

DESENVOLVIMENTO DA NANOCIÊNCIA E DA NANOTECNOLOGIA

**Proposta do Grupo de Trabalho criado pela Portaria MCT nº 252
como subsídio ao Programa de Desenvolvimento da Nanociência e
da Nanotecnologia do PPA 2004-2007.**

O presente documento foi elaborado pelo Grupo de Trabalho criado pela portaria MCT nº 252, de 16.05.2003, constituído por:

Gilberto Fernandes de Sá, MCT;
Alaor Chaves - UFMG;
Carlos Alberto Achete - UFRJ;
Darc Antônio da Luz Costa - BNDES;
Eronides F. da Silva Jr. - UFPE;
Israel Baumvol - UFRGS;
Jacobus W. Swart - Unicamp;
José Maria Fernandes Marlet - Embraer;
José Roberto Leite - CNPq;
Marcel Bergerman - Genius;
Nelson E. Duran - Unicamp;
Oswaldo Luis Alves - Unicamp; e
Wanderley Marzano - Aegis.

Os trabalhos foram conduzidos pelo Sr. Fernando Galembeck, diretor do Departamento de Políticas e Programas Temáticos, do MCT.

ÍNDICE

1.0. Introdução	1
1.1. Principais Áreas de Aplicação	1
1.2. Nanotecnologia no Brasil: Diagnóstico	2
1.2.1. Recursos Humanos. Educação	2
1.2.2. Infra-estrutura e Facilidades Experimentais.....	3
1.2.3. Tecnologia de Silício	5
1.2.4. Matérias-primas e Insumos	5
1.2.5. Bases de Dados	6
2.0. Temas de pesquisa	6
3.0. Justificativa do programa	8
4.0. Objetivos	8
4.1. Objetivo Geral	8
4.2. Objetivos Específicos.....	9
5.0. Diretrizes do programa	9
6.0. Estratégias do programa	10
6.1. Curto prazo	10
6.2. Médio prazo	11
6.3. Longo prazo.....	11
7.0. Implementação do programa	11
8.0. Gestão do programa	12
9.0. Metas	12
10.0. Facilidades Implantadas ou apoiadas	13
Redes.....	13
Laboratório de Produção de Nanoestruturas (poliméricas, metálicas, cerâmicas, funcionais)	13
Redes.....	14
Laboratórios.....	14
11.0. Orçamento	15
12.0. Resultados esperados	15
Anexo 1 - Laboratório de Tecnologia e Nanofabricação de Si	A-1
Anexo 2 - Estimativa de orçamentação	A-4

1.0. Introdução

A Nanotecnologia é hoje um dos principais focos das atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação em todos os países industrializados. Os investimentos na área têm sido crescentes e atingiram, mundialmente, um valor de 5 bilhões de dólares em 2002¹. Já há alguns produtos industriais nanotecnológicos e o seu número aumenta rapidamente. Estima-se que, de 2010 a 2015, o mercado mundial para materiais, produtos e processos industriais baseados em nanotecnologia será de 1 trilhão de dólares².

Nanotecnologia é o conjunto de ações de pesquisa, desenvolvimento e inovação que são obtidas graças às especiais propriedades da matéria organizada a partir de estruturas de dimensões nanométricas. Tais propriedades foram intuídas há dois séculos³, tendo sido extensamente exploradas em algumas tecnologias bem estabelecidas⁴. No entanto, o atual surto de desenvolvimento científico na área é muito recente⁵. Muitos consideram como ponto inicial da Nanotecnologia a palestra proferida por Richard Feynman⁶ em 1959, na qual sugeriu que um dia seria possível manipular átomos individualmente, uma idéia revolucionária na época. Em 1981, foi criado o microscópio de tunelamento, que permitiu obter imagens de átomos em uma superfície. Já a possibilidade de mover átomos individualmente foi demonstrada em 1990, quando pesquisadores americanos escreveram o logotipo IBM ao posicionarem átomos de xenônio sobre uma superfície de níquel. Desde então, o domínio científico e tecnológico da escala nanométrica está passando por um surto de crescimento graças a novas ferramentas de pesquisa e a desenvolvimentos experimentais e teóricos. Disto resultam novos produtos e processos industriais em um ritmo extremamente acelerado. Estão surgindo classes inteiramente novas de dispositivos e sistemas micro e nanofabricados. Esta nova situação parece indicar um novo salto da civilização tecnológica, porque oferece oportunidades científicas e industriais que eram impensáveis, até agora.

Um número crescente de nanoestruturas está sendo gerado, seja pela redução das dimensões de estruturas maiores, seja pela formação de estruturas supramoleculares bem definidas, cada vez mais complexas e capazes de desempenhar funções também complexas. Em adição, novos conceitos e estruturas vêm sendo desenvolvidos. Na verdade, não se trata de uma descontinuidade tecnológica ou de uma nova tecnologia radicalmente nova, mas sim de uma acelerada evolução do conhecimento e do domínio humano sobre a matéria⁷.

1.1. Principais Áreas de Aplicação

A Nanotecnologia já encontra ou deve vir a encontrar aplicações em praticamente todos os setores industriais e de serviços. Há aplicações de grande escala como os nanocompósitos poliméricos, produzidos a partir de *commodities* como os termoplásticos e as argilas, ao lado de produtos fabricados em quantidades reduzidas, mas com elevado valor agregado e criados para as tecnologias de informação e de telecomunicações.

A multiplicidade de aplicações é percebida ao examinar diferentes programas nacionais ou multinacionais de nanotecnologia, que revelam os diferentes modos de classificação dos temas, dos objetivos e das facilidades experimentais necessárias⁸.

A concretização de novas aplicações deve ocorrer em prazos curtos (2-3 anos) mas em alguns casos estima-se que ela demandará dez ou mais anos.

1.2. Nanotecnologia no Brasil: Diagnóstico

Existe hoje uma produção científica significativa no Brasil, nos temas de manipulação de nano-objetos, nanoeletrônica, nanomagnetismo, nanoquímica e nanobiotecnologia, incluindo os nanofármacos, a nanocatálise e as estruturas nanopoliméricas⁹. Também há uma produção tecnológica representada por patentes e há projetos sendo executados por empresas, isoladamente ou em cooperação com universidades ou institutos de pesquisa.

Isto evidencia a existência de um lastro significativo de competências e infra-estruturas, que está sendo mobilizado pelas atividades de nanotecnologia. Todas as diversas áreas disciplinares¹⁰ que contribuem para a nanotecnologia têm um razoável nível de desenvolvimento no país e de inserção internacional, o que é um dos principais lastros requeridos por um programa de nanotecnologia.

A aplicação de alguns resultados poderá ocorrer dentro de poucos anos, mas em outros casos será mais remota, como ocorre no cenário internacional.

Algumas atividades como a nanofabricação, apesar de apresentarem grandes perspectivas de geração de produtos e aplicações, estão atualmente limitadas ao meio acadêmico, em algumas universidades e centros de pesquisa que realizam pesquisa e desenvolvimento de técnicas de fabricação, análise e aplicações em dispositivos eletrônicos, sensores, peneiras, canais para fluídica e membranas.

1.2.1. Recursos Humanos. Educação

A questão dos recursos humanos é de fundamental importância dentro de um Programa que pretende ser estratégico para o país. A base da formação dos recursos humanos deve contemplar o binômio excelência e diversidade, uma vez que a Nanotecnologia trata de assuntos cujo entendimento requer conhecimentos aprofundados de várias disciplinas, as quais muitas vezes combinam-se de modo bastante sinérgico.

Dentro desta óptica, e considerando a oportunidade, faz parte da estratégia deste Programa a formação de recursos humanos do mais alto nível, tanto de mestrado quanto de doutorado e pós-doutorado, e que é decorrente da implementação do Programa. Neste caso podem ter um importante papel os grupos bem qualificados que formam tanto a Rede de Nanotecnologia quanto alguns Institutos do Milênio. É ainda de grande importância a realização de estágios de pós-doutoramento no exterior, em centros de alta qualidade, visando não só o contato com outras realidades e formas de realizar a pesquisa científica, mas também promover o amadurecimento de doutores dentro da perspectiva de combinar, sempre que possível, os novos conhecimentos com a efetiva possibilidade de sua aplicação a problemas claramente identificados, aos quais a Nanotecnologia possa dar uma resposta.

A indução da criação de Programas de pós-graduação multidisciplinares e multi-institucionais é também objetivo do Programa. Torna-se relevante que os alunos de um programa com tais características possam usufruir de toda a *expertise* nacional sobre as diferentes áreas relevantes para a Nanotecnologia. Tal situação deve

também passar pelas facilidades de uso de todo o parque instrumental nacional que foi provido pelos governos estaduais e federal. Na consecução de tal objetivo, é importante a participação da CAPES que, em última instância, é quem tem a responsabilidade sobre o funcionamento dos Programas de Pós-Graduação em nosso país, na aprovação de programas com estas características.

