho possibilitou o entendimento do cenário econômico da nanotecnologia no Brasil à luz de experiências internacionais selecionadas sob o prisma de Sistemas Nacionais de Inovação.

A apreciação desenvolvida ao longo da dissertação buscou:

- a) Analisar o conceito, as características e a funcionalidade das nanotecnologias;
- b) Analisar experiências internacionais selecionadas de desenvolvimento da nanotecnologia nos EUA, na Alemanha, na União Europeia, na Rússia e na China;
- c) Identificar o cenário econômico da nanotecnologia no Brasil nos últimos anos (2000 a 2013).

O capítulo inicial dessa dissertação possibilitou a compreensão das características tanto históricas como técnicas da nanotecnologia. Foi possível, pois, a partir das informações trazidas, compreender que se trata de uma tecnologia de propósito geral com potencial revolucionário. O campo complexo, multidisciplinar e dependente de várias disciplinas científicas na manipulação de átomos e moléculas em escala nanométrica, aliado à necessidade de instrumentação avançada e de pesquisadores e de engenheiros com alto nível de conhecimento, traz consigo, inexoravelmente, altos níveis de investimentos e alto grau de base científica em atividades de PD&I. Sua trajetória tecnológica tem sido apontada na literatura especializada com potencial de ampla e de múltipla aplicação e utilização com forte tendência de atuarem como “motores do crescimento”.

Portanto, a função desse primeiro momento da dissertação foi apresentar conceitos, características e funcionalidades da nanotecnologia para fins de compreensão dos capítulos seguintes. Dadas as ferramentas para compreensão da temática, o trabalho avançou, dedicando-se a ingressar na teoria econômica com vistas a buscar os fundamentos analíticos que sustentam a análise da nanotecnologia sob o viés dos Sistemas Nacionais de Inovação.

Destarte, o capítulo seguinte foi dedicado ao referencial analítico dos Sistemas Nacionais de Inovação; construção analítica, oriunda de uma visão sistêmica que

concebe a inovação como processo social, econômico, político interativo e sistêmico e que concebe a Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) como elementos-chave para o crescimento, para a competitividade e para o desenvolvimento de empresas, de indústrias, de regiões e de países. Trata-se, pois, de uma visão de um complexo arranjo institucional que, impulsionando o progresso tecnológico, determina a riqueza das nações.

Nesse capítulo, pois, foi possível compreender os modelos de inovação e aprendizado nos Sistemas Nacionais de Inovação e apontar uma superação dos modelos lineares a partir da evolução das novas tecnologias, com a percepção de um modelo interativo alinhado com a complexidade dos novos processos de inovação do Século XXI. No mesmo sentido, foi possível identificar, em termos de avanços teóricos, uma nova onda nos Sistemas Nacionais de Inovação desenvolvida pela nanotecnologia. A literatura especializada evidencia a criação de um novo regime caracterizado por uma ênfase sobre a utilidade da ciência e do alistamento de pesquisa acadêmica aplicada e interativa como um "motor tecnocientífico de criação de riqueza para a economia" (MCCRAY, 2005, p. 192).

Estudos de Mowery (2009) apontam que o financiamento público de P&D em nanotecnologia acadêmica aplicada tem sido motivado, nos países líderes, especialmente no modelo NNI americano, em face do interesse em resultados econômicos (pesquisa aplicada), ao invés de um compromisso com o avanço do conhecimento fundamental (pesquisa básica). O autor evidencia que a nanotecnologia apresenta características próprias, representando o início de um novo caminho na história tecnológica mundial, emergindo novas formas de condução de políticas de incentivo e de promoção, com mudanças estruturais nos Sistemas Nacionais de Inovação.

Essas mudanças são caracterizadas especialmente pela: a) forte tendência de uma era pró-patentes com patenteamento de temas complexos e multidisciplinares que envolvem uma nova estrutura de proteção da propriedade industrial; b) tendência, cada vez maior, de patenteamentos com diversos autores, especialmente com interações entre Universidades, Centro de Pesquisa e Empresas, afastando-se da concepção tradicional de depósitos de patentes por empresas ou pessoas físicas tão somente e c) rápida ascensão e rápido crescimento do patenteamento mundial em nanotecnologia, este impulsionado, em grande parte, por universidades, com transgressão de barreiras geográficas da

firma, por constantes movimentos de *open innovation* e pela intensificação de atividades de Interação Universidade-Empresa (IUE) – caracterizando uma estrutura verticalmente especializada de inovação, envolvendo relações entre empresas e a criação de empresas “*spinoffs*” especializadas em pesquisa e desenvolvimento em nanotecnologia.

Portanto, a mudança no papel das universidades, bem como mudanças mais amplas na política de direitos de propriedade intelectual, são características que emergem nesse novo caminho traçado pela nanotecnologia, fazendo insurgir, ademais, uma nova onda/concepção de Sistema Nacional de Inovação.

Sendo assim, a partir da compreensão dos aspectos teóricos foi possível ingressar numa perspectiva de experiências internacionais no desenvolvimento da nanotecnologia para fins de análise dos acontecimentos e do cenário econômico de desenvolvimento em países selecionados.

