

# Parcerias Estratégicas

Número 18 - agosto 2004 - Brasília, DF



**PARCERIAS ESTRATÉGICAS – NÚMERO 18 – AGOSTO 2004**

**CONSELHO EDITORIAL**

Evando Mirra de Paula e Silva (Presidente)

Alice Rangel de Abreu

Carlos Henrique de Brito Cruz

Carlos Henrique Cardim

Cylon Gonçalves da Silva

Lúcio Alcântara

Nelson Brasil de Oliveira

**EDITORIA**

Tatiana de Carvalho Pires

**EDITORIA-ASSISTENTE**

Nathália Kneipp Sena

**CAPA**

Anderson Moraes

*Endereço para correspondência:*

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)

SCN Quadra 2 Bloco A Edifício Corporate Financial Center salas 1002/1003

70712-900 - Brasília, DF

Tel: (xx61) 424.9600 / 424.9666 Fax: (xx61) 424.9671

e-mail: editoria@cgee.org.br

URL: <http://www.cgee.org.br>

*Distribuição gratuita*

Parcerias Estratégicas / Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. –  
n. 18 (agosto 2004). – Brasília : CGEE, 2004.

ISSN 1413-9375

1. Política e governo – Brasil 2. Inovação Tecnológica I. Centro de Gestão e  
Estudos Estratégicos II. Ministério da Ciência e Tecnologia

CDU 323 6(81)(05)

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do MCT

---

ESTA EDIÇÃO DA REVISTA PARCERIAS ESTRATÉGICAS CORRESPONDE A UMA DAS METAS PREVISTAS  
NO QUINTO TERMO ADITIVO DO CONTRATO DE GESTÃO MCT/CGEE

# PARCERIAS ESTRATÉGICAS

Número 18 · agosto/2004 · ISSN 1413-9375

---

## Sumário

### **Nanociência e nanotecnologia**

Nanotecnologia: o desafio nacional <i>Cylon Gonçalves da Silva</i> .....	5
Nanociências e nanotecnologia <i>Celso Pinto de Melo, Marcos Pimenta</i> .....	9
Nanotecnologia, nanociência e nanomateriais: quando a distância entre presente e futuro não é apenas questão de tempo <i>Oswaldo Luiz Alves</i> .....	23
Nanocompósitos poliméricos e nanofármacos: fatos, oportunidades e estratégias <i>Fernando Galembeck, Márcia Maria Rippel</i> .....	41
Parcerias estratégicas em nanotecnologia: a experiência da Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais <i>Margareth Spangler Andrade</i> .....	61
Aplicações biomédicas de nanopartículas magnéticas <i>Zulmira Guerrero Marques Lacava, Paulo César de Moraes</i> .....	73
Ética e humanismo em nanotecnologia <i>Henrique Eisi Toma</i> .....	87
<b>Documento</b>	
Nanoredes. <i>Apresentação de Marcelo Knobel</i> .....	99
A iniciativa brasileira em nanociência e nanotecnologia .....	105

## **Memória**

Há mais espaços lá embaixo  
*Richard P. Feynman* ..... 137

Planejamento no Brasil: memória histórica  
*Paulo Roberto Almeida* ..... 157

## **Prospecção**

Prospecção em ciência, tecnologia e inovação: a abordagem conceitual e metodológica do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos e sua aplicação para os setores de Recursos Hídricos e Energia  
*Marcio de Miranda Santos, Dalci Maria dos Santos, Gilda Massari Coelho, Mauro Zackiewicz, Lélío Fellows Filho, Carlos Eduardo Morelli Tucci, Oscar Cordeiro Neto, Gilberto De Martino Jannuzzi, Isaiás de Carvalho Macedo* ..... 191

## **Resenha**

Dimensões econômicas e sociais do desenvolvimento global  
*Paulo Roberto Almeida* ..... 239

## Nanotecnologia: o desafio nacional

---

*Cylon Gonçalves da Silva*

Desde a Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação realizada em 2001, a nanotecnologia começou a ganhar visibilidade no Brasil. O Livro Verde da Conferência dedicou-lhe uma seção. Logo após o evento, o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) lançou suas redes de nanociência e nanotecnologia e o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) iniciou o financiamento de um Instituto do Milênio de Nanociências. Vários outros institutos do milênio tratam, também, de temas muito próximos à nanotecnologia. No decorrer de 2002, o MCT fez um esforço para criar um Programa Nacional de Nanotecnologia e lançar as bases de um centro de pesquisa e desenvolvimento para a área. Em 2003, o novo governo empreendeu uma revisão do programa anterior, mas a idéia de um centro foi abandonada. O programa, elaborado em 2003, foi submetido a uma consulta pública e deverá ser aperfeiçoado tendo em vista o lançamento recente da Política Industrial, Tecnologia e de Comércio Exterior. O grande desafio para a nanotecnologia entre nós permanece, ainda, o de ganhar relevância social e econômica.

A novidade para a nanotecnologia no Brasil é precisamente a nova política industrial, que levará o MCT a revisar suas atividades na área, de modo a adequá-las às novas demandas das políticas do governo. E quais são essas demandas?

Em primeiro lugar, ao ser colocada como área portadora de futuro, espera-se que a nanotecnologia contribua de forma importante para o desenvolvimento industrial do Brasil. Isto significa determinar como ela pode não apenas estar presente na pesquisa e desenvolvimento de novos produtos

e processos em setores de ponta, mas como pode contribuir para os setores mais tradicionais da indústria brasileira, entre os quais, naturalmente, o do agronegócio. Para tanto, o MCT deverá organizar discussões sobre o tema, que aproximem a comunidade científica e a comunidade empresarial nos debates, por exemplo, de temas de pesquisa cooperativa ou pesquisa pré-competitiva. A participação de outros ministérios, em particular o Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC), e associações empresariais, como a Confederação Nacional da Indústria (CNI), deve ser articulada. Os novos editais de financiamento deverão, igualmente, priorizar os projetos cooperativos com empresas. Neste contexto, irá se colocar o debate da renovação das redes do CNPq e dos Institutos do Milênio. Eventualmente, o MCT e o MDIC deverão contemplar a formação de um Fórum de Competitividade em Nanotecnologia, nos moldes do que começa a se estruturar para a biotecnologia.

Em segundo lugar, à medida que a nanotecnologia ganha visibilidade e presença na sociedade e na mídia, questões sobre seus impactos sociais, ambientais e éticos irão começar a ganhar cada vez mais visibilidade junto ao público leigo. É preciso que a comunidade científica brasileira comece a se preocupar com esses temas. Para tanto, o CNPq deverá lançar proximamente um edital para financiar alguns estudos sobre esses aspectos da nanotecnologia. Espera-se que esses estudos permitam uma maior articulação entre as ciências sociais, ciências exatas, ciências da vida e engenharias na discussão da nanotecnologia.

Em terceiro lugar, em função também da política industrial, volta à cena a discussão sobre um grande laboratório nacional de micro e nanotecnologias, focado na pesquisa e desenvolvimento, por um lado, em semicondutores e, por outro, nas novas nanotecnologias. O que será, onde será, quanto custará este novo laboratório são algumas das perguntas que exigem uma resposta mais ou menos rápida. O grupo de estudos da Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior já vem trabalhando sobre esta questão, ao mesmo tempo em que se organizam debates fora do governo sobre o mesmo tema.

Mas, nanotecnologia não se esgota nos aspectos tratados acima. Um estudo prospectivo recente, de um grupo da Universidade de Toronto (Canadá), identificou como as cinco mais promissoras áreas de aplicação da

nanotecnologia para países em desenvolvimento: 1) armazenamento, produção e conversão de energia; 2) aumento da produtividade da agricultura; 3) tratamento e remediação de água; 4) diagnóstico e prevenção de doenças; e, 5) sistemas de direcionamento de medicamentos. Vemos que dentre essas cinco áreas, ao menos quatro têm tudo a ver com qualidade de vida e elas vão requerer, em maior ou menor grau, a conjugação de técnicas de biotecnologia com as de engenharia de materiais em escala atômica. Assim, não é apenas em produtos e processos voltados para o mercado de massa que a nanotecnologia pode produzir resultados práticos, mas, também, para a solução de graves problemas de saneamento e saúde pública.

Finalmente, quero discutir brevemente o impacto da nanotecnologia sobre outras políticas nacionais. Já mencionei acima as questões de energia, saneamento e saúde (vegetal, animal e humana) que, claramente, terão um reflexo sobre políticas públicas nacionais. Do lado da educação, por sua vez, temos o imenso desafio de modernizar nossos currículos, da escola primária à pós-graduação, para incorporar o quanto antes os avanços de uma ciência e tecnologia crescentemente multi, inter e transdisciplinares. Mas, há um outro elemento a ser considerado: que são as aplicações militares da nanotecnologia. Os exemplos são vários. Desde a possibilidade de interfaces homem/máquina altamente sofisticadas até novos materiais inteligentes para o uniforme e proteção pessoal do soldado, mas com evidentes aplicações civis, por exemplo, no monitoramento remoto de pacientes crônicos ou idosos. Por outro lado, o espectro do desenvolvimento de novas armas de destruição em massa, de controle de multidões ou de imobilização individual, está sempre presente quando se trata de novas tecnologias tão poderosas. Com o aumento das ameaças terroristas crescem também as “contramedidas” tecnológicas cada vez mais avançadas que poderão se incorporar ao arsenal dos estados dominantes e virem a ser empregadas contra terceiros países que “não se comportem bem” na visão dessas potências. É sempre mais atraente desenvolver novas tecnologias contra o inimigo do que resolver os conflitos pela eliminação de suas raízes sociais, políticas e econômicas. O mundo sempre foi muito perigoso, e tudo indica que corre o risco de ficar ainda um pouco mais perigoso neste século. É preciso, portanto, prestar atenção nesses desenvolvimentos, na medida em que possam impactar a capacidade de defesa, já bastante reduzida, de países em desenvolvimento. Uma discussão internacional sobre o controle dessas novas potencialidades é algo que precisa ser considerado seriamente.