No que diz respeito à formação de recursos humanos em nível de graduação, os objetivos, nestes primeiros quatro anos, deverão estar focalizados no oferecimento de módulos que tratam da nanotecnologia em suas diferentes expressões e, se possível, apresentados por pesquisadores experimentados, tanto de forma presencial quanto fazendo uso dos modernos recursos hoje utilizados na educação. Será positivo que os graduandos em diferentes áreas (química, física, engenharia, biologia, entre outras) sejam expostos à nanotecnologia e à terminologia utilizada na área, em algum momento de sua formação. A maioria dos cursos de graduação oferece disciplinas eletivas que podem ser usadas para este fim¹¹. Não parece ainda ser possível - dada a complexidade e sobretudo graças à diversidade da Nanotecnologia - criar cursos de graduação em Nanotecnologia. A idéia de módulos em cursos de graduação parece ser mais factível e apropriada à nossa realidade, desde que se contemplem conhecimentos dedicados ao entendimento dos fundamentos da Nanotecnologia e que também cubram aspectos relacionados com sua aplicação no setor produtivo.

Uma oportunidade bastante interessante é combinar os objetivos do Programa de Nanotecnologia com aqueles de Iniciação Científica como, por exemplo, com o Programa PIBIC do CNPq, através de projetos de pesquisa, valendo-se da grande importância, visibilidade e articulação que tal Programa tem com a grande maioria das instituições universitárias brasileiras¹².

Um aspecto singular da Nanotecnologia em nosso meio é que não temos muitas indústrias que possam, no curto prazo, absorver o conhecimento gerado em alguns dos temas da nanotecnologia. Do ponto de vista da demanda, observa-se um crescente interesse de empresários sobre as novas oportunidades que a Nanotecnologia oferece. De qualquer maneira, a criação do Programa visualiza o aumento de atividades produtivas tendo como base a Nanotecnologia. Como sabemos, a atividade industrial, mesmo a mais complexa, não é realizada somente por profissionais com nível superior, mas também por técnicos de nível médio. Visto que o Programa terá a duração de oito anos, é determinante e estratégico influenciar os cursos técnicos na direção desta tecnologia, uma vez que muitas atividades - diagnóstico médico, análises químicas, procedimentos de fabricação, novas terapias, entre outras - poderão estar sofrendo modificações profundas durante o próprio tempo de vigência do Programa. Em vários segmentos de alta tecnologia, a mão-de-obra técnica altamente qualificada é fator de sucesso do empreendimento¹³.

1.2.2. Infra-estrutura e Facilidades¹⁴ Experimentais

A nanotecnologia certamente exige facilidades especiais, que por sua vez representam um grande investimento em equipamentos, instalações e em capacitação de recursos humanos, além de gastos expressivos em manutenção e operação das facilidades. Por essa razão, a manutenção e melhoria do parque nacional de instrumentação exige que se superem duas grandes barreiras: a) o estabelecimento de parcerias justas e eficazes entre a pesquisa e a indústria e b) o

atual despreparo da infra-estrutura e das instalações brasileiras para atuar no setor, especialmente em nanofabricação e nanoeletrônica.

O país já possui um significativo parque instrumental, caracterizado por equipamentos de médio e grande porte, constituído pela ação direta do MCT (CBPF, LNLS) e através de vários programas federais e estaduais: PADCT, Pronex, Projetos Temáticos, Projetos de Equipamentos Multi-usuários, Programas de Infra-estrutura (inclusive o CTInfra) e, mais recentemente, os Institutos do Milênio. Os recursos usados na aquisição dos mesmos foram fruto de financiamento de agências federais e, muitas vezes, de FAPs, especialmente no caso dos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul e Minas Gerais.

Muitos dos equipamentos deste acervo têm problemas crônicos de instalação, manutenção (há equipamentos parados) ou de atualização (seja de software seja de hardware). Além disso, muitos deles operam somente em situação de rotina, dado não terem sido equipados com acessórios importantes e facilidades complementares (baixa e alta temperatura, refrigeração, instalação de gases, linha de alimentação "limpa", etc.) que os capacitariam a alcançar uma utilização em patamares mais elevados.

A Nanotecnologia necessita de uma ampla variedade de capacidades, treinamento e facilidades as quais são fundamentais para sua maturação e provimento de uma base para o desenvolvimento industrial. Além disso, trata-se de fato de um diversificado conjunto de tecnologias que necessita de instrumentação avançada desde o nível dos laboratórios de grupos até as grandes facilidades nacionais. Fica clara, assim, a necessidade de equipamento no estado-da-arte, para que a pesquisa realizada no Brasil seja competitiva.

Um dos objetivos do Programa é a manutenção deste equipamento, como também viabilizar seu *up-grade*, visando a incrementar sua utilização em condições mais adequadas e competitivas. A aplicação de recursos nesta direção trará, de imediato, fortes e positivos reflexos sobre a comunidade-alvo, acadêmica e industrial.

Da mesma forma, a alocação de recursos para que equipamentos de grande porte possam ser disponibilizados para a comunidade, inclusive através de operação semi ou totalmente remota, utilizando os recursos da Internet rápida, é imprescindível. Existem já no país experiências que demonstram ser essa possibilidade factível, sendo o maior problema o de ordem cultural. Esforços serão feitos nesta direção, pois isto será, inclusive, uma forma real de se dar um caráter nacional ao Programa.

Como decorrência das estruturas de que trata a Nanotecnologia estarem ficando cada vez menores e a necessidade de testes de qualidade cada vez mais rigorosos, estas demandas só tendem a aumentar a necessidade de métodos nanoanalíticos, tanto para a pesquisa quanto para os testes de fabricação. Assim, o Programa objetivará também a complementação do parque instrumental nacional, via disseminação em várias instituições, porém com características de facilidade nacional, de instrumentação associada e equipamentos para caracterização¹⁵.

Importante também para o funcionamento consistente desta infra-estrutura, e previsto nos objetivos do Programa, é a formação e o treinamento de técnicos de nível superior para sua operação, manutenção preventiva e, eventualmente, gerenciamento das atividades. Há falta de técnicos de nível superior qualificados, capazes de fazer funcionar, no "estado-da-arte", equipamentos e instrumentos de

grande porte e complexidade - já adquiridos e por adquirir. É essencial dispormos de profissionais, preferivelmente com título de doutor, treinamento no exterior e com grande vocação para instrumentação, capacitados ao desenvolvimento de técnicas, de metodologias de amostragem, aconselhamento (consultoria) para a solução de problemas afeitos a determinada técnica ou conjunto de técnicas, *up-grade* de instrumentação, treinamento de usuários, e outras tarefas de apoio altamente qualificado¹⁶.

1.2.3. Tecnologia de Silício

O desenvolvimento da microeletrônica na segunda metade do século 20 deu ao silício uma posição singular: é hoje, provavelmente, o material mais bem conhecido e tecnologicamente mais dominado entre todos os que são úteis para a nanofabricação. As tecnologias atualmente usadas na fabricação de dispositivos eletrônicos e circuitos integrados incluem o conhecimento científico assim como os métodos e processos necessários para a produção de sensores, dispositivos eletromecânicos, eletrônica avançada (integrada em escalas alta e ultra-alta) e muitos outros. Juntos, eles constituem um ramo de atividade que envolve aproximadamente a metade da riqueza que circula no mundo. O Brasil tem um atraso crônico nestas áreas, muito embora elas estejam fortemente presentes - como produtos 100% importados - em vários ramos de atividade industrial nos quais o Brasil é ou pretende ser a curto prazo competitivo, tais como as indústrias automobilística, aeronáutica, de refrigeração, eletrônica, de telecomunicações, de alimentos e muitos outros. A importância e o volume de sensores, atuadores e sistemas eletrônicos avançados na indústria nacional é tão grande que informações recentes indicam que eles já correspondem a 20% da pauta de importação do país e crescem a uma taxa maior do que qualquer outro item desta pauta¹⁷.

A tecnologia do silício, que é hoje utilizada em alguns dos mais ambiciosos projetos de nanotecnologia¹⁸, deriva de tecnologias microeletrônicas aplicadas à micro e nanofabricação e aproveita um vasto *know-how* de produtos e processos. É importante reconhecer este fato ao mesmo tempo em que se reconhece que as atividades em microeletrônica, no Brasil, não contam nem com facilidades (acadêmicas ou industriais) nem com recursos humanos comparáveis aos de algumas outras áreas de pesquisa.

1.2.4. Matérias-primas e Insumos

A revolução nanotecnológica depende criticamente de reagentes químicos e de matérias-primas. Semicondutores, óxidos, especialidades químicas orgânicas e inorgânicas serão fundamentais para a produção nanotecnológica, o que é bem exemplificado pelas unidades da *Molecular Foundry* do Lawrence Livermore National Laboratory, citadas na nota 8 deste documento.

A produção controlada de partículas na faixa de 1-100 nm é crucial, como também a sua manipulação; a pureza dos reagentes químicos e outros materiais é da mais alta importância, assim como a metodologia de produção. Materiais de alta pureza serão necessários para as fontes de evaporação e *sputtering*, ao lado de materiais com elevada integridade física para serem utilizados como dispositivos nanomecânicos, de materiais para construção de provas (*probes*) que sejam quimicamente inertes, fisicamente estáveis e capazes de ser moldados para

utilização como *tips* atômicos finos. Será necessária a síntese de especialidades químicas orgânicas de ultra-pureza, com terminações (funcionalizações) adequadas para serem ligadas (de forma reprodutível) em superfícies de materiais óxidos e semicondutores.

É importante mobilizar e, quando necessário, complementar a capacidade de produção de especialidades químicas (orgânicas e inorgânicas) e biológicas dos diferentes laboratórios universitários nacionais. Mesmo não atuando explicitamente na área de Nanotecnologia, muitos grupos detêm conhecimentos importantes para as atividades do Programa.