O terceiro momento, pois, fora dedicado a análise de experiências dos EUA, da Alemanha, da Rússia, da China e da União Europeia, buscando a compreensão da criação de iniciativas focadas no desenvolvimento da nanotecnologia, dos aspectos cronológicos de políticas de promoção e incentivo, do mapeamento das principais ações e investimentos realizados e da construção de marcos regulatórios a respeito do tema. A seleção dos países estudados deu-se por se tratarem de países que lideram o *ranking* em investimentos, em depósitos de patentes e em produção científica (EUA, China e Alemanha) e Rússia por se tratar de um país membro do BRICS, cuja perspectiva para os próximos anos é de grande ascensão.

No que diz respeito aos EUA, a Alemanha, a China e a Rússia verificou-se que esses países partiram de uma abordagem via iniciativas nacionais, com o objetivo de entender o que a nanotecnologia é e como ela é regida, focalizando os processos de governança associados ao seu desenvolvimento e, em seguida, reconhecendo que o surgimento da nanotecnologia não é apenas oriundo de manipulações em laboratórios, mas, também, de processos como previsão tecnológica, avaliação de tecnologias e futuro participativo envolvendo cientistas, indústria, políticos, mídia e outros participantes públicos. EUA e Alemanha destacam-se como pioneiros nesses cenários, com a criação de suas Iniciativas Nacionais em Nanotecnologia já no final dos anos noventa e início dos anos dois mil.

Com apoio da literatura especializada, foi possível observar, especificamente nos EUA, que o apoio da NNI de pesquisa em universidades é um exemplo de

"pesquisa pós-acadêmica"; regime este que, caracterizado por uma nova estrutura, é motivado por interesse em resultados econômicos, com ênfase, portanto, nos resultados relacionados com a inovação e com foco na colaboração universidade-empresa e na transferência de tecnologia.

No que diz respeito à análise do bloco econômico da União Europeia, foram introduzidas ações e políticas relevantes em trajetórias de construção de redes de organizações, incluindo indivíduos, empresas, universidades, institutos de pesquisa, e agências de políticas públicas (ou partes ou grupos de cada um) em um contexto de Sistema de Inovação Tecnológica (TIS), suscetível de prolongar para além de um determinado sistema nacional de inovação e de um determinado ambiente institucional, consagrando a diversidade internacional e institucional, integrando o conhecimento através de políticas que estimulem a transcendência de fronteiras nacionais, institucionais e geográfica de países, criando diversas redes de pesquisa na União Europeia. Destaca-se, assim, que a preocupação não está focada em um único Estado-Nação, mas centrada, na promoção e no incentivo da nanotecnologia para todo o bloco, suplantando limites nacionais e buscando a exploração e a integração de redes de PD&I e a cooperação internacional entre os países, com vistas a superar os desafios multidisciplinares da nanotecnologia.

Em linhas gerais, é possível depreender-se das experiências internacionais, que todos os países estudados possuem Iniciativas Nacionais já consolidadas, com mais de 10 anos de experiências, e se caracterizam: a) pelo estímulo de atividades de inovação com interação entre Universidades e Empresas; b) pela realização de investimentos públicos em projetos para desenvolvimento da nanotecnologia em empresas; c) pelo destaque mundial na produção científica e em depósitos de patentes; e d) pela criação de marcos regulatórios e de definições, conceitos e limites de aplicações em nanopartículas na indústria.

Por fim, embasados pelos capítulos anteriores, foi possível ingressar na seara de análise do cenário da nanotecnologia no Brasil. A compreensão dos conceitos e características trazidas no primeiro momento, aliada ao referencial analítico dos Sistemas Nacionais de Inovação e análise das experiências internacionais, permitiu uma visão geral dos acontecimentos para ingresso na discussão do objetivo da presente dissertação.

O último capítulo, portanto, objetivou analisar o cenário brasileiro da nanotecnologia sob a perspectiva analítica de Sistema Nacional de Inovação

Brasileiro, a partir de suas características, de suas particularidades históricas, de seus arranjos institucionais e da sua realidade social.

Considerando o cenário do Sistema Nacional de Inovação Brasileiro, intencionou-se a apresentação de alguns elementos que contribuam para a compreensão do ambiente de desenvolvimento desta área no país. Em razão de se tratar de um novo paradigma científico e tecnológico, buscou-se relatar elementos de três dimensões: a científica, a tecnológico-industrial e a político-regulatória, uma vez que essas dimensões possibilitam o aporte ao entendimento de fatores que auxiliam a análise econômica, considerando um viés neoschumpeteriano.

O cenário encontrado pela pesquisa em epígrafe corrobora conclusões de um ambiente ainda incipiente de promoção e de incentivo à nanotecnologia no Brasil, especialmente em termos de estrutura de atividades de pesquisa aplicada e de fomento de atividades de Interação Universidade-Empresa. Conforme desenvolvido no início do capítulo cinco, tais evidências possuem confluência com as características de imaturidade do SNI brasileiro, não sendo exclusivamente uma especificidade da nanotecnologia.