Portanto, o leque de ações de Governo voltadas para a nanotecnologia deve ganhar amplitude e profundidade nos próximos meses. Neste sentido, a iniciativa do Centro de Gestão e de Estudos Estratégicos (CGEE) de dedicar atenção ao tema neste número da revista Parcerias Estratégicas é extremamente oportuna.

## **Resumo**

O artigo apresenta uma análise histórica da participação do Ministério da Ciência e Tecnologia nas ações de nanociências e nanotecnologia no país, e os esforços que estão sendo feitos para que as atividades do setor sejam inseridas na nova política industrial do governo. O MCT pretende organizar discussões sobre o tema com o objetivo de aproximar a comunidade científica com o meio empresarial; e, para as pesquisas cooperativas e pré-competitiva, a criação de parcerias com ministérios, associações empresariais e outros setores. Na agenda estão incluídos os projetos cooperativos com as empresas e o financiamento de estudos. A criação de um grande laboratório nacional de micro e nanotecnologias focado na pesquisa e no desenvolvimento, nos semicondutores e nas novas nanotecnologias está na pauta das discussões, e permitirá uma maior articulação das áreas multidisciplinares.

## **Abstract**

*A brief analysis is presented on how the Brazilian government can contribute to maximize the role of science and technology – especially nanosciences and nanotechnologies – towards the accomplishment of the goals established by a new strategy for trading and industrial policy. Partnership among businesses, representatives from the industrial sector, government, research institutes, universities etc will need further strengthening. A multidisciplinary approach for nanotechnology studies would promote the understanding of its societal values. The creation of a national laboratory for the study of micro and nanotechnologies in Brazil is considered in order to assess the impact of nanotechnology in various national policies, including those related to agribusiness; environmental issues; water supply and wastewater management; energy production, storage and management; electronics; medicine, and pharmaceutical industries among many others.*

## **O autor**

CYLON GONÇALVES DA SILVA. É professor emérito da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Foi diretor do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS/MCT), e atualmente é o Secretário de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento, do Ministério da Ciência e Tecnologia.

## Nanociências e nanotecnologia

---

*Celso Pinto de Melo  
Marcos Pimenta*

Os termos nanociências e nanotecnologias se referem, respectivamente, ao estudo e às aplicações tecnológicas de objetos e dispositivos que tenham ao menos uma de suas dimensões físicas menor que, ou da ordem de, algumas dezenas de nanômetros. Nano (do grego: “anão”) é um prefixo usado nas ciências para designar uma parte em um bilhão e, assim, um nanômetro (1 nm) corresponde a um bilionésimo de um metro. Parte da dificuldade em lidarmos com os novos conceitos decorrentes do avanço das nanociências e das nanotecnologias se deve à nossa pequena familiaridade com o mundo do muito pequeno, de escala atômica, ou seja, das dimensões nanométricas. Como a distância entre dois átomos vizinhos em uma molécula ou em uma amostra sólida é usualmente da ordem de décimos de nanômetros, um objeto com todas suas dimensões na escala nanométrica (também dita nanoscópica) é constituído por um número relativamente pequeno de átomos; em contraste, deve ser lembrado que um pequeno grão de pó de giz, por exemplo, que é um objeto microscópico (e tem, portanto, dimensões típicas milhares de vezes maiores que um nanômetro), possui um número extremamente elevado (que pode ser estimado em cerca de  $10^{15}$ ) de átomos.

Em termos tecnológicos, uma primeira motivação para o desenvolvimento de objetos e artefatos na escala nanométrica está associada à possibilidade de que um número cada vez maior deles venha a ser reunido em dispositivos de dimensões muito pequenas, aumentando assim a compactação e sua capacidade para o processamento de informações. Por exemplo, o tamanho dos transistores e componentes se torna menor a cada nova geração tecnológica, o que permite uma maior performance de novos chips processadores que neles se baseiem; embora de tamanho igual ou menor

aos da geração anterior, esses chips podem combinar um número muito maior de componentes ativos em uma única unidade. Ao mesmo tempo, uma redução na escala física levará também a uma economia de energia, já que a potência desperdiçada por um dispositivo é proporcional a seu tamanho.

No entanto, mais que na procura pelo simples benefício direto da redução de tamanho, a grande motivação para o desenvolvimento de objetos e dispositivos nanométricos reside no fato de que novas e incomuns propriedades físicas e químicas – ausentes para o mesmo material quando de tamanho microscópico ou macroscópico – são observadas nessa nova escala. Por exemplo, uma amostra de um material metálico, ou seja, naturalmente condutor de eletricidade, pode se tornar isolante quando em dimensões nanométricas. Um objeto nanométrico pode ser mais duro do que outro que, embora formado do mesmo material, seja de maior tamanho. Por sua vez, a cor de uma partícula de um dado material pode também depender de seu tamanho. Um material magnético pode deixar de se comportar como um ímã ao ser preparado sob forma de amostras nanométricas. Um material relativamente inerte do ponto de vista químico, como o ouro, pode se tornar bastante reativo quando transformado em nanopartículas. Enquanto a nanociência busca entender a razão para essa sutil mudança de comportamento dos materiais, a nanotecnologia busca se aproveitar destas novas propriedades que surgem na escala nanométrica para desenvolver produtos e dispositivos para vários diferentes tipos de aplicações tecnológicas.

Na verdade, a alteração das propriedades de um material ao atingir a escala nanométrica se deve à combinação de dois fatores: enquanto, por um lado, é em objetos com essas dimensões que os efeitos quânticos se manifestam de maneira mais evidente, por outro, observa-se que quanto menor for o tamanho da amostra, mais importantes se tornam os efeitos de superfície, pelo aumento da proporção entre sua área e seu volume.

A teoria quântica é um ramo da física que explica, entre outras coisas, o comportamento dos átomos e dos elétrons na matéria. De acordo com ela, os elétrons podem se comportar como ondas, o que se manifesta de forma mais clara quando o material tem dimensões nanométricas. Para amostras com um número pequeno de átomos, o comportamento dos elétrons se assemelha ao observado para as vibrações da corda de um violão, que – como é sabido – só são bem definidas para certos valores de frequências. Esta limitação sobre o

movimento dos elétrons, conhecida como confinamento quântico, tem efeito direto sobre diferentes propriedades físicas das amostras nanoscópicas, como, por exemplo, sua cor e sua condutividade elétrica.

O outro aspecto relevante na alteração das propriedades dos nano-objetos diz respeito aos chamados efeitos de superfície, devido ao aumento da razão entre o número de átomos que estão em sua superfície relativamente àqueles dispersos por seu volume. Por exemplo, em um cubo formado por mil átomos (ou seja, contendo dez átomos dispostos ao longo de cada um dos lados), 600 deles, ou seja, 60% do total, estarão na superfície da amostra. Já em um material macroscópico como um grão de areia, a fração de átomos presentes na superfície é irrisória quando comparada com o número total de átomos da amostra. Ocorre que os átomos da superfície têm um papel diferenciado em relação àqueles presentes no interior do material, uma vez que podem participar de todas as interações físicas e químicas do material com o meio no qual ele está inserido, como a troca de calor, processos de oxidação etc. É, por essa razão, que historicamente os catalisadores – materiais que podem acelerar certas reações químicas entre dois outros compostos devido ao fato de que sua superfície se apresenta como um meio adequado para favorecer a interação inicial entre eles – são normalmente empregados na forma de pequenas partículas dispersas no meio da reação: quanto maior a superfície específica do catalisador, ou seja, sua razão superfície/volume, maior será sua eficiência no processo de catálise.

Assim, as nanotecnologias buscam se aproveitar das novas propriedades que surgem nos materiais quando em escala nanométrica para, através do controle do tamanho e da forma dos nano-objetos, conseguir a preparação de novos dispositivos tecnológicos com finalidades específicas.

## **QUANDO SE INICIOU O INTERESSE NAS NANOCIÊNCIAS E NANOTECNOLOGIAS?**

Muito embora o enorme interesse do homem pelo estudo e aplicação tecnológica de objetos na escala nanométrica seja bastante recente, podemos afirmar que a nanotecnologia está presente na natureza há bilhões de anos, desde quando os átomos e moléculas começaram a se organizar em estruturas mais complexas que terminaram por dar origem à vida. Por exemplo, o processo de fotossíntese, pelo qual as folhas transformam a luz do sol em

energia bioquímica utilizável pelas plantas, ocorre em células que possuem em seu interior verdadeiras nanomáquinas-verdes, um complexo sistema de centros moleculares ativos presentes em camadas organizadas, que são responsáveis pela absorção da energia luminosa, por seu armazenamento sob forma de energia química e por sua posterior liberação controlada para uso pelo organismo como um todo.

Também, mesmo que de forma empírica, isto é, pela prática e sem o devido entendimento dos processos básicos envolvidos, podemos considerar que o homem pratica a nanotecnologia há milênios. Sabemos hoje que a tinta nanquim, desenvolvida pelos chineses há mais de dois mil anos, é constituída de nanopartículas de carvão suspensas em uma solução aquosa. Embora normalmente as nanopartículas dissolvidas em um líquido se agreguem, formando micro e macropartículas que tendem a se depositar, se separando do líquido, os chineses antigos descobriram que era possível estabilizar a tinta nanquim pela mistura de uma cola (goma arábica) na solução com pó de carvão e água. Hoje é possível entender que, ao se ligarem à superfície das nanopartículas de carvão, as moléculas de cola impedem sua agregação e, portanto, sua separação do meio do líquido. Da mesma forma, as brilhantes cores dos vitrais das igrejas medievais são o resultado da diferenciada forma de absorção da luz por partículas coloidais de ouro de tamanhos distintos: empiricamente, os artesãos de então perceberam que diferentes manipulações com soluções de ouro levavam à produção de vidros com cores variadas, mesmo sem poderem entender que eram os efeitos de confinamento quântico que ditavam quais cores estariam associadas a que tamanho de partículas de ouro coloidal. Assim, além da multitude de exemplos de nanossistemas biológicos que podem ser identificados na natureza, é também extensa a lista de nanodispositivos empiricamente fabricados pelo homem desde os primórdios da civilização.