O acesso a insumos é especialmente crítico na medida em que a importação de determinados reagentes e insumos não pode mais ser realizada, por serem considerados, pelos países produtores, como altamente estratégicos¹⁹.

1.2.5. Bases de Dados

A formação de bancos de dados e a “mineração de dados” (*data mining*) em Nanotecnologia é fundamental para orientação de políticas científicas e tecnológicas. Existem informações básicas acessíveis na Plataforma Lattes, ao lado da preciosa informação proveniente das Redes de Nanotecnologia e dos Institutos do Milênio.

Por outro lado, não há uma prática sistemática de *data mining* das informações provenientes do exterior, sua validação e análise. Esta deficiência é especialmente grave no uso de informações provenientes de patentes. Tem-se observado, cada vez mais, que uma parte importante do conhecimento científico e tecnológico não é veiculada através das chamadas publicações científicas, mas sim de documentos de patentes²⁰.

É necessário construir um sistema de inteligência estratégica²¹ para poder atuar em uma área tão sofisticada e complexa quanto a nanotecnologia. A construção de inteligência estratégica para competir na civilização tecnológica é uma ação de longo alcance, mas também de longo prazo.

2.0. Temas de pesquisa

Os temas de pesquisa considerados no Programa são os seguintes:

- Nanofabricação
 - Redução de escala de dispositivos microeletrônicos, gerando dispositivos nanoeletrônicos
 - Criação e aplicação de técnicas nanolitográficas
 - Novos dispositivos de nanoeletrônica baseados em novos conceitos (SET, NTC, spintrônica, etc.)
 - Microssistemas (MEMS e BIO – MEMS)
 - Sistemas de nanomanipulação, nanofabricação e nanossíntese
 - Dispositivos MOEMS e NOEMS ou micro e nanossistemas
 - Dispositivos optoeletrônicos e fotônicos
- Nanometrologia
 - Capacitação metrológica na escala nano

- Criação e desenvolvimento de instrumentos de medida e componentes viabilizados pela nanotecnologia
- Materiais Nanoestruturados
 - Biomateriais (engenharia da saúde)
 - Materiais metálicos (novas ligas)
 - Materiais cerâmicos e vidros
 - Materiais compósitos (polímeros compósitos, compósitos com matrizes metálicas e cerâmicas)
 - Materiais poliméricos (novos polímeros)
 - Materiais eletrônicos e ópticos (eletrônica e fotônica)
 - Materiais magnéticos (spintrônica)
 - Nanotubos de carbono e de outras substâncias
 - Superfícies e filmes finos
 - Cristais fotônicos
 - Sistemas de baixa dimensionalidade 0,1,2 - D
- Nanotecnologia Funcional
 - Nanoeletrônica
 - Optoeletrônica
 - Fotônica
 - Bioeletrônica
 - Eletrônica molecular
 - Materiais estruturais de alto desempenho
 - Supercondutividade
 - Materiais para terapêutica, cosmética e saúde
- Energia
 - Dispositivos de geração. Eletrodos e membranas para células de combustível
 - Estruturas de armazenamento. Supercapacitores, novas baterias
 - Sistemas fotovoltaicos nanoquímicos
- Nanotecnologia Molecular
 - Nanobiotecnologia
 - Membranas
 - Reconhecimento Molecular
 - Sensores
 - Sistemas de análise e diagnóstico
 - Manipulação molecular (pesquisa atômica e molecular e matéria condensada)
- Nanoagregados
 - Sistemas coloidais, inclusive filmes e espumas
 - Tecnologia de partículas: fabricação e aplicação
 - Partículas, *clusters* e catálise
- Funcionalização de materiais
 - Técnicas de funcionalização

- Construção de dispositivos
- Sensores físico-químicos
- Software
 - Modelagem
 - Realidade virtual para visualização
 -

3.0. Justificativa do programa

O Brasil detém cerca de 1% do PIB mundial e 3% da população mundial. A renda per capita é inferior à média mundial e chega a ser um décimo da de países desenvolvidos. Este fato pode ser atribuído parcialmente à adoção de políticas pouco agressivas e pouco focalizadas de investimentos em áreas estratégicas nos momentos cruciais da nossa história, o que teve como impacto um ritmo pouco acelerado de desenvolvimento do país²² em setores econômicos intensivos em conhecimento. Percebeu-se enfim o vínculo entre desenvolvimento, educação e investimentos em C&T, porém ainda não foram tomadas medidas concretas para acompanhar o desenvolvimento tecnológico em áreas estratégicas, como a de fármacos ou de microeletrônica. No entanto, numa iminente quebra de paradigmas imposta pela nanociência e nanotecnologia (N&N), estamos diante de uma oportunidade única de ingressarmos na nova era em fase com países desenvolvidos, contando com uma sociedade científica organizada e estruturada através de um modelo que valorize a complementaridade de competências.

A necessidade de se criar um Programa amplo de pesquisa e desenvolvimento em nanotecnologia que maximize o aproveitamento dos recursos existentes, crie e fortaleça laboratórios afins, capacite e treine recursos humanos, integre as competências na área e alavanque a competitividade de diversos segmentos da indústria, é absoluta. A existência deste Programa viabilizará o aproveitamento das oportunidades abertas pela nanotecnologia, a priorização de atividades, a otimização no uso dos recursos disponíveis e a inovação nas áreas escolhidas, seja por razões estratégicas ou competitivas. Portanto, o Programa é um instrumento de competitividade econômica, um fator de aumento da participação do Brasil no produto econômico mundial e de soberania.

4.0. Objetivos

4.1 Objetivo Geral

O objetivo do Programa é criar e desenvolver novos produtos e processos em Nanotecnologia, implementando-os para aumentar a competitividade da indústria nacional e capacitando pessoal para o aproveitamento das oportunidades econômicas, tecnológicas e científicas da Nanotecnologia.

Seu impacto deverá impulsionar vários setores da economia: eletroeletrônica, veículos e equipamentos de transportes, tecnologia da informação, construção civil, química e petroquímica, energia, agronegócio, biomedicina e terapêutica, ótica, metrologia, metalurgia, produção mineral, proteção e remediação ambiental. Além disso, haverá um impacto sobre áreas estratégicas como as de segurança nacional, pessoal, patrimonial e alimentar.

4.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do Programa são:

- Geração de novos conhecimentos.
- Desenvolvimento tecnológico e inovação, capacitando o país para a competição em nível internacional.
- Formação de recursos humanos em alta tecnologia, capacitando gestores, pesquisadores, engenheiros e trabalhadores ao aproveitamento das oportunidades abertas pela Nanotecnologia.
- Formação e manutenção de uma rede nacional de laboratórios e facilidades de pesquisa, associados em torno de objetivos de pesquisa, desenvolvimento e inovação em Nanotecnologia.
- Execução de projetos de P&D&I, enfatizando os que favoreçam a interação e sinergia entre os laboratórios de pesquisa e o setor produtivo.
- Agregação de valor e tecnologia a produtos industriais, do agronegócio e serviços, criando empregos qualificados, em números significativos. Produção industrial que incorpore conceitos, conhecimentos, descobertas e desenvolvimentos da Nanotecnologia.
- Criação de empresas inovadoras. Modernização e aumento de competitividade de empresas. Aumento da participação brasileira na economia global.
- Atualização curricular de cursos nas áreas afins à Nanotecnologia.
- Informação da sociedade sobre os impactos da Nanotecnologia na vida do cidadão, as novas oportunidades e os riscos de obsolescência que ela cria para produtos e processos atuais.

5.0. Diretrizes do programa

As diretrizes do Programa, abaixo apresentadas, foram definidas por um Grupo de Trabalho²³ composto por representantes da comunidade científica e do setor privado com atuação em nanotecnologia e nanociência.

- A estruturação do Programa deverá ser compatibilizada com o Sistema Nacional de Ciência e Tecnologia²⁴ e levar em conta a visão estratégica da indústria na área da nanotecnologia.
- Os investimentos em P&D devem incluir a pesquisa básica e serem definidos à luz de i) uma estratégia de desenvolvimento tecnológico que corresponda às vocações e projetos de ação da indústria; ii) percepção de novos fatos e oportunidades científicas, pelos pesquisadores.
- A implementação do Programa deve buscar parcerias com as Fundações Estaduais de Amparo a Pesquisa e órgãos estaduais ou regionais de desenvolvimento, ciência e tecnologia²⁵.
- Promover a Cooperação Internacional e a inserção internacional da nanotecnologia brasileira.

- Induzir a criação de empresas inovadoras.
- Desenvolver mecanismos para apoio inicial a empresas de base nanotecnológica.
- Induzir e assegurar a formação e manutenção de recursos humanos em nanociência e nanotecnologia, provendo bolsas e recursos para atração e remuneração de pesquisadores.
- Incentivar a identificação e estabelecimento de parcerias que possam ser estimuladas a contribuir para desenvolvimento da nanotecnologia.

6.0. Estratégias do programa

Estão relacionadas a seguir estratégias deste Programa, separadas entre estratégias de curto, médio e longo prazos.