A observação dos dados coletados no Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq (DGP-CNPq), de 2010, evidenciam a existência de um número diminuto de interações entre os grupos de pesquisa de Universidades (23 grupos) e empresas (49 empresas) no desenvolvimento de projetos de inovação em nanotecnologia no Brasil.

As regiões Sul e Sudeste do Brasil são aquelas em que as IUE se mostram mais presentes, concentrando-se, especialmente, nos Estados de São Paulo e do Rio Grande do Sul, e nas cidades de São Paulo, São Carlos, Campinas e Porto Alegre. No que concerne ao tamanho dessas empresas, a pesquisa apresenta resultados que direcionam atividades de IUE em nanotecnologia para uma concentração em pequenas e grandes empresas, apresentando confluência com estudos desenvolvidos em países da OCDE trazidos ao decorrer do trabalho.

A inexistência de marcos regulatórios, também, contribui para um cenário de “invisibilidade”/incertezas, na medida em que não se possui uma definição legal que abarque atividades de escala nanométrica e seus limites de atuação, especialmente em termos de desenvolvimento de novos produtos. Em que pese algumas proposituras legislativas sobre o tema, o atual estágio de desenvolvimento regulatório ainda engatinha sob a forma de isoladas discussões.

No domínio de ações para criação de um cenário de incentivo à pesquisa, desenvolvimento e inovação, percebe-se a realização de políticas focadas em ciência básica com tendência de delineamento de ações de um modelo linear de inovação, especificamente de *technology-push*, tais como investimentos em estruturação de laboratórios, instrumentação e formação de recursos humanos no período analisado.

Apesar do ambiente de desafios que surge, especialmente quanto a um novo olhar para o modelo interativo de inovação e de aprendizado no SNI brasileiro, verifica-se um ambiente de oportunidades ao Brasil. A análise dos dados trazidos no último capítulo, possibilita, ainda, a visualização, partir do estudo do cenário nas dimensões científica, tecnológico-industrial e político-regulatório, de bons resultados sob uma perspectiva de produção científica (18º colocação no *ranking* mundial, conforme dados de 2011) e de depósitos de patentes (13º colocação no *ranking* mundial, conforme dados de 2011), se comparado a países líderes, seus respectivos investimentos e suas dimensões referentes a criação de iniciativas nacionais em nanotecnologias já há anos consolidadas.

Deve-se observar, noutro giro, que a nanotecnologia, analisada a partir das experiências da estrutura de SNI de países líderes, traz consigo desafios, bem como, no tocante às atividades de IUE e proteção da propriedade intelectual. As Iniciativas Nacionais em Nanotecnologia dos países analisados evidenciam um processo de mudança dos Sistemas Nacionais de Inovação na direção da pesquisa pós-acadêmica, sendo caracterizado por uma ênfase sobre a utilidade da ciência e do alistamento de pesquisa acadêmica motivada pelo interesse em resultados econômicos.

Desafios ao SNI brasileiro emergem, nessa senda, especialmente no sentido de intensificação de interação universidade-empresa e da política de propriedade intelectual pró-patentes, com vistas a produzir uma estrutura para a inovação industrial em nanotecnologia.

No âmbito da contribuição teórica, destaca-se a apresentação da discussão a respeito da nova onda nos SNI com a chegada da nanotecnologia. Estudos da literatura econômica a respeito da nanotecnologia, com relevo a Mowery (2009), apontam novas características apresentadas pelo Sistema Nacional de Inovação de países líderes em tecnologia nano. Essa contribuição teórica a respeito da nova

onda nos Sistemas Nacionais de Inovação, a partir das nanotecnologias, parece apontar o caminho do futuro da nanotecnologia.

Destarte, a partir do entendimento das dimensões científica, tecnológico-industrial e político-regulatória da nanotecnologia no Brasil, referente ao período de 2000 a 2013, construído por essa pesquisa, é possível concluir que o atual cenário indica duas trajetórias necessárias a serem construídas para que o Brasil avance nesta área. Uma refere-se à discussão a respeito de um marco regulatório. Naturalmente isso exige uma reflexão mais profunda relativa às controvérsias que tal área parece possuir. Questões como: será a nanotecnologia benéfica para a sociedade? Quais os níveis de toxicidade? Como outros países que hoje a utilizam resolveram (ou encaminharam) tal controvérsia?

Outra trajetória, dependente desta primeira, é a busca por inovação por parte das empresas e outros atores do Sistema Nacional de Inovação brasileiro. Em áreas de intensidade tecnológica elevada, como é o caso da nanotecnologia, o desenvolvimento científico por parte de instituições de pesquisa e universidades, bem com, o financiamento e o fomento público são fundamentais. Para tanto, é necessário discutir e definir mecanismos de política que estimulem um ambiente de interatividade entre esses atores e que sejam estimuladores desse desenvolvimento.

A provocação lançada no título sobre a denominação de “economia da nanotecnologia” não nos parece passível de ser respondida, em sua integralidade, com a propriedade que a complexidade do estudo exige. Apesar dos depósitos de patentes e especialização da produção científica crescentes no Brasil, aproximando à realidade o que para muitos era impossível há alguns anos atrás, o fomento ao estudo da nanotecnologia parece o único caminho a tornar visível a revolução (até o momento invisível) da escala nanométrica.