No entanto, o interesse explícito pelo estudo e desenvolvimento sistemático de objetos e dispositivos na escala nanométrica é bastante recente e historicamente costuma ter seu marco inicial associado à palestra proferida em 1959 pelo físico americano Richard Feynman\*, intitulada “Há mais espaços lá embaixo”. Nessa palestra, que é hoje considerada o momento definidor

---

\* O texto do Richard Feynman “Há mais espaços lá embaixo”, está publicado nesta edição da revista, na seção Memória.

das nanociências e nanotecnologia como uma atividade científica, Feynman (que veio a receber o prêmio Nobel de Física em 1965, por suas contribuições ao avanço da teoria quântica) sugeriu que um dia o homem conseguiria manipular objetos de dimensões atômicas e assim construir estruturas de dimensões nanométricas segundo seu livre arbítrio. Essa previsão, porém, só começou a tornar-se realidade no início da década de 80, com o desenvolvimento por físicos europeus dos assim chamados microscópios de varredura por sonda, dentre os quais hoje se incluem o microscópio de tunelamento e o microscópio de força atômica. De uma maneira geral, esses microscópios funcionam pelo mapeamento dos objetos de dimensões atômicas por meio de uma agulha extremamente afiada, contendo poucos átomos em sua ponta, que de maneira controlada “tateia” a estrutura da amostra sob análise, à semelhança da maneira como um cego explora com seu bastão os objetos ao seu redor. Através do deslocamento extremamente preciso da ponta do microscópio em relação à superfície da amostra que se quer investigar, é possível “visualizar” a natureza e disposição espacial dos átomos que constituem um material, o que permite construir imagens detalhadas de objetos com dimensões nanométricas. A tecnologia da instrumentação correspondente avançou muito nos últimos 20 anos, e hoje o uso desse tipo de microscópio é bastante difundido, podendo o mesmo ser encontrado em diferentes centros de pesquisa no Brasil. Enquanto isso, nesse período foram ainda desenvolvidos microscópios eletrônicos (isto é, que usam feixes de elétrons em vez de luz) de alta resolução, que também são capazes de visualizar os átomos e detalhes em escala nanométrica de um dado objeto.

### **COMO SÃO OBTIDOS OS MATERIAIS NA ESCALA NANOMÉTRICA?**

Existem dois procedimentos gerais para se obter materiais na escala nanométrica. Uma primeira abordagem, o chamado procedimento “de baixo para cima”, consiste em tentar construir o material a partir de seus componentes básicos (ou seja, seus átomos e moléculas), da mesma forma que uma criança monta uma estrutura ao conectar as peças de um Lego. Por outro lado, é também possível fabricar um objeto nanométrico pela eliminação do excesso de material existente em uma amostra maior do material, à semelhança da maneira como um artista trabalha os pequenos detalhes em uma escultura, fazendo cuidadoso desbaste do supérfluo ou excedente de um grande bloco de pedra ou madeira. Este procedimento (“de cima para baixo”)

normalmente se vale das chamadas técnicas de litografia, que correspondem a uma série de etapas de corrosão química seletiva e extremamente precisa para a preparação final do objeto nanométrico a partir de um bloco macroscópico do material.

Em um esquema “de baixo para cima”, é possível construir um nano-objeto pela deposição lenta e controlada de átomos sobre uma superfície bastante polida e regular. Muitas vezes, os átomos depositados se organizam espontaneamente, formando estruturas bem definidas de tamanho nanométrico. Isto ocorre, por exemplo, quando átomos de germânio são evaporados sobre uma superfície de silício. Como a distância entre os átomos é diferente nos cristais destes dois materiais, os átomos de germânio se organizam na forma de uma pirâmide, em vez de simplesmente formarem uma camada regular de átomos sobre a superfície do silício. Este é um exemplo do chamado processo de auto-organização, ou auto-agrupamento. É também possível construir objetos nanométricos a partir de reações químicas controladas. Nanopartículas de materiais metálicos, como por exemplo a prata, são obtidas em reações químicas em meios aquosos, nas quais os átomos de prata dissolvidos na solução se juntam para formar agregados de tamanho nanométrico.

Uma importante etapa no desenvolvimento das nanociências e nanotecnologias ocorreu no fim da década de 80, quando pesquisadores da IBM mostraram que um microscópio de varredura por sonda pode ser usado não apenas para visualizar átomos, mas também para manipulá-los, ou seja, mover de forma controlada átomos de uma espécie, depositados sobre uma superfície de outro material. Foi assim concretizada a visão de Feynman de construção, átomo a átomo, de objetos nanométricos. Desde então, microscópios desse tipo estão sendo usados para criar diferentes tipos de estruturas nanométricas.

Já no procedimento “de cima para baixo”, como vimos, as técnicas de litografia podem ser usadas para a construção de um objeto nanométrico a partir de um bloco maior de material. A primeira etapa desta técnica consiste em cobrir o material a ser trabalhado (silício, por exemplo) com uma fina camada de um polímero-precursor que ao ser em seguida tratado por luz se tornará insolúvel em algumas regiões específicas da amostra, segundo um padrão pré-estabelecido. Usando métodos ópticos, o padrão complementar

ao desejado pode ser fielmente projetado na amostra coberta pela resina polimérica sensível à luz (fotolitografia). Desta forma, os menores detalhes registrados na amostra são aproximadamente do tamanho do comprimento da onda da luz utilizada. Detalhes tão pequenos como 100 nm podem ser obtidos usando-se luz ultravioleta (UV). Finalmente, a amostra é cuidadosamente exposta a uma solução ácida que remove o excesso de material polimérico que não foi exposto à luz e, portanto, não foi polimerizado, deixando assim o silício exposto segundo o padrão desejado. Alternativamente, e em situações especiais, a camada polimérica pode ser diretamente retirada pelo uso de um feixe de elétrons (litografia por feixe eletrônico), o que permite obter detalhes com resolução de até 20 nm.

### **ALGUMAS APLICAÇÕES DE OBJETOS E DISPOSITIVOS NANOMÉTRICOS**

**NANOELETRÔNICA:** Os dispositivos eletrônicos atuais (transistores, chips, processadores) são majoritariamente baseados no silício e construídos usando técnicas de litografia. O microprocessador de um computador consiste basicamente de milhões de transistores impressos em um bloco de silício. A cada ano, são aprimoradas as técnicas de fotolitografia, permitindo assim a diminuição do tamanho dos transistores individuais, com conseqüente aumento tanto da capacidade de processamento quanto da frequência de operação do microprocessador. No entanto, uma série de dificuldades técnicas impõe limites ao tamanho mínimo dos transistores que podem vir a ser esculpidos, em escala industrial, em um bloco de silício. Desta forma, acredita-se que a nanoeletrônica venha a ter por base dispositivos concebidos de forma distinta daqueles da microeletrônica baseada no silício. Já foi demonstrada, recentemente, a possibilidade de se construir transistores muito menores do que os atuais baseados no silício, usando-se nanotubos de carbono e moléculas orgânicas.

Os nanotubos de carbono são cilindros formados por átomos de carbono, com diâmetros de aproximadamente 1 nm. Devido a diferenças na forma de confinamento quântico de seus elétrons, esses nanotubos, formados espontaneamente a partir da condensação de vapor de carbono em condições apropriadas, podem ser metálicos ou semicondutores. Existe a possibilidade de que os nanotubos de carbono venham a ocupar um papel dominante na era da nanoeletrônica e, com base neles, já foram desenvolvidos em laboratórios diodos e transistores e, mais recentemente, até mesmo uma porta lógica (isto

é, um dispositivo capaz de executar operações lógicas durante o processamento de sinais).

**LIBERAÇÃO DE MEDICAMENTOS:** É possível construir macromoléculas nanométricas capazes de, como uma gaiola química, armazenar em seu interior a molécula de uma droga ou o princípio ativo de um medicamento, de modo a que venham a funcionar como vetores capazes do transporte pelo organismo e do controle, seja da taxa de liberação, seja do ambiente fisiológico adequado, para que essa liberação do composto específico ocorra. Por exemplo, uma vez injetadas em um ser humano, essas macromoléculas liberam lentamente o medicamento em seu interior para a corrente sanguínea, o que possibilita sua presença em um nível mais constante no organismo e elimina as indesejáveis variações significativas na concentração de medicamentos de uso contínuo que sejam diretamente injetados na corrente sanguínea. Da mesma forma, a macromolécula pode ter sua parte exterior preparada para que sua dissolução, liberando o fármaco, ocorra apenas em tecidos-alvo específicos, minimizando os efeitos colaterais da droga utilizada. Por fim, as dimensões nanométricas das moléculas-gaiola podem levar inclusive à preparação de medicamentos capazes de vencer a barreira das membranas cerebrais, levando ao desenvolvimento de uma nova geração de fármacos específicos para o tratamento de alterações bioquímicas ou de tecidos do cérebro.

**PROPRIEDADES MECÂNICAS DE NANOMATERIAIS:** As nanociências e as nanotecnologias podem ser usadas para tornar os materiais mais resistentes, fortes e leves. Uma análise mais detalhada revela que tanto os diferentes metais quanto as cerâmicas são constituídos por um ajuntamento estrutural específico de grãos de tamanhos microscópicos e nanoscópicos. As propriedades mecânicas desses materiais são fortemente dependentes do tamanho e da disposição espacial desses grãos; como regra geral, quanto menor o tamanho dos grãos, mais duro pode ser o material correspondente. O aumento da compreensão da relação estrutura-propriedade resultante do avanço das técnicas de nanociências e a possibilidade de maior controle na preparação de materiais nanoestruturados são fatores de grande otimismo quanto ao advento de novos materiais com melhores e até mesmo insuspeitadas propriedades mecânicas. Em especial, os nanotubos de carbono também se notabilizam por suas propriedades mecânicas especiais, sendo, por exemplo, muito mais resistentes e mais leves do que o aço.