6.1. Curto prazo

- Definir alvos e metas de maneira sistêmica, considerando todos os agentes relevantes e interessados: agências de governo, empresas, instituições de ensino e de pesquisa.
- Preservar e aproveitar os esforços de prospecção já realizados.
- Intensificar o trabalho de identificação de empresas, laboratórios e centros de P&D com afinidade na área de nanotecnologia e que possam vir a participar do esforço nacional.
- Identificar e estabelecer parcerias entre instituições de pesquisa e empresas.
- Incentivo à criação de programas de pós-graduação em nanotecnologia, preferivelmente com caráter multidisciplinar e multi-institucional, com inclusão de disciplinas de empreendedorismo na formação.
- Cooperação internacional com laboratórios de nanotecnologia.
- Modernizar e equipar adequadamente laboratórios existentes. Promover a criação de laboratórios multiusuários com gestão integrada²⁶, para o apoio às atividades de pesquisa executadas pelas redes e aos projetos específicos de P&D&I em nanotecnologia.
- Criar um laboratório de tecnologia e nanofabricação em Si, três laboratórios de nanobiotecnologia e realizar estudos de criação de outros laboratórios.
- Criação de uma estrutura logística e de informação que permita o máximo aproveitamento dos recursos humanos especializados e equipamentos existentes, beneficiando números crescentes de usuários e otimizando os investimentos realizados.
- Estabelecer mecanismos de prospectiva, acompanhamento e avaliação que realimentem este Programa e permitam a contínua reavaliação de seus objetivos e metas.
- Analisar e propor modelos de gestão para laboratórios existentes e outros que venham a ser criados, que permitam efetivo controle social mas evitem efeitos

negativos de estruturas administrativas incompatíveis com a operação produtiva dos laboratórios.

- Estabelecer uma estrutura de gestão e de uma estrutura financeira de suporte às ações de médio e longo prazo, realística e com características de estabilidade e continuidade mínimas para que as ações do Programa possam produzir resultados.
- Sensibilizar e treinar pesquisadores, estudantes e profissionais no uso da literatura de patentes e na proteção da propriedade intelectual gerada por este Programa.

6.2. Médio prazo

- Atrair indústrias e investidores de risco para atividades de nanotecnologia.
- Crescimento sustentado do capital humano e da infra-estrutura de nanotecnologia.
- Avaliar e acompanhar o Programa, redefinindo objetivos e estratégias, sempre que necessário.
- Apoiar a criação de empresas inovadoras.
- Apoiar a criação de uma Associação ou Sociedade Brasileira de Nanociência e Nanotecnologia.

6.3. Longo prazo

- Apoiar a criação de empresas inovadoras.
- Conquistar uma posição destacada no cenário mundial de nanotecnologia.

7.0. Implementação do programa

Um instrumento para que este Programa possa alcançar os objetivos mencionados é a implementação das ações do Plano Plurianual 2004 – 2007, com estimativa de continuidade até 2011. É desejável que sejam implementadas as seguintes ações:

- Implantação de laboratórios e redes de nanotecnologia (projeto²⁷);
- Apoio às redes e laboratórios de nanotecnologia (atividade)²⁸;
- Pesquisa e desenvolvimento em nanociência e nanotecnologia (atividade);
- Gestão do programa (atividade);
- Implantação de um programa especial de formação de recursos humanos.

As ações serão implementadas através de contratação direta ou da execução de projetos selecionados em processo competitivo, mediante editais. O acompanhamento das ações (assim como de todos os programas do PPA) é feito por meio do sistema de informações gerenciais do Ministério do Planejamento

(SIGPLAN); além disso, a gestão do programa será feita de forma participativa, com o apoio de uma Câmara Técnica.

8.0. Gestão do programa

O Programa será gerido pelo MCT, que manterá uma Coordenação de Nanotecnologia. A gestão do programa contará com o apoio de uma Câmara Técnica, com representação paritária de: i) comunidade científica e tecnológica, ii) órgãos da administração federal e iii) empresas, que serão partes ativas na definição de políticas estratégicas e procedimentos de avaliação para o desenvolvimento da nanotecnologia no país. À Câmara Técnica caberá ainda propor melhorias no programa ao longo de sua execução. Pretende-se com isso dar transparência e conferir um caráter participativo à gestão do programa.

As alocações de recursos serão feitas mediante processos competitivos e públicos, consistindo na publicação de editais de chamada de propostas, processo de julgamento por pares, anúncio público de resultados e implementação pelas agências do MCT (Finep ou CNPq). Os processos de julgamento seguirão sempre as melhores práticas internacionais, sendo realizados por comitês formados por especialistas do mais alto nível.

9.0. Metas

São mostradas na tabela 1 as metas a serem atingidas no programa “Desenvolvimento da Nanotecnologia e da Nanociência” de 2004 a 2007.

Tabela 1 - Metas do programa

Meta	Valor de referência ano base (08/2003)	ANO			
		2004	2005	2006	2007
1. Formação de recursos humanos	600	690	790	950	1140
2. Ampliação do depósito de patentes envolvendo nanotecnologia	17	22	28	35	43
3. Evolução das exportações de materiais, produtos e processos baseados em nanotecnologia	1	4	8	13	21
4. Taxa de participação das patentes envolvendo nanotecnologia em relação ao total de patentes	600	3 %	4 %	6 %	8 %
5. Taxa de crescimento do número de produtos científicos e tecnológicos, em nanotecnologia ^a	1200	20 %	44 %	73 %	107 %
6. Taxa de crescimento do número de empresas que incorporaram produtos ou processos nanotecnológicos ^a	10	50 %	100 %	150 %	200 %

^a A expectativa é que, inicialmente esses produtos e empresas tenham participação expressiva dos produtores de materiais poliméricos, metálicos e cerâmicos.

- 1- Número de alunos de pós-graduação na área. Valores absolutos.
- 2- Foi considerado 17 patentes como valor de referência e foi feita uma projeção de 5, 6, 7 e 8 patentes adicionais para 2004, 2005, 2006 e 2007, respectivamente.
- 3- Foi feita uma projeção de 3, 4, 5 e 8 novos materiais, produtos ou processos exportados em 2004, 2005, 2006 e 2007, respectivamente. O valor de referência foi tomado como sendo igual a 1, para evitar divisão por zero no cálculo de taxas.
- 4- Estima-se um crescimento de 3, 4, 6 e 8 % em relação ao valor base (600) em 2004, 2005, 2006 e 2007, respectivamente.
- 5- A previsão é um acréscimo de 20% ao ano em relação ao ano base.
- 6- A previsão é o surgimento de 5 empresas por ano.

10.0. Facilidades Implantadas ou apoiadas

Nas tabelas 2 e 3 são mostradas as facilidades que deverão ser implantadas ou apoiadas pelo Programa, identificadas pelo Grupo de Trabalho. A proposta de implantação do Laboratório de Tecnologia e Nanofabricação de Silício é a mais vultuosa e complexa e encontra-se no Anexo 1.

Tabela 2 - Facilidades implantadas ou apoiadas pelo programa.

Tipo de Facilidade ou Rede	No. de unidades		No. estimado de pesquisadores		Área construída (m ²)	
	2007	2004	2007	2004	2007	
Redes						
Rede de Nanobiotecnologia	1	100	170	500	1500	
Rede de Nanoanálise e Diagnóstico	1	40	100	500	1000	
Rede de Materiais Nanoestruturados e Filmes Finos	1	100	170	500	1500	
Rede de Nanometrologia e Instrumentação	1	35	75	500	1000	
Rede de Nanodispositivos e Materiais Semicondutores	1	85	170	500	1500	
Rede de Nanotecnologia Molecular e de Interfaces	1	65	130	500	1500	
Laboratórios¹						
Laboratório de Síntese (úmida)	5	20	45	0	300 x 5 unid.	
Laboratório de Síntese (vácuo)	5	20	45	500	300 x 5 unid.	
Laboratório de Nanopós	3	20	40	0	200 x 3 unid.	
Laboratório de Produção de Nanoestruturas (poliméricas, metálicas, cerâmicas, funcionais)	5	20	50	0	400 x 5 unid.	
Laboratório de Nanodispositivos Fotônicos	2	20	40	-	300 x 2 unid.	
Laboratório de Microscopia Eletrônica	4	30	60	500	500 x 4 unid.	
Laboratório de Espectroscopia	4	30	60	300	500 x 4 unid.	
Laboratório de Microanálise	4	30	60	300	500 x 4 unid.	
Laboratório de Caracterização e Tratamento de Superfícies	4	20	40	500	500 x 4 unid.	
Laboratório de Caracterização Magnética	3	20	30	0	500 x 3 unid.	
Laboratório de Caracterização Elétrica	1	20	40	0	500 x 1 unid.	
Laboratório de Tecnologia e Nanofabricação de Silício	1	50	100	750	1500	
Laboratórios de Nanobiotecnologia ²	3	50	100	0	500 x 3 unid.	

¹ Os laboratórios terão o compromisso de prestar serviços a pesquisadores em nanotecnologia participantes do programa e também a outros usuários interessados. Cada laboratório deverá ser equipado no estado da arte.

Os laboratórios serão do tipo Laboratórios abertos multi-unidades, onde cada unidade será responsável por uma diferente etapa relacionada ao Laboratório em que ela se enquadra. Desta forma, por exemplo, o Laboratório de Espectroscopia pode ser composto por unidades responsáveis por espectroscopia óptica, espectroscopia Raman, espectroscopia resolvida no tempo, etc. (ou outra divisão de tarefas apropriadas). As unidades podem estar alocadas em diferentes regiões, estados ou instituições e podem ter como base um laboratório já existente, com boa infra-estrutura, e que possua um histórico de laboratório multiusuário (no sentido amplo do termo).

² Centros de Fármacos e Vacinas, de Nanobiossensores e de Drogas Magnéticas.