Mais do que respostas, acreditamos que perguntas, nesse atual cenário, podem contribuir à temática. A lacuna em termos de publicações científicas no Brasil e a inexistência de agendas de pesquisa sobre a temática lançam o desafio para novos e mais aprofundados estudos sobre a temática.

REFERÊNCIAS

- ABERNATHY, WJ, UTTERBACK, J. Patterns of Industrial Innovation. **Technology Review**, Cambridge, n. 80, p. 41-47, 1978.
- AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. Panorama Nanotecnologia. **Série Cadernos da Indústria**, Brasília, v. XIX, 2010.
- ALBUQUERQUE, E.M. Sistema Nacional de inovação no Brasil: uma análise introdutória a partir de dados disponíveis sobre a ciência e a tecnologia. **Revista da Economia Política**, São Paulo, v. 16, n. 3 (63), jul/set 1996.
- ALENCAR, M.; PORTER, A.; ANTUNES, A. Nanopatenting patterns in relation to product life cycle. **Technological Forecasting and Social Change**, Cambridge, n. 74 (9), p. 1661–1680, 2007.
- ALLARAKHIA, Minna; WALSH, Steven. Analyzing and organizing nanotechnology development: application of the institutional analysis development framework to nanotechnology consortia. **Technovation**, Cambridge, n. 32, p. 216-226, 2012.
- AVELLAR, A. P. M.; OLIVEIRA, F. C. B. Comportamento do sistema Nacional de Inovação Brasileiro. **Revista Economia Ensaios**, Uberlândia, UFU, v. 23, n. 8, 2008.
- BACH, D, NEWMAN, A. Bach, The European regulatory state and global public policy: micro-institutions, macro-influence. **Journal of European Public Policy**, London, n. 14, p. 827–846, 2007.
- BAI, C. L. Progress of nanoscience and nanotechnology in China. **Journal of Nanoparticle Research**, Berlin, n. 3(4), p. 251-256, 2001.
- _____. Ascent of nanoscience in China. **Science**, Berlin, n. 309(5731) p. 61-63, 2005.
- BATTARD, Nicolas. Convergence and multidisciplinary in nanotechnology: laboratories as technological hubs. **Technovation**, Cambridge, n. 32, p. 234-244, 2010.
- BEAUDRY, Catherine; ALLAOU, Sedki. Impact of public and private research funding on scientific production: the case of nanotechnology. **Research Policy**, Cambridge, n. 41, p. 1589-1606, 2012.
- BERNARDES, A.; RIBEIRO, L. C.; RUIZ, R. M.; ALBUQUERQUE, E. Matrices of science and technology interactions and patterns of structured growth: implications for development. **Scientometrics**, Berlin, 2009.
- BLAINEY, Geoffrey. **Uma breve história do mundo**. São Paulo: Fundamento, 2009.
- BLIND, K.; GAUCH, S. K. Research and standardisation in nanotechnology: evidence from Germany, **J. Technol.**, USA. p. 320–342, 20

BOZEMAN, B.; LAREDO, P.; MANGEMATNIN, V. Understanding the emergence and deployment of “nano” S&T. **Research Policy**, Cambridge, n. 36 (6), p. 807–812, 2007.

BRESSER-PEREIRA, L. C. Os dois métodos e o núcleo duro da teoria econômica. **Revista de Economia Política**, São Paulo, v. 29, n. 2 (114), p. 163-190, 2009.

BUSH, Vannevar. Science The Endless Frontier. Relatório ao Presidente dos Estados Unidos do Diretor do Office of Scientific Research and Development. Washington: **United States Government Printing Office**, 1945.

CARLSSON, B. Internationalization of innovation systems: A survey of the literature. **Research Policy**, Cambridge, n. 35, p. 56-67, 2006.

CASSIOLATO, J. E.; LASTRES, H. M. M. **Sistemas de Inovação e Desenvolvimento** – as implicações de política. São Paulo em Perspectiva, São Paulo, v. 19, n 1, p. 34-45, jan./mar. 2005.

_____; ARROIO, A. (Org.). **Conhecimento, Sistemas de Inovação e Desenvolvimento**. Editora da UFRJ: Rio de Janeiro, p. 429-449, 2005.

CIMOLI, M., DOSI, G.; NELSON, R.; STIGLITZ, J. Instituições e políticas moldando o desenvolvimento industrial: uma nota introdutória. **Revista Brasileira de Inovação**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 1, p.55-85, jan./jun. 2007.

DOSI, G. **Mudança técnica e transformação industrial**: a teoria e uma aplicação à indústria dos semicondutores. São Paulo: Editora Unicamp, 2006.

DREXLER, E. **Engines of Creation: the coming era of nanotechnology**. Nova Iorque: Anchor Books, 1986.

EDQUIST, C. Introduction. In: EDQUIST, C. (Ed). Systems of Innovation – Technologies, Institutions and Organizations. **Science, Technology and the International Political Economy Series**. London; Washington, 1997.