COMPÓSITOS DE POLÍMEROS E NANOPARTÍCULAS CERÂMICAS E METÁLICAS: Compósitos são misturas homogêneas de dois ou mais tipos de materiais. Uma das principais razões para tentar a mistura de diferentes materiais é que o material resultante pode eventualmente exibir tanto propriedades distintas daquelas que caracterizam cada um de seus componentes, como também uma combinação em certo grau dessas propriedades. Assim, pela adequada combinação de componentes, um compósito pode reunir um conjunto de propriedades convenientes e desejáveis. Em geral, é ainda possível alterar as propriedades mecânicas, elétricas e óticas de polímeros pela incorporação em seu interior de partículas nanométricas cerâmicas, metálicas ou de um outro polímero. Exemplo disso é a recente tendência de se desenvolver uma eletrônica totalmente polimérica, que tenha por base a integração, em um mesmo compósito, de componentes ativos (como transistores e processadores) fabricados em regiões contendo maior concentração de um polímero condutor, com componentes passivos (resistores e capacitores) que se valham das propriedades resistivas da matriz formada por um polímero convencional.

PROPRIEDADES ÓPTICAS DOS NANOMATERIAIS: Como discutido, a luz emitida por um material depende da organização de seus níveis eletrônicos. Pelo tamanho característico das nanopartículas, seus elétrons ficam confinados em níveis discretos de energia, tendo a separação entre eles uma fina e direta dependência com as dimensões físicas do objeto. Assim, a exemplo do que fora empiricamente praticado pelos vidreiros medievais, é possível controlar a cor da luz emitida por um nano-objeto pela seletiva escolha de seu tamanho. Hoje, com base no conhecimento da estrutura em escala mesoscópica dos materiais, a nanotecnologia busca desenvolver lasers e diodos preparados a partir de materiais semicondutores de tamanho nanométrico, que possam assim emitir luz com frequências bem definidas e apropriadas para diferentes tipos de aplicações.

PROPRIEDADES MAGNÉTICAS DOS NANOMATERIAIS: As propriedades magnéticas de uma nanopartícula dependem de seu tamanho. Assim, por exemplo, o ferro é um material magnético usado para se fazer ímãs permanentes. No entanto, nanopartículas de ferro de tamanho menor do que 10 nm deixam de se comportar como um ímã. O desenvolvimento de aplicações de materiais magnéticos teve um enorme progresso nos últimos anos devido à possibilidade de fabricação controlada de filmes metálicos extremamente finos, com espessura igual a 1 nm, ou menor. Um dos novos fenômenos mais interessantes,

conhecido como magnetoresistência gigante, é observado em amostras contendo multicamadas ultrafinas de materiais magnéticos, intercaladas com filmes metálicos não-magnéticos. Como a resistência elétrica de sistemas desse tipo varia enormemente em função do campo magnético neles aplicado, esses materiais já vêm encontrando aplicação em cabeças de leitura e gravação de discos de computadores.

## **DOIS COMENTÁRIOS FINAIS**

Antes de concluirmos, seria de interesse chamar a atenção do leitor sobre dois debates que no momento são travados sobre o avanço das nanotecnologias: um primeiro, mais interno e por enquanto ainda restrito aos especialistas (mas com certo rebatimento sobre a visão popular do que poderia vir a ser o uso cotidiano dessas tecnologias), e um outro, que começa a envolver a opinião pública, e a ocupar a atenção de grupos ativistas de direitos do cidadão.

### **Será possível a reprodução do mundo macroscópico em uma escala nanoscópica?**

Uma visão das nanotecnologias que se faz presente de maneira muito freqüente nos meios de comunicação envolve a construção de nanorrobôs que, sob comando, poderiam ser injetados no corpo humano para executar tarefas como desobstrução e reparo de artérias, nanocirurgias e, até mesmo, tratamentos de microrrecuperação óssea e dentária. Eixos e rolamentos moleculares, construídos pelo organizado arranjo espacial de moléculas e polímeros, forneceriam os elementos básicos para a fabricação de tais nanomáquinas, uma abordagem muito difundida para o grande público por Eric Drexler. Em seu livro “Engenhos da Criação”, originalmente publicado em 1986, Drexler chega a sugerir a possibilidade de que tais sistemas pudessem chegar a um grau de complexidade que os tornassem auto-replicantes e dotados de inteligência própria. No entanto, nos anos mais recentes, cientistas como Richard Smalley e George Whitesides têm se posicionado de maneira crescentemente cética com relação à visão reducionista de que princípios mecânicos do mundo macroscópico pudessem permanecer dominantes na escala nanoscópica. Segundo eles, dispositivos que simplesmente fossem a reprodução em escala muito reduzida de

máquinas de nosso dia-a-dia não seriam operacionais no mundo nanométrico e, para a construção de objetos realmente funcionais, com dimensões moleculares, o homem teria de aprender com a natureza e, a exemplo dela, seguir as leis da química e física nanoscópicas, assim como reveladas pela operação dos sistemas biológicos.

### **Quais os riscos das nanotecnologias?**

A história da humanidade mostra que qualquer novo avanço tecnológico pode eventualmente ser apropriado por alguns grupos em prejuízo dos demais. Por mais inverossímil que pareça à ciência atual, a noção de nanomáquinas replicantes dotadas de livre-arbítrio e que, portanto, possam vir a fugir do controle de seus criadores tem o poder de inquietar o cidadão comum, fato que já foi devidamente explorado pela literatura recente. Por sua vez, na esteira das discussões sobre organismos geneticamente modificados, autoridades da Inglaterra chegaram a sugerir no ano passado uma moratória da pesquisa na área das nanociências e nanotecnologias, enquanto os possíveis riscos delas decorrentes não fossem melhor avaliados. Muito embora o fato de que por sua distância da realidade do conhecimento atual a idéia de nanorrobôs pertença hoje mais ao domínio da ficção científica que das reais preocupações de pesquisa e desenvolvimento dos cientistas que atuam na área das nanociências e nanotecnologias, não há dúvidas que, como em qualquer área em que o conhecimento sofre uma abrupta ruptura, uma cuidadosa avaliação de possíveis efeitos e conseqüências das tecnologias correspondentes precisa começar a fazer parte das preocupações coletivas. A par das enormes possibilidades de desenvolvimento científico e tecnológico oferecidas pelas nanociências e nanotecnologias, nanopartículas podem de fato vir a se difundir de maneira não controlada pelo meio ambiente, as mesmas moléculas que permitiriam vencer a barreira cerebral transportando medicamentos essenciais poderiam se tornar vetores de patógenos desconhecidos, novas armas poderão ser baseadas nas propriedades especiais dos nanossistemas etc. A lista é extensa mas, como em qualquer novo ramo do conhecimento, não é pela proibição ou decretação de moratória das pesquisas, e sim pela melhor informação ao público leigo e pelo adequado controle social das atividades científicas, que o enorme potencial das nanociências e nanotecnologias pode ser melhor explorado para o bem da humanidade.

## **CONCLUSÕES**

As nanociências e nanotecnologias buscam estudar as propriedades de objetos de tamanho nanométrico e desenvolver seu uso em dispositivos com essas dimensões. Ao lado da simples busca pela miniaturização dos dispositivos, com vistas à economia de espaço e de energia, o principal interesse reside na possível exploração de novos efeitos que ocorrem em escala nanométrica, notadamente pela explícita manifestação de efeitos quânticos e pelo aumento da contribuição relativa dos átomos da superfície desses materiais. O desenvolvimento desta área está intimamente ligado ao progresso instrumental recente, que possibilitou ao homem não apenas a visualização como também a manipulação controlada de átomos individuais. As aplicações possíveis dessas tecnologias representam uma nova fronteira do conhecimento em que os limites entre as disciplinas tradicionais, como física, química e biologia se diluem em uma convergência de modelos, técnicas e interesses comuns. Esta é uma área de desenvolvimento recente, que pelo enorme potencial de impacto científico, tecnológico e econômico, tem merecido especial atenção e financiamento seletivo pelos países desenvolvidos. Se o Brasil não dispõe das centenas de milhões de dólares que as nações líderes investem a cada ano na pesquisa em nanociências e no desenvolvimento de nanotecnologias, ao menos uma concertada política de priorização para o setor poderia em muito alavancar as nossas vantagens específicas, entre as quais se destaca o fato de já possuímos, no momento, grupos extremamente qualificados atuando nas áreas de nanociências e nanotecnologias. Este é talvez um momento crucial no planejamento científico de nosso país em que, pela adoção de uma política correta de investimentos consistentes e regulares nesta área, possamos desde agora assegurar a futura presença brasileira em termos competitivos ao lado dos países tecnologicamente líderes.

## **Resumo**

As nanociências e as nanotecnologias, pelo enorme potencial de impacto científico, tecnológico e econômico, merecem especial atenção dos países desenvolvidos e em desenvolvimento. Na parte conceitual e histórica os autores ressaltam que embora o tema esteja em evidência na atualidade, a nanotecnologia está presente na natureza há bilhões de anos, desde quando os átomos e moléculas começaram a se organizar para dar origem à vida. Na escala nanométrica, o desenvolvimento de novos

componentes possibilitará reunir dispositivos de dimensões tão pequenas que aumentarão a compactação e a capacidade para o processamento de informações, visando à economia de espaço e de energia, assim como os nanossistemas criados causarão grande impacto em áreas como a química, biologia, física, metrologia, ciência dos materiais entre outros. Alguns pontos de interesse social são questionados, como, por exemplo, os riscos e a possível reprodução do mundo macroscópico em uma escala nanoscópica que poderão afetar nosso dia-a-dia.

### **Abstract**

*World-wide attention is turning to nanosciences and to their possible applications in the near future. The evolution of the concepts related to that branch of science is described. Emphasis is laid on the fact that nanotechnology has been part of nature for billions of years since the time atoms grouped themselves and produced the molecules that caused all forms of life in our planet. Nanometer-scale engineering techniques for developing new components and materials are discussed with regard to their practicability in building up nanotechnology-based products as well as nanosystems that may bring forth great impact on many different realms such as electronics, chemistry, biology, physics, materials science, micromechanics, metrology, information, communication etc. Insightful thoughts about the very latest challenges and risks associated with nanotech development are also included, providing guide-lines on the effect of an upcoming world of nanosciences and nanotechnology in our lives.*

### **Os Autores**

CELSO PINTO DE MELO. Doutor em Física pela Universidade da Califórnia em Santa Barbara (USA) e pós-doutoramento em Física pelo Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT/EUA). Foi diretor do CNPq. É professor adjunto e pró-reitor para assuntos de pesquisa e extensão da Universidade Federal de Pernambuco (UFPe).