Tabela 3 - Facilidades implantadas ou apoiadas pelo programa, número de usuários e setores econômicos envolvidos.

Tipo de Facilidade ou Rede	No. de pesquisadores usuários (doutores)	No. estimado de empresas usuárias	Setores econômicos das empresas usuárias, tipos de produtos, metodologias envolvidas
	2007		
Redes			
Rede de Nanobiotecnologia	150	10	Fármacos, diagnóstico, biomateriais, vacinas, meio ambiente, terapia gênica, drug-delivery, biorreceptores, cosmética, regeneração de tecidos, agroindústria, ambiental
Rede de Nanoanálise e Diagnóstico	100	5-6	Saúde, análises químicas, fármacos, produtos geneticamente modificados
Rede de Materiais Nanoestruturados e Filmes Finos	150	15	Nanopartículas (viscosidade, drug-delivery, colóides, pigmentos, dispersões, coatings, ferro-fluidos, partículas magnéticas); filmes (guias de onda, filmes nanoestruturados), agroindústria
Rede de Nanometrologia e Instrumentação	70	5-6	Processos, procedimentos e instrumentação, normas e padrões, eletrônica
Rede de Nanodispositivos e Materiais Semicondutores	90	3-4	Sensores, sistemas químicos integrados, dispositivos a base de nanotubos, start-ups, eletrônica
Rede de Nanotecnologia Molecular e Interfaces	80	3-5	Nanotecnologia molecular, membranas, reconhecimento molecular, absorvedores de luz, eletrônica
Laboratórios			
Laboratório de Síntese (úmida)	50	10	Indústria química (nanoemulsões, lubrificantes, cosmética, sol-gel, tecnologia de cerâmicas, colóides, pigmentos, dispersões. Emulsões)
Laboratório de Síntese (vácuo)	40	5	Eletrônica, revestimento, ferramentas de corte especiais, química
Laboratório de Nanopós	40	15	Indústria química (cosmética, sol-gel, tecnologia de cerâmicas, colóides, dispersões)
Laboratórios de Produção de Nanoestruturas (poliméricas, metálicas, cerâmicas, funcionais)	40	15	Dispositivos eletrônicos, sistemas químicos integrados
Laboratório de Nanodispositivos Fotônicos	30	10	Fotônica, optoeletrônica. Sensores ópticos
Laboratório de Microscopia Eletrônica	130	10	Caracterização de nanomateriais, geral
Laboratório de Espectroscopia	80	5	Caracterização de nanomateriais (necessidade de resolução espectroscópica espacial em nm), agroindústria
Laboratório de Microanálise	130	20	Caracterização química, nanoanálise (elementos traços), agroindústria
Laboratório de Caracterização e Tratamento de Superfícies	50	5-10	Caracterização de superfícies (nano), adesão, corrosão, catálise, química
Laboratório de Caracterização Magnética	50	5-10	Nanopartículas magnéticas, sistemas spintrônicos
Laboratório de Caracterização Elétrica	50	2-3	Start-ups, eletrônica
Laboratório de Tecnologia e Nanofabricação de Silício	100	4	Métodos de microeletrônica visando a nanoeletrônica (nanolitografia), MEMS, NEMS, MOEMS, circuitos à base de nanotubos, caracterização de nanocircuitos
Laboratórios de Nanobiotecnologia	150	20	Biossensores, biorreceptores, farmácia, ambiental, alimentos

11.0. Orçamento

A tabela a seguir apresenta as demandas orçamentárias de recursos do tesouro nacional e/ou de outras fontes, inclusive os Fundos Setoriais, necessárias à execução do Programa. As respectivas memórias de cálculo encontram-se no Anexo 2.

Item	2004	2005	2006	2007	Total
Implantação de Laboratórios e redes de nanotecnologia	71.130.000	71.130.000	71.130.000	71.130.000	284.520.000
Apoio às redes e laboratórios de nanotecnologia	3.720.000	5.990.000	9.012.000	11.278.000	30.000.000
Gestão do programa	350.000	350.000	350.000	350.000	1.400.000
Pesquisa e desenvolvimento em nanociência e nanotecnologia	21.500.000	21.500.000	21.500.000	21.500.000	86.000.000
Total	96.700.000	98.970.000	101.992.000	104.258.000	401.920.000

A esses recursos deverão somar-se recursos de empresas e de órgãos estaduais ou regionais, especialmente para as atividades de pesquisa e desenvolvimento em nanociência e nanotecnologia.

12.0. Resultados esperados

Ao final da execução deste Programa, deverão ter sido alcançados os seguintes resultados:

- Criação, expansão e consolidação de pequenas e médias empresas de alta tecnologia, desenvolvendo, produzindo e comercializando produtos nanotecnológicos;
- Inserção de produtos e processos nanotecnológicos em vários setores industriais;
- Consolidação de um programa de formação de RH com sua absorção e inserção nos setores acadêmicos e industrial do país;
- Elaboração de *roadmap* e planejamento de laboratórios avançados;
- Geração de riqueza e de emprego qualificados e bem remunerados;
- Maior competitividade industrial em nível internacional;
- Redução da dependência externa do país e do déficit da balança comercial nos produtos de alta tecnologia.

-
- ¹ Fonte: www.estado.estadao.com.br/editorias/2003/06/15/ger011.html
- ² Estimativa da Fundação Nacional de Ciências (NSF) dos E.U.A. (www.nsf.gov). Aproximadamente US\$300 bilhões em eletrônica, US\$340 bilhões em materiais além da parte de síntese química e US\$180 bilhões em produtos farmacêuticos. Estima-se que serão criados, mundialmente, 2 milhões de postos de trabalho na área.
- ³ Faraday atribuiu as diferenças de cor entre amostras de ouro coloidal (do azul até a “púrpura de Cassius”) a diferenças de tamanho entre as suas partículas. Hoje, sabe-se que são partículas nanométricas e as menores são vermelhas.
- ⁴ Grande parte do transporte de pessoas e mercadorias depende de pneus, cujas propriedades dependem muito criticamente de partículas nanométricas de carbono, o “negro de fumo”.
- ⁵ A manipulação direta da matéria em escala nanométrica exige um de dois tipos de abordagens básicas: i) aquelas usadas na síntese química e na criação de estruturas supramoleculares, que foram grandemente aperfeiçoadas durante o século 20; ii) a existência de elementos de máquinas capazes de executarem movimentos com precisão de nanômetros ou menos, o que se tornou viável graças aos muitos aperfeiçoamentos dos materiais piezoelétricos (descobertos em 1880 por Pierre e Paul-Jacques Curie e que hoje permitem a execução de deslocamentos com uma precisão de centésimos de nanômetros), bem como pelo uso e aperfeiçoamento de técnicas de feixes de elétrons e de íons.
- ⁶ “There’s Plenty of Room at the Bottom: An Invitation to Enter a New Field of Physics”. Palestra proferida na reunião anual da American Physical Society, em 29 de dezembro de 1959. In *Engineering and Science*, Caltech, 22 de fevereiro de 1960 (ver www.zyvex.com/nanotech/feynman.html).
- ⁷ Como exemplo, tomamos o dispositivo da “língua eletrônica”. Este dispositivo reúne e explora dois conceitos: a membrana quimicamente seletiva e a microfabricação (www.comciencia.br/noticias/21dez01/lingua.htm).
- ⁸ Por exemplo, na Alemanha foram criadas seis redes de pesquisas (Centros de Competência) em nanotecnologia: a) Filmes ultra-finos funcionais (88 organizações participantes), b) Nano-optoeletrônica (59 org.), c) Funcionalidade via química (113 org.), d) Nanoestruturas laterais (76 org.), e) Tratamento de superfícies ultra-preciso (53 org.) e f) Nanoanalítica (60 org.). Nos E.U.A., o ‘Molecular Foundry’, do Laboratório Nacional Lawrence Livermore, estará dotado de facilidades nas seguintes áreas: a) Nanoestruturas inorgânicas, b) Nanofabricação, c) Síntese orgânica, inclusive de polímeros e biopolímeros, d) Nanoestruturas biológicas, e) “Imaging” e manipulação e f) Teoria de materiais nanoestruturados. O início de operação está previsto para 2006.
- ⁹ De janeiro a dezembro de 2002, os pesquisadores integrados às 4 redes de nanotecnologia existentes no país produziram aproximadamente 1100 publicações em periódicos internacionais, depositaram 17 patentes em N&N e realizaram mais de 200 apresentações em eventos internacionais. Foram criados produtos como a “língua eletrônica”, nanodosímetro de radiação UV, fotodetector de radiação ionizante, nanoestruturas de memória Flash, vacinas por transferência gênica, fármacos de liberação controlada e circuitos integrados à base de silício. Além disso, três dos quinze mais ambiciosos projetos do MCT, os Institutos do Milênio, atuam em Nanotecnologia
- ¹⁰ Contribuem fortemente a Biologia, Biotecnologia, Engenharias Elétrica (especialmente a Microeletrônica), Mecânica, Química e de Materiais, a Física, Matemática e a Química. Um exemplo muito claro da enorme interdisciplinaridade de nanotecnologia é o recente lançamento da revista *IEEE Transactions on Nano Bioscience*.
- ¹¹ Já há uma oferta de disciplinas de Nanotecnologia, ao lado de várias disciplinas regulares relevantes para a Nanotecnologia. Por exemplo, o Instituto de Química da Unicamp oferece, em 2003, uma disciplina de Introdução à Nanotecnologia no curso de graduação, com excelente resultados. A Universidade de Mogi das Cruzes, no ano de 2003, oferece um curso de pós-graduação em Biotecnologia intitulado “Nanobiotecnologia”.
- ¹² O próprio CNPq, reconhecendo a importância da iniciação à pesquisa, resolveu, muito recentemente, premiar os melhores trabalhos e orientações. É desejável que o CNPq defina uma cota de bolsas para as atividades de Nanotecnologia.
- ¹³ Quando a tecnologia de fibras ópticas foi introduzida no Brasil, durante muitos anos não havia mão-de-obra técnica especializada, sendo grande parte do trabalho técnico (por exemplo: solda de fibras ópticas) realizada por profissionais do nível superior.
- ¹⁴ Por ‘facilidades’ entende-se apenas um conjunto de prédios, equipamentos e equipe de operação, sujeitos a qualquer estrutura legal ou de gestão.
- ¹⁵ Por exemplo técnicas de varredura com sondas, microscopia eletrônica, instrumentação para análise de superfícies, emissão de campo, análise por sondas atômicas, nanomanipuladores, equipamentos para teste, calibração e medidas, nanoferramentas, nanomotores e nanomáquinas, nanosondas, multi-sondas equipamentos para caracterizar propriedades magnéticas, ópticas, elétricas e mecânicas de nanoestruturas com resolução espacial, microfluídica, tecnologias de feixes de íons focalizados, software para análise de