ERIKSSON, J.; GILEK, M.; RUDÉN, C. **Regulating Chemical Risks: European and Global Challenges**. Dordrecht, p. 217–238, 2009.

FAGERBERG, J. Introduction. In: FAGERBERG, J.; MOWERY, D. C.; NELSON, R. R. (Ed.). **The Oxford Handbook of Innovation**. Oxford University Press, Nova Iorque, 2005.

FERREIRA, H. S.; RANGEL, M. C. **Nanotecnologia**: aspectos gerais e potencial de aplicação em catálise. São Paulo: Química Nova, v. 32, n. 7, p. 1860-1870, 2009.

FEYNMANN, R. **Plenty of Room at the Bottom**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

FIEDLER, M.; WELPE, I. Antecedents of cooperative commercialisation strategies of nanotechnologies firms. **Research Policy**, Cambridge, n. 29, p. 400-410, 2010.

FREEMAN, Christopher. **Technology policy and economic performance**: Lessons from Japan. London: Pinter, 1987.

_____. A Schumpeterian Renaissance? **Science and Technology Policy Research**, SRPU, Boulder, n. 102, 2003.

_____. **The economics of industrial innovation**. 3. ed. Cambridge: The Mit Press, 1997.

GAO, Z.; TANSIK, N. Nanoparticles in biomolecular detection. **Nanotoday**, Cambridge, v. 1, i. 1, p. 28-37, fev. 2006.

GARCIA FIGUEIRA, Divalte. **História**. São Paulo: Ática, 2004.

GERHARDT, T.; SILVEIRA, D. **Métodos de Pesquisa**. 1. ed. Porto Alegre: UFRGS Editora, 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GOHBERG, L.; KOUZNETSOVA, I.; FURSOV, K.; DAKIN, V. Statistics of nanotechnology in Russia: formation of a new field. **Voprosy Statistiki (Issues of Statistics)**, Moscou, n. 6, p. 3–19, 2011.

_____; FURSOV, K.; KARASEV, O. Nanotechnology development and regulatory framework: The case of Russia. **Technovation**, Cambridge, v. 32, p. 161-162, 2012.

HARGRAVE, T.; VAN DE VEN, A. A collective action model of institutional innovation. **Academy of Management Review**, n. 31 (4), p. 864–8882, 2006.

HUANG, C.; WU, Y. State-led technological development: A case of China's nanotechnology development. **Working Paper Series (MERIT)**, Maastricht, n.013, 2011.

HUBERMAN, Leo. **História da riqueza do homem**. 20. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 1984.

INSTITUTO NACIONAL DE PROPRIEDADE INDUSTRIAL. **Pedidos de Patentes sobre nanotecnologia**. Alerta Tecnológico. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://www.inpi.gov.br/images/stories/3_chamadas/Publicaes_-_Alertas/Nanotecnologia_2011_1sem.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2014.

_____. _____. 2010. Disponível em: <http://www.inpi.gov.br/images/stories/downloads/pdf/Nanotecnologia_2010_2sem_N40.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2014.

ISLAM, Nazrul; MIYAZAKI, Kumiko. An empirical analysis of nanotechnology research domain. **Technovation**, Cambridge, n. 30, p. 279-327, 2010.

JARVIS, S.L.; RICHMOND, N. Regulation and Governance of Nanotechnology in China: Regulatory Challenges and Effectiveness. **European Journal of Law and Technology**, London, v. 2, n. 3, 2011.

JOHNSON, A. **The end of pure science**: Science policy from Bayh-Dole to the NNI. In: D. BAIRD & NORDMANN (Ed.), *Discovering the nanoscale*. IOS Press: Amsterdam, 2004.

JU-JUNG, Hyun; LEE, Jay. The impacts of Science and technology policy interventions on university research: Evidence from the U.S National nanotechnology initiative. **Research Policy**, Cambridge, 2013.

JUSTO-HANINI, R.; DAYAN, T. **The role of the state in regulatory policy for nanomaterials risk**: analyzing the expansion of state-centric rulemaking in EU and US chemical policies. **Research Policy**, Cambridge, 2013.

KANAMA, Daisuke. Multimodal evaluations of Japan's nanotechnology competitiveness. *International Journal of innovation and technology management*. **Technovation**, Cambridge, v.10, n.2, 2013.

KIM, Youngiae; et al. Classifying US nano-scientist: of cautions, innovators, regulators and technology optimists. **Science and Public Policy**, Cambridge, n. 39, p. 30-38, 2012.

KLINE, J.; ROSENBERG, N. An Overview of Innovation, In: LANDAU, R. & ROSENBERG, N. (Ed.). *The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth*. **The National Academy Press**, Washington D. C., p. 275-305, 1986.

KOSTOFF, R.; KYTCHEFF, R.; LAU, C. **Global nanotechnology research literature overview**. *Technological Forecasting and Social Change*: Cambridge, n. 74 (9), p.1733–1747, 2013.