MARCOS PIMENTA. Doutor em Física pelo Centro Nacional de Pesquisa Científica (CNRS/Paris) e pós-doutoramento pelo Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT/USA). É professor titular da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).



Nanotecnologia, nanociência e nanomateriais:  
quando a distância entre presente e futuro não  
é apenas questão de tempo

---

*Oswaldo Luiz Alves*

### **NANOTECNOLOGIA: PEQUENA CRONOLOGIA**

O ser humano manifestou sempre vivo interesse pelas grandes descobertas científicas. Não poderia ser diferente, uma vez que muitos dos desenvolvimentos científicos acabaram por ter um grande impacto sobre as populações. A cada dia somos surpreendidos por um número admirável de novos acontecimentos que, não obstante o progresso gigantesco dos meios de comunicação, não há a menor possibilidade de acompanharmos a evolução das novas concepções e idéias, dada a profusão com que ocorrem e são veiculadas. Assim, uma visão histórica dos acontecimentos, identificação dos atores, avaliação das interconexões são tarefas das mais difíceis.

Neste cenário, falta-nos o distanciamento temporal, necessário e suficiente, que possibilita uma análise dos acontecimentos em maior profundidade. Muitas vezes, num primeiro momento, o que nos resta é descrevê-los e repertoriá-los para não “perdermos o passo”. Parece-nos ser bem esse o quadro em que se inserem as chamadas *novas tecnologias* e, dentre elas, a nanociência e a nanotecnologia.

Mesmo assim, vemo-nos frente ao desafio e confrontados com a necessidade de trabalharmos um grande número de dados e informações que, embora minimamente, venha permitir que chegue às pessoas uma compreensão sobre os paradigmas mais explícitos desta área do conhecimento, suas tendências, desafios e, certamente, seus impactos.

Poderíamos começar com uma pergunta: a nanotecnologia é um conhecimento totalmente novo, ou se trata de idéias que se constroem há muito tempo?

Uma resposta a essa questão aponta para o caráter sedimentar do conhecimento científico, para seu caráter cumulativo, já observado em várias outras situações. Certamente a nanotecnologia – embora não com este nome –, existia muito antes de fazer parte do atual e enorme espaço mediático. Há pelo menos 30 anos, vários grupos no mundo desenvolviam pesquisas na direção da miniaturização, sobretudo de sistemas eletrônicos, nanopartículas, sistemas nanoparticulados, etc. É importante mencionarmos que a eletrônica trazia já em seu arcabouço conceitual idéias para o tratamento do “muito pequeno”. Provavelmente o filme Viagem Fantástica (*Fantastic Voyage*), de 1966, baseado no livro de Isaac Asimov, tenha sido um dos primeiros a “revelar” tais idéias ao grande público.

Voltando à questão da eletrônica e, mais precisamente, da microeletrônica, não é difícil constatar que a mesma permitiu não só a construção do transistor, mas também de tudo o que se seguiu a ele: microprocessadores, chips e sistemas de controle, todos com base no disciplinamento do movimento dos elétrons no silício, hoje, a base dos equipamentos que processam informações. Atualmente, graças a esta tecnologia podem ser construídas estruturas com dimensões menores que 100 nanômetros (1 nanômetro =  $10^{-9}$  metros). Não obstante tal miniaturização, trata-se de dimensões ainda muito grandes, quando se considera a escala dos átomos e moléculas. Richard Feynman, em 1959, chamava a atenção para o fato de que, na dimensão atômica, trabalha-se com leis diferentes e, assim, devem ser esperados eventos diferentes: novos tipos de efeitos e novas possibilidades.

Em 1974, Norio Taniguchi cunhou o termo “nanotecnologia”, que abarcava em seu significado máquinas que tivessem níveis de tolerância inferiores a um micrão (1000 nm). Acontecimentos importantes, a nosso ver, permitiram a percepção da relevância da nanotecnologia: o trabalho de Gerd Binnig e Heinrich Rohrer, criadores do microscópio eletrônico de tunelamento (*scanning tunneling microscope*), aparelho que permitiu o imageamento de átomos individuais, em 1981; a descoberta dos fulerenos, por Robert Curl,

Harold Kroto e Richard Smalley, em 1985; a publicação do livro de Eric Drexler, *Engines of Creation*, que popularizou efetivamente a nanotecnologia. Seguiram-se a estes, o feito de Donald Eigler ao lograr escrever o nome IBM, em 1989, com átomos individuais do elemento xenônio e a descoberta dos nanotubos de carbono, feita por Sumio Iijima, no Japão, em 1991. Tais descobertas, aliadas às perspectivas que admitiam a nanotecnologia como “uma nova revolução científica”, foram os ingredientes que levaram a administração de Clinton, então presidente dos Estados Unidos, a lançar, em 2000, no California Institute of Technology, a *National Nanotechnology Initiative*, que proporcionou um volume de investimentos da ordem de US\$ 495 milhões, dando também uma visibilidade extraordinária a este campo de pesquisa fartamente explorado pela mídia. Na Tabela 1, resumizamos aquilo que poderíamos chamar de uma pequena cronologia da nanotecnologia.

**Tabela 1.** Pequena cronologia da nanotecnologia

1959	Conferência de Richard Feynman, na Reunião da Sociedade Americana de Física.
1966	Viagem Fantástica ( <i>Fantastic Voyage</i> ), filme baseado no livro de Isaac Asimov.
1974	Norio Taniguchi cunha o termo nanotecnologia.
1981	Trabalho de Gerd Binnig e Heinrich Rohrer, criadores do microscópio eletrônico de tunelamento ( <i>scanning tunneling microscope</i> ).
1985	Descoberta dos fulerenos, por Robert Curl, Harold Kroto e Richard Smalley.
1986	Publicação do livro de Eric Drexler, <i>“Engines of Creation”</i> .
1989	Donald Eigler escreve o nome IBM com átomos de xenônio individuais.
1989	Descoberta dos nanotubos de carbono, por Sumio Iijima, no Japão.
2000	Administração Clinton lança no California Institute of Technology, a <i>National Nanotechnology Initiative</i> .
2001	Cees Dekker, biofísico holandês, demonstrou que os nanotubos poderiam ser usados como transistores ou outros dispositivos eletrônicos.
2001	Equipe da IBM (EUA) constrói rede de transistores usando nanotubos, mostrando mais tarde o primeiro circuito lógico à base de nanotubos.
2002	Chad Mirkin, químico da Northwestern University (EUA), desenvolve plataforma, baseada em nanopartículas, para detecção de doenças contagiosas.

A firme disposição dos Estados Unidos de investir na área acabou por “catalisar” uma reação dos países da Comunidade Européia e do Japão, inicialmente, e, mais tarde, de outros países, levando à montagem de vários outros programas nacionais ambiciosos, baseados na aceitação de que a nanotecnologia seria da maior importância para as nações industrializadas, ou “em vias de”, dentro de um horizonte futuro próximo.

Atualmente, do ponto de vista da pesquisa e desenvolvimento (P&D), o mundo global tem investimentos reportados pelas agências governamentais da ordem de cinco vezes mais, se consideramos 1997 e 2002. No mínimo 30 países iniciaram atividades nacionais neste campo. Por outro lado, a indústria fica cada vez mais confiante com as possibilidades diferenciais desta tecnologia. Apenas para situar um pouco melhor, estima-se que em 10-15 anos a produção anual no setor de nanotecnologia deverá superar a casa de um trilhão de dólares, necessitando de cerca de 2 milhões de empregados (1).

Os investimentos em P&D, apresentados na Tabela 2, permitem que se tenha uma idéia de valores, considerando-se também os atores principais.

**Tabela 2.** Investimentos governamentais de P&D em nanotecnologia, 2000-2003. (Em milhões de dólares/ano.) (2)

<b>Região</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>
Europa	200	~ 225	~ 400	~ 600
Japão	245	~ 465	~ 700	~ 810
Estados Unidos	270	422	697	774
Outros	110	~ 380	~ 550	~ 800
<b>Total</b>	<b>825</b>	<b>1 492</b>	<b>2 347</b>	<b>2 984</b>
% de 1997	191%	346%	502%	690%

Como pode ser observado, o Japão é o país que mais investe em P&D em nanotecnologia, tendência que deve também se verificar no ano fiscal de 2004.

Alguns autores têm sublinhado que se, por um lado, o crescimento da nanotecnologia se dá num ambiente onde as interações internacionais aceleram a ciência, a formação e as atividades de P&D, por outro, a competitividade industrial se dá em níveis nacionais e de consórcios industriais (2).

## **A QUESTÃO DO TAMANHO E A DEFINIÇÃO DE NANOTECNOLOGIA E NANOCIÊNCIA**

Na seção anterior, quando falamos do tamanho dos circuitos eletrônicos, mencionamos o fato de que a escala dos átomos e moléculas era ainda muito menor. Qual, realmente, o significado disso? O nanômetro (abreviado nm) é a bilionésima parte do metro, ou seja:  $10^{-9}$  do metro, ou seja: o número  $1/1.000.000.000$ , ou, ainda:  $0,000\ 000\ 001$  m, ou ainda que o nanômetro é nove ordens de grandeza menor que o metro.

Para se ter uma idéia destas grandezas, ou melhor – o senso da nanoescala –, vejamos alguns exemplos (3):

- um fio de cabelo humano tem cerca de 50.000 nanômetros;
- a célula de uma bactéria tem cerca de algumas centenas de nanômetros;
- os chips comercializados em 2004 têm padrões menores que 100 nanômetros;
- as menores coisas observáveis a olho nu têm cerca de 10.000 nm;
- 10 átomos de hidrogênio, alinhados, perfazem 1 nanômetro.