dados, representação, simulação e modelagem, instalações com facilidades para trabalhos em ambientes ultra-limpos, dentre outras.

¹⁶ É importante que tal profissional faça parte das equipes de pesquisa e que tenha possibilidades de progressão profissional além, é claro, de remuneração competitiva e mecanismos de avaliação diferentes dos aplicados aos pesquisadores e docentes universitários.

¹⁷ O Brasil deve adotar uma postura clara em relação a este ramo de atividade científica, de desenvolvimento e industrial. O país precisa optar, e optará mesmo que não o faça de forma consciente, por entrar no setor, seja a) como país que domina as tecnologias e atua como consumidor consciente, b) como país que domina as tecnologias e contribui para a produção industrial na área, c) como país que domina a tecnologia e disputa e/ou aspira a competitividade, ou d) como país que seguirá sendo consumidor inconsciente e dependente de produtos desta natureza para incorporar nos seus produtos industriais.

Muito em especial é absolutamente necessário adotar uma postura clara e decidida em relação à TECNOLOGIA DO SILÍCIO aplicada à produção de componentes eletrônicos semicondutores integrados. Esta área atingiu um estágio maduro, deverá continuar baseada no silício por pelo menos mais cinquenta anos e o país pode e deve entrar nela. Porém, devido ao seu alto grau de desenvolvimento, esta entrada só será possível mediante decisão estratégica. Um laboratório de pesquisa e desenvolvimento, com as instituições de pesquisa como suporte e com a indústria como objetivo, nas linhas do que foi praticado na Bélgica, na Coreia e na Irlanda, é essencial. É imprescindível a criação de pelo menos um laboratório no país que possa constituir um embrião de atividade na área. Qualquer pretensão de resultados a curto prazo e/ou de construir um laboratório destes a baixo custo está certamente condenada ao fracasso. É necessário compreender que:

a. No plano internacional, a indústria que é competitiva em microeletrônica, microfabricação, nanobiotecnologia, nanofármacos, e outros, utiliza métodos, técnicas, conhecimentos e infra-estrutura industrial desenvolvida nos últimos 40-50 anos, ao longo dos quais os investimentos em infra-estrutura foram contínuos e vultosos. Somente um milagre levaria o Brasil a ingressar a baixo custo e rapidamente no seletíssimo clube de países competitivos em alta tecnologia.

b. Ao contrário, não existem milagres. Os setores de atividade industrial nos quais o Brasil ensaia competitividade como os do petróleo, da siderurgia, química de base e petroquímica, da aeronáutica, de autopeças, de açúcar e álcool, papel e celulose e outras agroindústrias, resultaram de enormes investimentos com dinheiro público, mantidos continuamente durante longos intervalos de tempo. A pergunta cabível é: como país, estamos arrependidos dos investimentos que fizemos nestes setores? Se a resposta é que não estamos, eis o caminho a seguir em nanotecnologia em particular e em alta tecnologia em geral.

¹⁸ Por exemplo, o projeto Millipede, da IBM (www.research.ibm.com/resources/news/20020611_millipede.shtml), de fabricação de memórias. Nestas, cada bit é representado pela existência ou não de um furo de cerca de 20 nanômetros em um filme de um termoplástico amorfo, como o PMMA. A gravação, leitura e desgravação dos bits é feita por agulhas do tipo usado em microscópios de varredura de sonda, montadas em monolitos microfabricados em silício. Os monolitos desempenham funções eletro-eletrônicas e mecânicas, simultaneamente.

¹⁹ Por exemplo, os alcóxidos de metais, que são fundamentais para todos os processos do tipo sol-gel, ou as fibras de carbono.

²⁰ Cerca de 50% da informação científica documentada em patentes jamais chega à literatura científica aberta. Por outro lado, a leitura e análise de patentes pela comunidade científica brasileira é pouco frequente, como se observa da leitura de planos de pesquisa e projetos submetidos às agências. Para informações sobre patentes, ver www.wipo.org, <http://ep.espacenet.com>, www.uspto.gov e www.inpi.gov.br.

²¹ Muitas oportunidades, sejam de pesquisa, sejam industriais, dependem fundamentalmente da informação e, sobretudo, da velocidade com que ela é processada e apropriada. Sistemas de “antena” e de “observatório” têm se mostrado muito valiosos. Estes sistemas se beneficiam de muitos diferentes tipos de contribuição. Por exemplo, os adidos científicos das embaixadas brasileiras em países-chave contribuem muito para o processo de coleta de informação e de análise dos impactos locais de determinadas notícias, produtos e processos de nanotecnologia.

²² Por outro lado, os resultados de programas de governo bem focalizados é absolutamente claro nos setores aeroespacial, do agronegócio, de petróleo, petroquímica, química de base e biotecnologia, entre outros. O Brasil tem hoje uma elevada produção científica, tecnológica e industrial em todas as áreas verticais do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PADCT), iniciado em 1983 e que agora está sendo encerrado. Esse exemplo demonstra a importância de programas plurianuais e da ação sistêmica do governo.

²³ Criado pela Portaria 252 do MCT, de 16 de maio de 2003.

²⁴ O Brasil precisa construir um SISTEMA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, com base na visão estratégica da indústria e, se os líderes da indústria se dispuserem, deve ser liderado pela indústria. Os pesquisadores, seja qual for a sua área de atuação - indústria, universidades, centros de pesquisa - precisam reconhecer que a situação atual é de quase total esgotamento da capacidade de investir. Portanto, mesmo investimentos a fundo perdido em investigação científica básica devem ser feitos à luz de uma estratégia de

desenvolvimento tecnológico que corresponda às vocações e projetos de ação da indústria. A missão dos pesquisadores é compreender isto e apoiar, ao invés de resistir corporativamente, para superar impasses históricos de nosso país. Em resumo, podemos E DEVEMOS fazer melhor do que a Coreia.

É importante aprender com as experiências do passado: atingimos um excepcional nível de atividade e produção científica em física teórica e simulação e modelagem numérica de sistemas físicos e biofísicos. Tal nível foi atingido mediante investimentos a fundo perdido em investigação básica. No entanto, qual a estratégia do país para capitalizar todo este conhecimento e competência e colocá-lo à serviço do desenvolvimento tecnológico do país? Quantos dos muitos físicos teóricos e simuladores-modeladores numéricos excepcionais que possuímos estão em contato com as empresas industriais do país construindo parcerias? Note-se aqui que os pouquíssimos que o fizeram tiveram muito sucesso.

²⁵ Retomando as propostas da comissão de transição na área federal, lembra-se aqui o importantíssimo propósito ali firmado de construir um sistema nacional de ciência e tecnologia baseado na ação integrada do ministério e das agências federais com as fundações estaduais de apoio à pesquisa. A irresponsabilidade dos estados com o desenvolvimento tecnológico, com a única e óbvia exceção de São Paulo, deve ser corrigida imediatamente por ação federal. Como proposto na comissão de transição, o sistema nacional de ciência e tecnologia deve ser uma construção conjunta do MCT e das FAP's e deve ter o seguinte princípio básico norteador: investimentos federais em pesquisa em um determinado estado da federação SERÃO PROPORCIONAIS AO PERCENTUAL DO VALOR CONSTITUCIONAL (DO ESTADO) REPASSADO À SUA FAP.

Não se trata de discutir valores absolutos, tendo em vista a grande diferença de arrecadação entre estados. Trata-se de discutir se um determinado governo estadual está investindo em desenvolvimento científico e tecnológico no nível previsto pela sua constituição, o que em termos práticos traduz-se por um certo percentual da renda tributária líquida do estado repassado a FAP. Se não está, o sistema nacional de ciência e tecnologia deve agir na direção de contribuir para que isto seja feito. Isto é crucial, pois as Fundações Estaduais de Amparo à Pesquisa emanam de um conceito justo de participação dos Estados da Federação no fomento à pesquisa científica e tecnológica. Justo porque:

EM PRIMEIRO LUGAR - O investimento privado em pesquisa no Brasil ainda é muito pequeno, tornando imprescindíveis investimentos públicos, tanto em pesquisa fundamental quanto na pesquisa para o desenvolvimento industrial. A missão das Fundações Estaduais de Amparo à Pesquisa é adequar tal fomento às vocações da matriz produtiva e sócio-econômica de cada estado, otimizando os investimentos tanto temática quanto regionalmente.