LAMPTON, Christopher. **Divertindo-se com nanotecnologia**. Rio de Janeiro: Berkeley, 1994.

LANE, N.; KALIL, T. The National Nanotechnology Initiative: Present at the Creation. **Issues in Science and Technology**, ver. 2009.

LEVITT, Steven D.; DUBNER, Stephen J. **Super freakonomics**: o lado oculto do dia a dia. São Paulo: Campus, 2010.

LOOS, M, R. **Nanociência e Nanotecnologia** - Compósitos Termofixos Reforçados Com Nanotubos de Carbono. São Paulo: Editora Interciência, 2014.

LOVESTAN, Goran. **European Commission**: considerations on a definition of nanomaterial for regulatory purpose. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2010.

LUNDEVALL, B. A. **National systems of innovation**: Towards a theory of innovation and interactive learning. London: Pinter, 1982.

_____; BORRÁS, S. **Science, Technology and Innovation Policy**. In: FAGERBERG, J.; MOWERY, D. C.; NELSON, R. R. (Ed). *The Oxford Handbook of Innovation*. Oxford University Press, 2005.

MAGALHÃES FILHO, Francisco B.B. **História econômica**. São Paulo: Saraiva, 2010. p. 237.

MANGEMATIN, V.; ERRABI, K.; GAUTHIER. Large players in the nanogame:

dedicated nanotech subsidiaries or distributed nanotech capabilities? **Journal of Technological Transfer**, Cambridge, 2010.

_____. et al. Development of SMEs and heterogeneity of trajectories: the case of biotechnology in France. **Research Policy**, Cambridge, n. 32, p. 621–638, 2003.

_____; RIEU, C. The Determinants of Science-Based Cluster Growth: The case of Nanotechnology. **RMT Working paper series**, Singapura, 2011.

MANI, S. **Government, Innovation and Technology Policy**, An International Comparative Analysis. In: International Journal Technology and Globalization, Netherlands, v. I, n. 1, 2004. p. 29-37.

MCCRAY, W. P. Will small be beautiful? Making policies for our nanotech future. **History and Technology**, Cambridge, n. 21, 2005. p. 177–203.

Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). **Relatório de Orientações Estratégicas do MCTI**. Plano Plurianual: 2008-2011. Brasília, 2011.

_____. **SISNANO**: Sistemas de Laboratórios em Nanotecnologias. Brasília, 2013.

MENEZES ALENCAR, Maria Simone de; SANT´ANNA, Leonardo da Silva; FERREIRA, Aldo Pacheco. **Patenteamento em nanotecnologia no Brasil**: Desenvolvimento, potencialidades e reflexos para o meio ambiente e saúde humana. Rio de Janeiro: Quin. Nova Assuntos Gerais, v. 36, n. 2, p. 348-363, 2013.

METCALFE, S. **Technology systems and technology policy in an evolutionary framework**, In: ARCHIBUGI, D.; MICHIE, J. (Ed.), Technology, Globalization and Economic Performance. Cambridge University Press, Cambridge, 1997. p. 268- 296.

MIYAZAKI, K.; ISLAM, N. Nanotechnology systems of innovation – An analysis of industry and academia research activities. **Technovation**, Cambridge, n. 27, 2007. p. 661-675.

MORIN, E. **A cabeça bem-feita**: repensar a reforma, reformar o pensamento. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

MOTTA E ABULQUERQUE, Eduardo de (Coord). **PIB**: Persperctivas de investimento no Brasil. Unicamp: Campinas, 2009.

MOWERY, D., SAMPAT, B. N. **Universities in National Innovation Systems**, In: FAGERBERG, J., MOWERY, D. C.; NELSON, R. R. (Ed.). The Oxford Handbook of Innovation. Oxford University Press, 2005.

_____. Nanotechnology and the U.S. national innovation system: continuity and change. **Journal of Technology Transfer**, n.36(6), 2011. p. 697—711.

_____; ROSENBERG, Nathan. **Tecnology and the pursuit of economic growth**. Cambridge: Cambrigde University Press, 1989.

_____. **What does economic theory tell us about mission-oriented R&D?** In: Foray, D. (Ed.), *The New Economics of Technology Policy*. Edward Elgar, Cheltenham, UK, 2009. p. 131–147.

NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL (NSTC). The Interagency Working Group on NanoScience, Nanostructure Science and Technology. In: **A Worldwide Study**, IWGN, Maryland, 1999.

_____. **Nanotechnology research directions:** IWGN workshop report, Vision for Nanotechnology Research and Development in the Next Decade, Berlin, 1999.

NEGRO, S. O. **Dynamics of Technological Innovation Systems** – The Case of Biomass Energy. Netherlands Geographical Studies. Copernicus Institute for Sustainable development and Innovation, Utrecht, n. 356, 2007.

NELSON, R. R. (Ed.). **National innovation systems:** A comparative analysis. Oxford: Oxford University Press, 1993.

_____; WINTER, Sidney. **An evolutionary theory of economic change**. Cambridge: Harvard University Press, 1982.

NEVES, C. B.; NEVES, F. **Pesquisa e Inovação: novos desafios para a educação superior no Brasil e na Alemanha**. Caderno CRH, Salvador, v. 24, n. 63, 2011. p.481-501.