Partindo destas definições e das percepções comparativas das grandezas, podemos definir nanociência como sendo “a área do conhecimento que estuda os princípios fundamentais de moléculas e estruturas, nas quais pelo menos uma das dimensões está compreendida entre cerca de 1 e 100 nanômetros”. Estas estruturas são conhecidas como nanoestruturas. Por vez, nanotecnologia “seria a aplicação destas nanoestruturas em dispositivos nanoescalares utilizáveis”. Para Ratner, é importante ter-se em mente que “nanoescala não implica apenas uma questão de ser pequeno, trata-se, sim, de um tipo especial de pequeno” (4). Tal consideração é importante na medida em que nos leva ao entendimento de que existem propriedades fundamentais, químicas e físicas, dos materiais, que dependem do tamanho, ou, numa linguagem mais livre, que mantêm uma “cumplicidade” com ele, cumplicidade essa que se constitui na chave de toda a nanociência.

Um exemplo emblemático que ilustra sobretudo tal situação é o do vidro denominado *ruby gold glass* (5).

Pequenas partículas metálicas, dispersas no vidro, absorvem a luz e, desta maneira, podem apresentar cores vivas. Tal vidro é conhecido desde o século XVII (o que mostra que a nanotecnologia não é tão jovem!), sendo que o efeito ocasionado pela presença de partículas finamente divididas, em 1857, já fora reconhecido por Faraday (6). O tamanho das partículas de ouro (que, agora sabemos, são nanopartículas) influencia a absorção da luz. Partículas maiores que 20 nm de diâmetro deslocam a banda de absorção para comprimentos de onda maiores que 530 nm, ao passo que partículas menores geram um efeito contrário, ou seja: deslocam a absorção para menores comprimentos de onda. Assim, graças ao tamanho, é possível ter partículas com diferentes cores (laranja, púrpura, vermelho ou verdes), desde que seja capaz de controlar a distribuição do seu tamanho. A cor característica do vidro *ruby* é a vermelha, que corresponde a uma absorção de comprimento de onda por volta de 530 nm, logo com partículas da ordem de 20 nm. Neste exemplo fica evidente a questão das propriedades dependentes de tamanho, as quais, já assumindo o jargão da nanotecnologia, denominamos nanopartículas, pontos quânticos (*quantum dots*) ou nanopontos (*nanodots*) e o efeito, chamamos de efeito quântico de tamanho (*quantum size effect*). Na Figura 1, é apresentada a famosa peça romana, Taça de Licurgo, confeccionada com vidro *ruby* e bronze.



**Figura 1.** Taça de Licurgo: uma das mais famosas antiguidades romanas, data do século IV d.C. Fabricada com vidro contendo nanopartículas de ouro (7), pelos “velhos nanotecnologistas”. As partes escuras correspondem ao bronze e as claras onde se encontra o vidro *ruby*.

Uma definição que combina e enfatiza os dois aspectos abordados – tamanho e sua relação com a propriedade – foi dada por Roco, da National Science Foundation (NSF), em 2001, e tem sido reiteradamente apresentada em palestras e conferências que tratam da nano(ciência e tecnologia). Pode ser assim enunciada:

*O nanômetro (um bilionésimo do metro) é um ponto mágico na escala dimensional. As nanoestruturas são a confluência do menor dispositivo feito pelo homem e a maior molécula das coisas vivas. A ciência e a engenharia da nanoescala referem-se aqui ao entendimento básico e aos resultados dos avanços tecnológicos, oriundos da exploração das novas propriedades físicas, químicas e biológicas dos sistemas que apresentam tamanho intermediário entre os átomos isolados, moléculas e materiais estendidos (bulk), no qual (tamanho) as propriedades de transição entre estes dois limites podem ser controladas.*

O “tipo especial de ser pequeno” é, portanto, no contexto da nanotecnologia, um paradigma da maior importância, na medida em que nem tudo que tem dimensões nanométricas é, necessariamente, nanotecnológico.

### **3. CONCEPÇÕES E FERRAMENTAS PARA A NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA: NA DIREÇÃO DOS NANOMATERIAIS**

Não obstante à vastidão do campo da nanotecnologia e nanociência, somada à questão das propriedades dependentes de tamanho, anteriormente discutida, há um certo consenso de que sua abordagem tem dois braços claramente identificados. O primeiro é o “de cima para baixo” (do inglês *top-down*), que diz respeito à fabricação de estruturas em nanoescala, fazendo-se uso de técnicas de *etching* ou feitas à máquina, enquanto que o “de baixo para cima” (*bottom-up*), às vezes chamado de “nanotecnologia molecular”, aplica-se à criação de estruturas orgânicas, inorgânicas e, mesmo híbridas, átomo por átomo, molécula por molécula.

Na primeira abordagem, fica clara a influência do substrato teórico e experimental que vem da microeletrônica, da engenharia e da física, por exemplo. No segundo caso, grande parte do arcabouço vem do terreno da química e biologia, de onde emergem diferentes estratégias para tratar a complexidade, controlar a auto-organização e os efeitos supramoleculares. Tais colocações, por si só, fazem emergir a natureza interdisciplinar,

colocando-nos, desde o primeiro momento, frente a uma característica cada vez mais presente nas chamadas novas tecnologias que, de resto, vale para a nanotecnologia, qual seja: a necessidade da concorrência de diversas *expertises* e de sistemas cooperativos de facilidades laboratoriais e instrumentais.

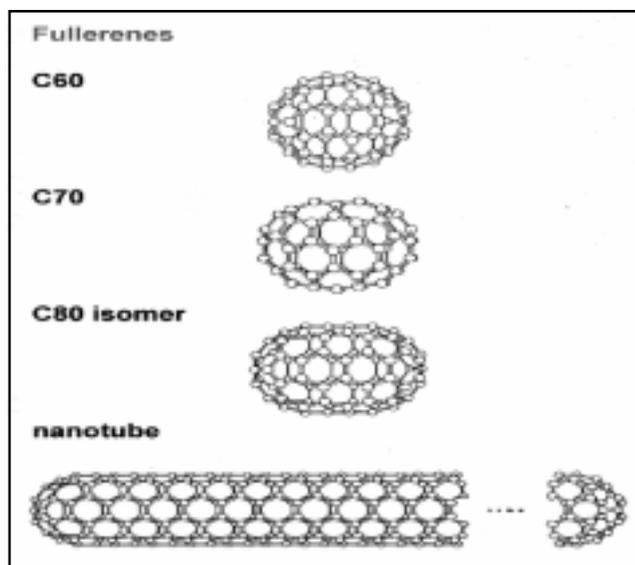
Parece-nos oportuno fazer ainda um comentário adicional sobre a questão da construção, átomo-por-átomo, o que implica dominar as técnicas de manipulação. Este capítulo da nanotecnologia, certamente, por si só, já se constitui num enorme desafio. Como resultado deste desenvolvimento se esperaria, por exemplo, uma nova forma de sintetizar compostos (e mesmo suas nanoestruturas) que tem sido denominada “Mecanosíntese”. Comparada com a síntese em fase-solução, ela seria realizada sem o concurso dos fenômenos de difusão, pois os átomos seriam transportados para posições precisas, mecanicamente e no vácuo (8). Apesar de se constituir num modo absolutamente atraente de se vir a fazer moléculas e agregados de moléculas, como já mencionamos, os desafios são enormes, uma vez que, qualquer produto, para ser usado no dia-a-dia, necessita de miligramas, gramas e, mesmo exagerando, quilos. Forçosamente, temos que passar pelo número de Avogadro (número de átomos ou moléculas em um mol de substância; com o valor de  $6,022 \times 10^{23}$ ), o que torna o desafio ainda maior!

É bem verdade que, de modo geral, o que tem sido observado na literatura corrente sobre a obtenção de nanoestruturas e materiais nanoestruturados é o uso, mais e mais crescente, dos chamados “métodos químicos”, sobretudo daqueles que tiram partido dos fenômenos de auto-organização e automontagem (9, 10).

O domínio e aplicação destes fundamentos têm permitido um avanço simplesmente fantástico no que diz respeito à síntese de novos materiais, diretamente embricados com as concepções aqui colocadas, com as mais diferentes morfologias: nanopartículas, nanotubos, nanofios, nanofitas, nanobastões, nano-X. Ficando apenas em dois exemplos verdadeiramente emblemáticos, citamos o fulereno e os nanotubos (ilustrados na Figura 2), que se constituem na terceira e quarta novas formas do carbono. Já existe a quinta: as chamadas nanoesponjas (11).

São muitas as ferramentas necessárias para o desenvolvimento da nanociência e da nanotecnologia. No caso da primeira, do ponto de vista

laboratorial, além das facilidades normais de um laboratório de pesquisa de materiais (fornos, capelas de alta sucção, sistemas de vácuo, vidraria especial, câmaras secas etc), uma facilidade importante é a “sala limpa”. No que diz respeito aos instrumentos, além dos convencionais (espectrômetros para diferentes regiões espectrais, técnicas de difração como as térmicas, elétricas e de superfícies etc) o quadro se completa com as indispensáveis novas gerações de microscópios de alta resolução (transmissão, varredura, força-atômica, tunelamento) e as espectroscopias/microscopias ópticas confocais, que utilizam métodos fluorescentes e de ótica não-linear. Com relação a estas últimas, por se tratarem de técnicas desenvolvidas muito recentemente, para detalhes, consulte a referência (14).



**Figura 2.** Diferentes tipos de fulerenos ( $C_{60}$ ,  $C_{70}$  e o isômero  $C_{80}$ ) e nanotubo (12,13).

Quando migramos para o contexto industrial – além da utilização *in loco* e/ou compartilhada das facilidades mencionadas –, depara-se com necessidades intrínsecas do ambiente industrial, tais como: máquinas e instrumentação para fabricação, montagem, teste e controle de qualidade.

Finalmente, falando ainda das ferramentas, vale mencionar o importante papel dos poderosos computadores que hoje não só permitem a modelagem e o *design* de novos materiais, como também a simulação de suas propriedades.