SEGUNDO - As Fundações Estaduais de Amparo à Pesquisa constituem o ponto de apoio mediante o qual a matriz de pesquisa instalada no Estado, juntamente com as matrizes industriais e de serviços, alavancam a captação de investimentos federais e internacionais. Se, por um lado, os Estados em geral não dispõem dos recursos necessários para manter toda a sua matriz de pesquisa e, muito em especial, para fomentar a pesquisa industrial, por outro lado a captação de recursos federais e internacionais deve ser baseada na contrapartida do interessado principal, no caso, o Estado.

TERCEIRO - A ação das Fundações de Amparo à Pesquisa promove a reflexão, no âmbito estadual, da questão do desenvolvimento econômico e social no contexto da sociedade tecnológica, na qual, como é bem sabido, o maior valor agregado a qualquer produto ou serviço é a tecnologia e o conhecimento.

QUARTO - A ação das Fundações de Amparo à Pesquisa renova e redimensiona os sistemas de educação superior e técnica do Estado ao colocá-los em interação permanente e dinâmica com o setor produtivo e de serviços.

Vale aqui acrescentar, e louvar, o notório e crescente papel que a FAPESP exerce na inovação e competitividade industrial de São Paulo, através de programas como o PITE – Parceria para a Inovação Tecnológica. Deste, resultaram mais de mil registros de novas pequenas e médias empresas de base tecnológica naquele Estado nos últimos quatro anos. Exemplo igualmente eficaz é a atuação conjunta das Fundações Estaduais de Amparo à Pesquisa, dos pesquisadores, dos agentes políticos e outros agentes de influência das Regiões Norte e Nordeste, os quais têm assegurado, *a priori*, um percentual fixo e substancial de todos os investimentos federais em ciência e tecnologia para aquelas regiões.

²⁶ Os laboratórios terão uma ampla faixa de tamanho, indo desde laboratórios dedicados a uma técnica, conjuntos de laboratórios, facilidades de médio e grande porte, até laboratórios de porte nacional. Os laboratórios serão abertos aos usuários e formados por várias unidades. Cada unidade será responsável por uma diferente etapa relacionada ao Laboratório onde ela se enquadra. Desta forma, por exemplo, o Laboratório de Espectroscopia pode ser composto por unidades responsáveis por espectroscopia óptica, espectroscopia Raman, espectroscopia resolvida no tempo, etc. (ou outra divisão apropriada). As unidades podem estar alocadas em uma região diferente, estado ou instituição e podem ter como base um laboratório já existente, com boa infra-estrutura e que possua um histórico de laboratório multiusuário (no sentido amplo do termo). Os laboratórios terão o compromisso de prestar serviços a pesquisadores em nanotecnologia participantes do programa e também a outros usuários interessados.

²⁷ Na nomenclatura do Plano Plurianual, uma atividade é contínua no tempo, enquanto um projeto tem início e fim determinados.

²⁸ Esta ação tem por finalidade prover recursos para a manutenção das redes e laboratórios.

ANEXO 1 - Laboratório de Tecnologia e Nanofabricação de Si

- **Objetivos**

- Realizar pesquisa e promover inovação em tecnologia de nanoeletrônica e em micro- e nanossistemas (MEMS, NOEMS).
- Gerar e transferir processos e produtos para a indústria
- Gerar mão de obra especializada para a indústria.
- Gerar Recursos Humanos em nível de pós-graduação.
- Gerar *start-ups*
- Gerar propriedade intelectual, especialmente patentes.

- **Resultados Esperados:**

- Infraestrutura para atração, desenvolvimento e manutenção de indústria de semicondutores no país.
- Apóio tecnológico para os processos futuros do centro de prototipagem de circuitos integrados no CEITEC, RS.
- Disponibilização de uma variedade de componentes e microssores nas seguintes aplicações:
 - Agricultura de precisão: condições e previsões meteorológicas, controle de irrigação, condições do solo, nutrientes, densidade de ervas, produtividade, ponto de maturação, umidade, rastreamento e controle individual de animais, etc
 - Alimentos: controle de ponto de fermentação e outros processos, de estocagem, qualidades, origens, composição, etc.
 - Medicina: instrumentação médica e de análise, com mínimo consumo de reagentes químicos e redução de tempo e custo de análise.
 - Indústria: controle e automação de processos industriais.
 - Segurança: novas câmaras de imagens, detectores de gases e bactérias em mãos de possíveis terroristas, sistemas de rastreamento, de identificação, etc.
 - Comunicação e processamento de informação: dispositivos mais densos e velozes, acessíveis a toda população.
 - Meio ambiente: monitoramento e detecção instantâneo de vazamentos, de fogo e outros fenômenos que afetem o meio ambiente.
 - Transporte: controle automático de vias, veículos (carros, caminhões, tratores, aviões, etc) com mais inteligência, aumentando segurança, eficiência energética e conforto.
- Um desenvolvimento mais intenso e competitivo das áreas acima, pela interação direta e sinérgica entre profissionais do laboratório com os profissionais desenvolvendo e usando as aplicações.

- Um retorno financeiro para o país de no mínimo 10 vezes o valor investido é esperado.
- **Forma de funcionamento**
 - Forma jurídica que permite ao laboratório operar de forma eficiente e flexível (tipo organização social ou outra similar).
 - Administração profissional (quadro com regime CLT), contendo gerências de P&D, de interação com indústria e de propriedade intelectual, entre outras.
 - Fontes de recursos: inicialmente, apenas públicos e, com o tempo, recursos de projetos contratados com empresas privadas e outros.
 - Ter um corpo de pesquisadores e técnicos próprios.
 - Ser aberto para outros usuários: empresas, laboratórios, universidades.
 - Realizar trabalhos de P&D em conjunto com outros grupos parceiros do laboratório.
 - Promover a incubação de empresas, disponibilizando espaço físico e instalações.
- **Características Sugeridas para o Laboratório:**
 - a) **Infraestrutura e áreas:**
 - Instalações típicas de micro e nanofabricação
 - Sala limpa classe 100 e 10, com área de aproximadamente 1000 m².
 - Áreas com instalações de apoio.
 - Áreas com espaço para empresas de alta tecnologia
 - b) **Equipamentos:**
 - Litografia por feixe de elétrons, FIB, “*stamping*” e AFM (estas técnicas substituem os processos ópticos com vantagens quanto a custo e flexibilidade; apenas perdem em “*throughput*”, o que não é crítico para o laboratório).
 - Litografia óptica com dimensões micrométricas como ferramenta complementar.
 - Sistemas de corrosão por plasma
 - Sistemas de implantação de íons
 - Sistemas de deposição de filmes finos: MBE, MOCVD, CVD, Sputtering, evaporação, etc.
 - Fornos térmicos e RTP.
 - Sistemas de corrosão úmida para microusinagem de Si e outros (deposição, anodização e *self-assembly*).
 - Sistemas de corriqueiros de análise de filmes finos e de estruturas: SEM, AFM, elipsômetro, perfilômetro, FTIR, microscópios ópticos, etc.
 - Sistemas de medidas elétricas, inclui baixas temperaturas e de baixo ruído.

- Sistema de encapsulamento especial para microssoensores.
- Sistemas especiais de medidas de microssoensores.
- Sistema de gerência informatizada de operação do laboratório e de processamento de dispositivos.

c) Fases e Contratação de Pessoal:

- Fase 1: Projeto e construção da instalação e aquisição de equipamentos (2 anos):
 - 4 pessoas no primeiro ano
 - 10 pessoas no segundo ano
- Fase 2: Instalação e testes dos equipamentos (1 ano)
 - 50 pessoas
- Fase 3: Operação do laboratório e produção de trabalhos:
 - 200 pessoas no início
 - entre 500 e 1000 pessoas ao final de 5 anos de operação nesta fase (8 anos do projeto), para ser competitivo com outros laboratórios similares.

• **Procedimento de Escolha do Local:**

- Elaborar chamada
- Escolha baseada nos seguintes critérios:
 - Qualidade e conteúdo da proposta, quanto ao potencial de atendimento dos objetivos e viabilidade do seu plano de negócios.
 - Contrapartida regional.
 - Disponibilidade e/ou facilidade para recrutar RH;
 - Estar em região propícia para desenvolvimento de *start-ups*.
 - Facilidade de interação com outros grupos atuando na área.

• **Estimativa de orçamento**

Valores R\$ milhões	Ano1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Total
Projeto e construção	40	50			90
Equipamentos		80	70		150
Instalações		10	5		15
Consultorias, viagens	0,2	0,2	0,2		0,6
Convênios			0,5	1	1,5
Manutenção				15	15
Materiais de consumo			0,1	0,2	0,3
Energia, água, tel.		0,1	0,2	0,4	0,7
Pessoal	0,5	1,2	3,6	14	19,3
					0
Total	40,7	141,5	79,6	30,6	292,4

NOTA: Esse orçamento é muito grande para ser coberto apenas com recursos da área de ciência e tecnologia. Portanto, a viabilização desse laboratório dependerá de aportes de outros setores governamentais. O grupo de trabalho recomenda que esta questão seja submetida ao Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia.