NIKULAINEN, Tuomo; PALMBERG, Cristopher. Transferring Science-based Technologies to industry – Does nanotechnology make a difference? **Technovation**, Cambridge, n. 30, 2010. p. 3-11.

NORDMANN, A. No future for nanotechnology? Historical development vs. global expansion. In: JOTTERAND, F. (Ed.), **Emerging Conceptual, Ethical and Policy Issues in Bionanotechnology**. Springer, Netherlands, 2008. p. 43–63.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). **The impacts of nanotechnology on companies:** policy insights from case studies. OCDE publishing, Paris, 2010.

OLIVEIRA, Carlos Alonso Barbosa de. **Processo de Industrialização:** do capitalismo originário ao atrasado. São Paulo: Editora Unesp, 2003.

ONER, Atilla; et.al. Comparison of nanotechnology acceptance in Turkey and Switzerland. **International Journal of Innovation and Technology Management**. v. 10, n. 2, 2013.

OTT, I.; PAPILLOU, C.; ZÜLSDORF, T. What Drives Innovation? Causes and Consequences for Nanotechnologies. **Managing Global Transtions**, v, 7, n. 1, inv. 2009.

OZIN, Geoffrey A.; ARSENAULT, André C. **Nanochemistry:** a chemical approach to nanomaterials. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2005.

PACHECO, C. A. **As reformas da política nacional de ciência, tecnologia e inovação no Brasil** (1999-2002). Editora Cepal, Chile, 2007.

PALMBERG, C.; NIKULAINEN, T. **Industrial Renewal and Growth Through Nanotechnology?** – An Overview With Focus On Finland. Discussion Paper No. 1020. The Research Institute of the Finnish Economy, Helsinki, 2006.

PANDZA, K.; HOLT, R. Absorptive and transformative capacities in nanotechnology innovation systems. **Journal of Engineering and Technology Management**, n. 24 (4), 2007. p. 347–365.

PANDZA, Krsto; WILKIN, Terry; ALFOLDI, Eva. Collaborative diversity in a nanotechnology innovation system: evidence from the EU framework programme. **Technovation**, Cambridge, n. 31, 2011. p. 476-489.

PAVITT, Keith. Sectoral patterns of technical change. **Research Policy**, Cambridge, n. 13, 1984. p. 343-373.

PAVITT, Keith. **The conditions for success in technological innovation**. Paris: Organization for Economic Cooperation and Development, 1971.

PECK, M. Joint R&D: The case of Microelectronics and Computer Technology Corporation. **Research Policy**, Cambridge, n. 15, 1986. p. 219-231.

PEIXOTO, Flávio José Marques. **Nanotecnologia e sistemas de inovação: implicações para política de inovação no Brasil**. Tese (Doutorado em Economia) – Programa de Pós-Graduação em Economia, Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

PEREZ VICO, Eugenia; JACOBSSON, Staffan. Identifying, explaining and improving the effects of academic R&D: The case of nanotechnology in Sweden. **Science and Public Policy**, Oxford, n. 39, 2013. p. 513-529.

POHLMANN, Adriana Raffin; GUTERRES, Silvia Stanisçuaski. **Relatório GT marco regulatório, Fórum de competitividade em nanotecnologia**. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/sitio/interna/interna.php?area=3&menu=2765&refr=2469>>. Acesso em: 7 abr. 2011.

POSSAS, M. A cheia do mainstream. Comentários sobre os rumos da ciência econômica. **Economia Contemporânea**, Rio de Janeiro, n. 1, 1997.

PREMEBIDA, Adriano et. al. **Revolução Invisível: desenvolvimento recente da nanotecnologia no Brasil**. São Paulo: Xamã, 2007.

PYKA, A, SAVIOTTI, P. The evolution of R&D networking in the biotech industries. **International Journal of Entrepreneurship and Innovation Management**, Genebra, v. 5, n. 1-2, 2005. p. 49 – 68.

ROCO, M. C. The Long View of Nanotechnology Development: The National Nanotechnology Initiative at Ten Years. Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020. **Science Policy Reports**, Cambridge, v. 1, 2011. p. 1-28.

ROMIG, R. et al. An introduction to nanotechnology policy: opportunities and constraints for emerging and established economies. **Technological Forecasting and Social Change**, Cambridge, n. 74 (9), 2007. p. 1634–1642.

ROSENBERG, Nathan. **Exploring the Black Box: Technology, Economics and History**. Cambridge University Press, 1994.

ROSSETTI, José Paschoal. **Introdução à economia**. São Paulo: Atlas, 1984.

SALERNO, M.; LANDONI, P.; VERGANTI, R. Designing foresight studies for nanoscience and nanotechnology (NST) future developments. **Technological Forecasting and Social Change**, Cambridge, n. 75 (8), 2008. p.1202–1223.

SBICCA, A; PELAEZ, V. Sistemas de Inovação. In: Victor Pelaez e Tamás Szmercsányi (Org). **Economia da Inovação Tecnológica**. São Paulo: Editora Hucitec, 2006.