## EM PRINCÍPIO, O QUE É PRECISO SABER?

No que diz respeito aos conhecimentos necessários para se trabalhar com nanociência e nanotecnologia, certamente várias pistas já foram apresentadas para o caso do enfoque de nanomateriais. Contudo, um escopo mais abrangente pode ser apresentado (15):

- conhecimentos de química e física do estado sólido (dependência das propriedades com o tamanho, (dependência das propriedades com o tamanho) estruturas cristalinas, vibrações de rede);
- bandas de energia (isolantes, semicondutores e condutores, energia das ligações, superfícies de Fermi);
- partículas localizadas (doadores e receptores, *traps*);
- métodos e propriedades de medidas (estrutura atômica, cristalografia, determinação de tamanho de partícula, estrutura das superfícies);
- microscopia (microscopia eletrônica de transmissão, microscopia eletrônica de varredura, microscopias de força-atômica e tunelamento);
- espectroscopia (infravermelho e Raman, fotoemissão e espectroscopia de raios-X, ressonância magnética);
- propriedades de nanopartículas individuais (*nanoclusters* metálicos, nanopartículas semicondutoras, métodos de síntese – plasma, métodos químicos, termólise e ablação laser);
- estruturas do carbono (moléculas de carbono, *clusters* de carbono, nanotubos de carbono, aplicações de nanotubos);
- materiais nanoestruturados (nanoestruturas sólidas desordenadas, cristais desordenados);
- materiais magnéticos nanoestruturados (magneto-resistência gigante e colossal, ferroflúidos);
- espectroscopia óptica e vibracional (região do infravermelho, luminescência, nanoestrutura em cavidades zeolíticas);
- poços, fios e pontos quânticos (preparação de nanoestruturas quânticas, efeitos de tamanho e dimensionalidade, excitons, tunelamento, aplicações, supercondutividade);

- automontagem (processos, monocamadas);
- catálise (superfície e área de nanopartículas, materiais porosos, argilas pilarizadas, colóides);
- compostos orgânicos e polímeros (formação e caracterização de polímeros, nanocristais, polímeros condutores, blendas, estruturas supramoleculares – moléculas dendríticas, dendrímeros supramoleculares, micelas).

Caso a vertente esteja dirigida para materiais biológicos, destacamos:

- “blocos de construção” biológicos (tamanhos dos blocos e nanoestruturas, nanofios de peptídeos e nanopartículas de proteínas);
- ácidos nucleicos (nanofios de DNA, código genético, síntese de proteínas),
- nanoestruturas biológicas (proteínas, micelas e vesículas, filmes multicamadas),

e, para o caso de nanodispositivos:

- sistemas microeletromecânicos (MEMs);
- sistemas nanoeletromecânicos (NEMs) (fabricação, e nanodispositivos),
- chaveamento molecular e supramolecular.

Muitos dos pontos tratados nesta lista-tentativa estão na intersecção entre química, física, biologia e engenharia, o que, uma vez mais, reforça o carácter altamente interdisciplinar da nanociência e da nanotecnologia.

### **À PROCURA DAS TENDÊNCIAS: O QUE SE ESTÁ ESTUDANDO, E PRECISANDO...**

No início deste texto, chamamos atenção para a questão da dificuldade que traz, aos pesquisadores e interessados, a enorme quantidade de trabalhos que são realizados sob o olhar da nanociência e da nanotecnologia. As preliminares de um estudo de prospecção, para vários países, que está sendo realizado pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), considerando cerca de 25 palavras-chave, apontam para um número de cerca de 130 mil artigos científicos, a partir de 1994 (16).

Sendo assim, muitos dos aspectos que aqui serão colocados têm por base a análise de tendências avaliadas, levantadas por meio de diferentes documentos disponíveis (17, 18) e de contato com a literatura científica

necessária à atuação na área. Fique claro que o exercício de se elaborar uma lista-tentativa de saberes, apresentada no item anterior, passou também por análise semelhante.

De um ponto de vista geral, considerando-se que os materiais são fundamentais para a grande maioria das aplicações da nanotecnologia, fica evidente a necessidade de matérias-primas (materiais de partida), tais como óxidos, semicondutores e especialidades químicas orgânicas e inorgânicas. Alguns exemplos são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Tendências e comentários sobre os materiais em nanociência e nanotecnologia

<b>Tendência</b>	<b>Comentário</b>
Nanopartículas	A produção controlada de partículas na faixa de 1-100 nm é crucial; seu manuseio certamente é um problema-chave.
Estruturas quânticas	A pureza dos materiais é fundamental para a obtenção destas estruturas e também a realização de pesquisas na direção das metodologias de produção.
Filmes finos multicamadas	As necessidades passam pela presença de salas e ambientes “limpos”, uma vez que as impurezas e defeitos comprometem a performance dos filmes. Materiais de alta pureza serão necessários para fontes de <i>sputtering</i> e uso em métodos de deposição química (CVD).
Dispositivos nanomecânicos	Materiais com integridade física, que permitam a produção de dispositivos, serão de grande importância, dado que serão submetidos a tensões e esforços mecânicos.
Materiais “nanoprobes”	Materiais necessários para a produção de pontas-de-prova para microscópios de imageamento com varredura, uma das ferramentas fundamentais da nanotecnologia. Necessidade de materiais que sejam quimicamente inertes e fisicamente estáveis, a ponto de poderem ser usados como pontas-de-prova atômicas.
Biosensores e transdutores	Capacidade de síntese de especialidades químicas orgânicas ultrapuras, contendo grupos terminais para uma aplicação determinada, e capazes de ligar-se, de modo reprodutível, a superfícies de semicondutores e óxidos.

Finalizando, e sem a pretensão de sermos exaustivos, não poderíamos deixar de considerar neste texto algumas áreas e aplicações perspectivadas para a nanotecnologia. Valemo-nos para isto de informações veiculadas na referência (19).

• **Indústria automotiva e aeronáutica:** materiais mais leves, reforçados por nanopartículas; pneus que durem muito mais tempo e que sejam recicláveis; tintas que não sofram os efeitos da salinidade marinha; plásticos não-inflamáveis e mais baratos, tecidos e materiais de recobrimento com poder de auto-reparação.

• **Indústria eletrônica e de comunicação:** registro de dados por meio de meios que utilizem nanocamadas e pontos quânticos (*quantum-dots*); telas planas; tecnologias sem-fio; novos aparelhos e processos dentro de todos os aspectos das tecnologias de informação e comunicação; aumento das velocidades de tratamento de dados e das capacidades de armazenamento, que sejam ao mesmo tempo menos caras que as atuais.

• **Indústria química e de materiais:** catalisadores que aumentem a eficiência energética das plantas de transformação química e que aumentem a eficiência da combustão dos veículos motores (diminuindo assim a poluição); ferramentas de corte extremamente duras e resistentes, fluidos magnéticos inteligentes para uso como lubrificantes; nanocompósitos que combinam propriedades de materiais díspares, tais como, polímeros e argilas.

• **Indústria farmacêutica, biotecnológica e biomédica:** novos medicamentos baseados em nanoestruturas, sistemas de difusão de medicamentos que atinjam pontos específicos no corpo humano; materiais de substituição (próteses) biocompatíveis com órgãos e fluidos humanos; kits de autodiagnóstico que possam ser utilizados em casa; sensores laboratoriais construídos sobre chips; materiais para a regeneração de ossos e tecidos.

• **Setor de instrumentação:** engenharia de precisão, visando à produção de novas gerações de microscópios e de instrumentação para medida, para novos processos e desenvolvimento de novas ferramentas para manipular a matéria em nível atômico; incorporação de nanopós, com propriedades especiais em materiais a granel, tais como os sensores que detectam e corrigem fraturas

iminentes; automontagem de estruturas a partir de moléculas; materiais inspirados pela biologia, bioestruturas.

- **Setor de energia:** novos tipos de baterias; fotossíntese artificial que permita a produção de energia de modo ecológico; armazenagem segura de hidrogênio para utilização como combustível limpo; economia de energia, resultante da utilização de materiais mais leves e de circuitos cada vez menores.

- **Exploração espacial:** construção de veículos espaciais mais leves.

- **Meio ambiente:** membranas seletivas que possam filtrar contaminantes ou ainda eliminar o sal da água; dispositivos nanoestruturados, capazes de retirar os poluentes dos efluentes industriais; caracterização dos efeitos das nanoestruturas sobre o meio ambiente; redução significativa na utilização de materiais e energia; redução das fontes de poluição; novas possibilidades para a reciclagem.

- **Defesa:** detectores e remediadores de agentes químicos e biológicos; circuitos eletrônicos cada vez mais eficientes; materiais e recobrimentos nanoestruturados muito mais resistentes; tecidos mais leves e com propriedades de auto-reparação; novos substituintes para o sangue; sistemas de segurança miniaturizados.

Não obstante este vasto “menu de idéias”, estas, e seguramente outras diferentes escolhas possíveis estão ligadas a imperativos econômicos e vantagens diferenciais e competitivas, fazendo, cada vez mais, parte das estratégias e dos objetivos nacionais permanentes de países e blocos. Muitas realizações estão em curso. Um significativo inventário delas a partir de 2001 pode ser consultado na referência (20).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Não há a menor dúvida de que a nanociência e a nanotecnologia estão prenunciando e promovendo a emergência de uma nova revolução no conhecimento e na maneira como moléculas e estruturas são fabricadas. Isto certamente levará a importantes rupturas tecnológicas e implicações sociais. Algumas vezes, em países industrializados, centrando o foco das discussões

exclusivamente sobre os riscos da nanotecnologia, podem indiretamente estar contribuindo para diminuir as oportunidades desta tecnologia para os países em desenvolvimento. Como contraponto – também em países industrializados –, outros há que têm advogado a favor da nanotecnologia, afirmando que a mesma “oferece uma gama de benefícios para os países em desenvolvimento”, especialmente na área da saúde e do meio ambiente (21). O importante nestas considerações é que o debate envolvendo nanotecnologia e desenvolvimento está aberto e, à medida que os países em desenvolvimento forem organizando seus programas, e, sobretudo, obtendo resultados palpáveis, a temperatura destas questões tende a subir, certamente.