ANEXO 2 - Estimativa de orçamentação

1.0 ORÇAMENTAÇÃO PARA A IMPLANTAÇÃO DE LABORATÓRIOS E REDES DE NANOTECNOLOGIA

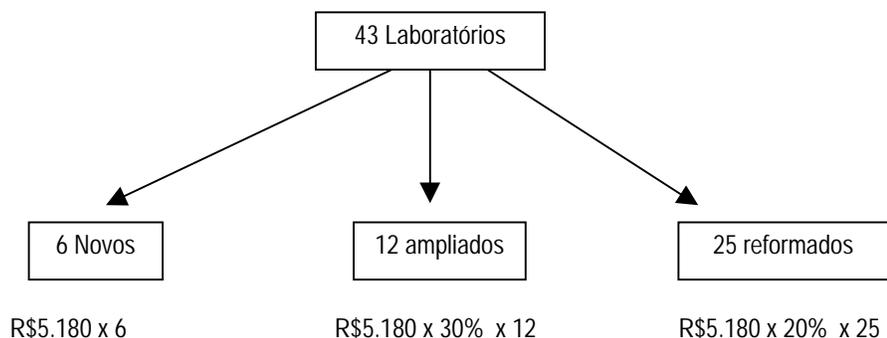
1.1 LABORATÓRIOS

Prevê-se a implantação de 43 laboratórios de nanotecnologia. "Implantação" inclui construção, ampliação e reforma de laboratórios. O ponto de partida é que serão construídos 6 laboratórios (sendo um por rede e 3 da rede de nanobiotecnologia), 12 serão ampliados e 23 reformados. Estimou-se que a ampliação implica em gasto de 30% do valor da construção de um laboratório; e a reforma equivale a 20%. O laboratório de Tecnologia e Nanofabricação de Silício por ser de maior porte, será considerado à parte nos cálculos.

O custo de montagem de um laboratório foi estimado a partir da Proposta Preliminar de Criação do Laboratório Regional de Nanodispositivos Semicondutores e Materiais Nanoestruturados, do Prof. Eronides F. da Silva (UFPE). O valor adotado foi:

CUSTO MONTAGEM LABORATÓRIO NOVO = R\$5.180.000 (cinco milhões cento e oitenta mil reais).

Portanto, são os seguintes os gastos previstos com laboratórios:



	No. Laboratórios	Custo Unitário (R\$ x 1000)	Anual (R\$ x 1000)	Total (R\$ x 1000)
Construção	6	5.180	7.770	31.080
Ampliação	12	1.554	4.662	18.648
Reforma	25	1.036	6.475	25.900
Total	40		18.907	75.628

①

②

1.2 LABORATÓRIO DE TECNOLOGIA E NANOFABRICAÇÃO DE SILÍCIO

Será considerado um valor anual de R\$ 20.000.000 em aporte do Tesouro e dos Fundos Setoriais. Este valor é inferior à orçamentação necessária ao pleno funcionamento do laboratório, como foi exposto no Anexo 1.

Recursos necessários:

ANUAL: R\$ 20.000.000 ③

NOS 4 ANOS: R\$ 80.000.000 ④

TOTAL LABORATÓRIOS:

ANUAL: ①+③ = R\$ **38.907.000**

NOS 4 ANOS: ②+④= R\$ **155.628.000**

1.4 REDES

O programa prevê a estruturação de 6 redes. No momento, 4 já estão em operação. Será necessário criar duas novas redes (Rede de Nanoanálise e Diagnóstico; Nanometrologia e Instrumentação) e fortalecer as 4 redes existentes.

Os nomes das redes são mostrados a seguir:

Redes
Rede de Nanobiotecnologia
Rede de Nanoanálise e Diagnóstico
Rede de Materiais Nanoestruturados e Filmes Finos
Rede de Nanometrologia e Instrumentação
Rede de Nanodispositivos e Materiais Semicondutores
Rede de Nanotecnologia Molecular e Interfaces

← A serem criadas
←

O valor necessário à operação das redes foi estimado com base no valor do edital de formação das redes, lançado pelo CNPq. Os recursos previstos no edital do CNPq variaram de R\$500.000 a R\$800.000 por rede (para 2 anos de duração do projeto). Este valor foi considerado muito baixo (opinião das pessoas envolvidas nas redes). Por isso, foi estipulado um valor de R\$500.000 por ano, para cada uma das redes. A tabela abaixo resume os valores:

	No. de redes	Custo unitário (R\$ x 1000)	Anual (R\$ x 1000)	Total – nos 4 anos (R\$ x 1000)
Criação de novas redes	2	500	1000	4000
Fortalecimento das redes existentes	4	500	2000	8000
Total			3000	12000

TOTAL LABORATÓRIOS+REDES

ANUAL: R\$ **41.907.000**

NOS 4 ANOS: R\$ **167.628.000**

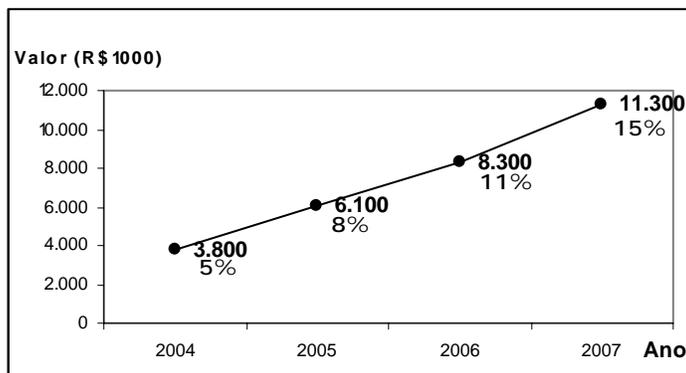
2.0 APOIO ÀS REDES E LABORATÓRIOS DE NANOTECNOLOGIA

2.1 MANUTENÇÃO DOS LABORATÓRIOS

Foi feita uma previsão de gastos de manutenção escalonados, já que se prevê que gastos com manutenção aumentem à medida que os laboratórios entrem em funcionamento pleno.

Como mostrado anteriormente (seção 1.1), serão necessários recursos de **R\$75.628.000** para a implantação de 43 laboratórios (excluídos o laboratório de Si). Estipulou-se que no primeiro ano (2004), o gasto com manutenção será de 5% deste valor e que atingirá 15% em 2007*. O gráfico abaixo mostra a previsão de evolução dos gastos com manutenção:

Estimativa de recursos para manutenção dos laboratórios



Ano	%	Valor (R\$1000)
2004	5	3.800
2005	8	6.100
2006	11	8.300
2007	15	11.300
Total		29.500

* As porcentagens não são números exatos. Considerem-se os valores absolutos.

2.2 MANUTENÇÃO DAS REDES

Os recursos para manutenção das redes foram incluídos na seção 1.4 (Anexo 2).

Recursos necessários à ação:

NOS 4 ANOS: R\$ 29.500.000

3.0 GESTÃO DO PROGRAMA

Recursos alocados: R\$350.000 para 2004

NOS 4 ANOS = R\$1.400.000

4.0 PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA

A serem executados pela Finep e pelo CNPq. Os projetos executados serão de dois tipos:

- i) projetos de cooperação entre empresas e universidades ou institutos de pesquisa, dentro de modelos usados no PADCT e no Fundo Verde-Amarelo, por exemplo;
- ii) projetos de pesquisa pioneira por grupos de excelência.

A dotação necessária para projetos do primeiro tipo, em 2004, pode ser calculada da seguinte forma: serão selecionados 30 projetos com duração de dois anos, com um aporte do governo no valor de R\$600.000 por projeto, sendo os desembolsos divididos em duas partes iguais e anuais. Isto implicaria em um desembolso de R\$9 milhões em 2004. A esta contribuição do governo deverá somar-se uma contrapartida equivalente da empresa envolvida.

Para os projetos do segundo tipo, a dotação proposta é de R\$500 mil por projeto em dois anos para um total de 50 projetos, resultando em um orçamento de R\$12,5 milhões em 2004. Esta dotação deverá receber contrapartida de FAPs ou outros órgãos regionais.

No total, a orçamentação necessária aos projetos de P&D em Nanotecnologia será de R\$21,5 milhões em 2004.

Tipo de projeto*	No. de projetos	Desembolso médio por projeto	Total
Cooperação empresa-universidade	30	600.000	9.000.000
Pesquisa pioneira	50	500.000	12.500.000
		Total:	21.500.000

- Os projetos têm duração de 2 anos.
- No valor dos projetos estão incluídas as bolsas de pesquisa

Recursos necessários à ação:

ANUAL: R\$ 43.000.000

NOS 4 ANOS: R\$ 172.000.000

A planilha a seguir mostra a orçamentação final necessária ao programa.

Item	2004	2005	2006	2007	Total
Implantação de Laboratórios e redes de nanotecnologia	71.130.000	71.130.000	71.130.000	71.130.000	284.520.000
Apoio às redes e laboratórios de nanotecnologia	3.720.000	5.990.000	9.012.000	11.278.000	30.000.000
Gestão do programa	350.000	350.000	350.000	350.000	1.400.000
Pesquisa e desenvolvimento em nanociência e nanotecnologia	21.500.000	21.500.000	21.500.000	21.500.000	86.000.000
Total	96.700.000	98.970.000	101.992.000	104.258.000	401.920.000