SBICCA-FERNANDES A. **Reflexões sobre a abordagem de Sistema de Inovação**. Textos para discussão História Econômica Geral. Faculdade de Economia. Curitiba: UFPR, 2004.

SCHAPER-RINKE, Petra. The role of future-oriented technology analysis in the governance of emerging technologies: the example of nanotechnology. **Technological Forecasting and Social Change**, Cambridge, 2013. p.444-452.

SCHIMKE, Antje; TEICHERT, Nina; OTT, Ingrid. Impact of local Knowledge endowment on employment growth in nanotechnology. **Industrial and Corporate Change**, Cambridge, 8 jan. 2013.

SCHUMPETER, J. **Capitalism, Socialism and Democracy**. London: Routledge, 1942.

_____. **Capitalism, Socialism and Democracy**. London: George Allen and Unwin Publishers, 1976.

_____. **A teoria do desenvolvimento econômico: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e o ciclo econômico**. São Paulo: Abril Cultural, 1912.

SELIN, H.; VANDEVEER, S.D. Raising global standards: hazardous substances and e-waste management in the European Union. **Environment: Science and Policy for Sustainable Development**, Cambridge, n. 48 (10), 2006. p. 6–18.

SHELLEY, Toby. **Nanotecnologia - nuevas promesas**. Madrid: El Viejo Topo, 2006.

SMITH, Adam. **The Wealth of nations**. Nova Iorque: Pequin Books, 1979.

STRINGHI FLORES, André; ENGELMANN, Wilson; WEYURMULLER, André. **Nanotecnologias, Marcos Regulatórios e Direito Ambiental**. Curitiba: Editora Honoris Causa, 2010.

SUZIGAN, W.; ALBUQUERQUE, E. M. **A interação entre universidades e empresas em perspectiva histórica no Brasil**. Texto de Discussão 329, Belo Horizonte, 2008.

TEDESCO, Antonio Claudio; SIMIONI, Andreza Ribeiro; PRIMO, Fernando Lucas. **Introdução a Nanotecnologia**. Rio de Janeiro: Atheneu Rio, 2007.

TEECE, D. Technology transfer by multinational firms: The Resource Cost of Transferring Technological Know-How. **Economic Journal**, Sidney, v.87, 1977. p. 242-247.

TEGART, Greg. Nanotechnology: the technology for the twenty-first century, **Foresight**, Cambridge, v. 6, 2004, p. 364 – 370.

TIDD, Joe; BESSANT, John; PAVITT, Keith. **Gestão da Inovação**. 4. ed. São Paulo: Bookman, 2008.

TIGRE, Paulo Bastos. **Gestão da inovação: a economia da tecnologia no Brasil**. São Paulo: Elsevier, 2006.

TIGRE, Paulo de Bastos. Paradigmas tecnológicos e teorias econômicas da firma. **Revista Brasileira de Inovação**: Brasília. v. 4, n. 1, p. 189, jan. 2005.

VICENTINO, Cláudio; DORIGO, Gianpaolo. **História geral e do Brasil**. São Paulo: Scipione, 2001. p. 331.

VILLASCHI, A. Anos 90: Uma Década perdida para o Sistema Nacional de Inovação Brasileiro? **São Paulo em Perspectiva**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 3-20, abr/jun. 2005.

VILLELA, Tais; MAGACHO, Lylia. **Abordagem histórica do Sistema Nacional de Inovação e o papel das Incubadoras de Empresas na interação entre agentes deste sistema**. In: XIX Seminário Nacional de Parques Tecnológicos e Incubadoras de Empresas, 2009.

VIOTTI, E.; MACEDO, M. (Org). **Indicadores de Ciência e Tecnologia e Inovação no Brasil**. Campinas: Editora Unicamp, 2003.

VON DE KOKEN, F. S. C. **Nanotecnologia no Agronegócio: Um Estudo Econômico do Uso da “Língua Eletrônica” na Cafeicultura**. Orientadora: Sonia Maria Dalcomuni. 2006. (Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia – PPGECO), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.

WHATMORE, R. W. Nanotechnology: Big Prospects for Small Engineering. **Ingenia**., Issue 9, ago. 2001. p. 28-34.

WILSON, M. et al. **Nanotechnology** – Basic Science and Emerging Technologies. CRC Press Company, Nova Iorque, 2002.

YOUTIE, J.; SHAPIRA, P. Mapping the nanotechnology enterprise: a multi-indicator analysis of emerging nanodistricts in the US South. **Journal of Technology Transfer**. Cambridge, n. 33, 2008. p. 209–223.

ZUCKER, L.; DARBY, M. Present at the revolution: transformation of technical identity for a large incumbent pharmaceutical firm after the biotechnological breakthrough. **Research Policy**, Cambridge, n. 26, 1997. p. 429–446.

ZWECK, A.; BACHMANN, W.; LUTHER, C.; PLOETZ, C. Nanotechnology in Germany: from forecasting to technological assessment to sustainability studies. **Journal of Cleaner Production**, Duesseldorf, p. 977–987, 2008.