Por fim, esperamos que com este texto tenhamos dado um panorama geral, uma contribuição inicial para o conhecimento dessa fascinante área da ciência e das novas tecnologias.

#### REFERÊNCIAS E NOTAS

1 ROCO, M. C.; BAINBRIDGE, W. (Ed.). *Societal implications of nanoscience and nanotechnology*. [S. l.] : National Science Foundation, 2001. Disponível em: <<http://www.researchandmarkets.com/reports/37902/>>.

2 \_\_\_\_\_. Broader societal issues of nanotechnology. *Journal of Nanoparticle Research*, v. 5, n. 181, 2003.

3 *Outros*, inclui: Austrália, Canadá, China, Europa do Leste, Israel, Coreia, Singapura, Taiwan e demais países com programas de C&T, em Nanotecnologia.

4 RATNER, M.; RATNER, D. *Nanotechnology*. Prentice Hall : Upper Saddle River, New Jersey, 2003.

5 Disponível em: <<http://www.glass-time.com/Encyclopedia/goldrubyglass.htm>>.

6 FARADAY, M. *Philosophical Magazine*, v. 14, p. 401-512, 1857.

7 Disponível em: <<http://www.thebritishmuseum.ac.uk/science/text/lycurgus/sr-lycurgus-p1-t.html>>.

8 DREXLER, K. E. *Nanosystems*. New York : John Wiley, 1992.

9 HALL, Nina. (Org.). *Neoquímica*. Tradução de P. S. Santos; O. L. Alves; C. Pasquini; G. C. Azzellini. Porto Alegre : Bookman, 2004.

10 Segundo Lehn, J-M. e Ball, P., apresentada na ref. 9 (Cap.12), **Auto-organização** é ordenamento espontâneo de unidades moleculares ou supramoleculares numa estrutura não-covalente de maior ordem, caracterizada por algum grau de ordem temporal e/ou espacial ou, ainda, *design* – por meio de correlações entre regiões distantes. Um sistema auto-organizado pode estar no equilíbrio ou no estado dinâmico caracterizado por diversas configurações estáveis, apresentando comportamento coletivo (e em geral não-linear). Tal definição não exclui (e não precisa excluir) a cristalização e outros fenômenos de ordenamento relacionados, tais como o comportamento líquido-cristalino. **Automontagem**, por sua vez, é a associação espontânea de diversos (mais do que dois) componentes moleculares para formar um agregado discreto, não covalentemente ligado e com uma estrutura bem-definida. Isso irá envolver, geralmente, mais do que um passo cineticamente distinto. A automontagem envolve processos de reconhecimento molecular – eventos de ligação, mas não mera ligação. Mais do que isso podemos dizer que o reconhecimento é a ligação com uma finalidade.

11 Disponível em: <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/em\\_pauta/em\\_pauta\\_novidades\\_386.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/em_pauta/em_pauta_novidades_386.html)>.

12 Disponível em: < [http://online.itp.ucsb.edu/online/qhall\\_c98/dekker/oh/04.html](http://online.itp.ucsb.edu/online/qhall_c98/dekker/oh/04.html)>.

13 O **C<sub>60</sub>** é primariamente constituído de hexágonos e heptágonos, cujas arestas são formadas por ligações carbono-carbono. É composto de hexágonos e pentágonos, da mesma forma que as faces de uma bola de futebol. Os **nanotubos** receberam este nome pelo fato de aparentarem terem sido formados através de uma rede perfeita de grafite hexagonal, enrolada sobre si mesma para formar um tubo oco. Com apenas alguns nanômetros de diâmetro, a relação comprimento/largura é extremamente alta. Maiores detalhes veja em: Saito, R., Dresselhaus, G. and Dresselhaus, M. S., *Physical Properties of Carbon Nanotubes*, Imperial College Press, London (2001) e Taylor, R., *Lecture Notes on Fullerene Chemistry*, Imperial College Press, London 1999.

14 O Instituto do Milênio de Materiais Complexos, sediado no Instituto de

Química da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) realizou, em abril de 2004, Colóquio que tratou deste assunto. Para assistir a este Colóquio, acesse <http://www.cameraweb.unicamp.br/acervo/acervo.html> e identifique o arquivo pelo título “*Quantum Dots para Dispositivos Ópticos e Microscopias Ópticas Confocais não Lineares*”.

15 A presente lista foi elaborada tendo por base: i) a experiência pessoal, decorrente de atividades de pesquisa realizadas na área; ii) as extensas discussões com vários pesquisadores brasileiros e estrangeiros e, iii) o forte envolvimento com a literatura internacional e com as tendências da pesquisa. Nem por isso deixa de ser uma lista menos arbitrária. Sua intenção é ser um ponto de partida. Grande parte destes tópicos é tratada no livro: *Introduction to Nanotechnology*, de Poole Jr., C. P e Owens, F. J., editado pela Wiley & Sons, Hoboken, no final de 2003.

16 O trabalho de Prospecção da Nanotecnologia no Mundo está sendo feito sob a coordenação do autor deste texto.

17 MATERIALS panel. Disponível em: <<http://www.foresight.gov.uk>>.

18 OPPORTUNITIES for industry in the application of nanotechnology. Disponível em: <<http://www.foresight.gov.uk>>.

19 Disponível em: <<http://www.ostp.gov/NSTC/html/iwgn/IWGN.Research.Directions/toc.htm>>.

20 Disponível em: <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/em\\_pauta/em\\_foco\\_nanotecnologia.html#](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/em_pauta/em_foco_nanotecnologia.html#)>

21 Disponível em: <<http://www.telegraph.co.uk/connected/main.jhtml?xml=/connected/2003/06/05/ecnsano05.xml>>; <<http://www.etcgroup.org/documents/TheBigDown.pdf>>.

## Resumo

O presente artigo trata da nanociência e da nanotecnologia em seu senso largo. Mostra uma pequena cronologia da área, ressaltando, segundo opinião do autor, as principais contribuições e implicações. Apresenta, ainda, dados dos investimentos globais feitos na área, abarcando o período 2000-2003. A definição de nanotecnologia é comentada, sobretudo visando ao entendimento das relações entre propriedades e tamanho nanométrico, fazendo-se valer, como exemplo, do vidro ruby. Procurou-se apresentar quais as ferramentas conceituais e o arcabouço teórico-experimental para se trabalhar na área, o que leva a um “menu” de possíveis aplicações. Um comentário final sobre as relações entre nanotecnologia e desenvolvimento sugere a emergência da discussão desta temática.

## Abstract

*This article provides an overview of nanoscience and nanotechnology as well as an outline of its possible applications. It highlights some milestones of both fields, taking into account the author's opinion on their relevance, implications and impact of nanotechnology on our way of life. World Government investments in nanotech for the period 2000-2003 are presented. Arguments on nanotechnology's definition are based on understanding the relationship between properties and nanometric size, pointing out the “gold ruby glass” as an example that illustrates these concepts. There are comments on conceptual tools and the necessary theoretical-experimental backgrounds as prerequisites to work in these fields of knowledge. A final comment on the relationship between nanotechnology and development suggests the need of further discussion on this matter.*

## O Autor

OSWALDO LUIZ ALVES. Doutor em Química pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Pós-doutoramento no Laboratoire de Spectrochimie Infrarouge et Raman (CNRS/França). Professor titular de Química, no Instituto de Química da Unicamp, foi o fundador e coordenador científico do Laboratório de Química do Estado Sólido (LQES). Seu interesse está centrado em Química de Sólidos e Materiais, trabalhando com vidros especiais, filmes finos, vitrocerâmicas porosas, *quantum-dots*, nanopartículas metálicas, nanotubos de carbono e inorgânicos. Possui mais de 120 trabalhos publicados e 12 patentes depositadas. É vice-coordenador do Instituto do Milênio de Materiais Complexos (IMMC). Em 2001, tornou-se membro titular da Academia Brasileira de Ciências e, em 2002, foi agraciado com a Comenda da Ordem Nacional do Mérito Científico.

# Nanocompósitos poliméricos e nanofármacos: fatos, oportunidades e estratégias

---

*Fernando Galembeck  
Márcia Maria Rippel*

## **INTRODUÇÃO**

O aproveitamento das oportunidades abertas por qualquer nova tecnologia exige criatividade e realismo: é necessário considerar detalhadamente a informação científica já disponível bem como as perspectivas de geração de novos conhecimentos e as demandas de mercado, sejam as já existentes, sejam as que possam ser criadas. Além disso, é preciso considerar a situação da propriedade intelectual e a existência de atores capacitados para todas as atividades previstas.

Hoje, um número muito grande e sempre crescente de pesquisadores e de empresários está atento à nanotecnologia em todo o mundo. Está claro para muitas pessoas que esta não é simplesmente uma nova tecnologia nem será a base de uma indústria específica,<sup>1</sup> mas sim é um conjunto de conceitos, conhecimentos e de ferramentas experimentais que permite um novo nível de domínio da matéria nas condições ambientes, criando novas estruturas organizadas a partir da escala molecular, dotadas de propriedades microscópicas e macroscópicas que as tornem capazes de desempenharem funções necessárias à melhoria da qualidade de vida humana. Em alguns casos, tais funções são hoje desempenhadas por substâncias químicas, materiais ou dispositivos já existentes, mas que apresentam limitações de desempenho. Em outros casos, talvez os mais interessantes, as funções serão totalmente novas.

---

<sup>1</sup> Segundo Tim E. Harper, CEO da empresa Científica: “*nanotechnology is not, and it will never be, an industry. It is a technology and no more an industry than physics or chemistry*”, citado em Chemical and Engineering News 82 (15), 2004, 17.

Essas características fazem com que a nanotecnologia seja “pervasiva”: é muito provável que em poucos anos ela esteja presente em produtos e processos de qualquer setor das indústrias de transformação bem como em muitas etapas de cadeias produtivas do agronegócio, e nos setores mineral e de serviços. Esta é uma avaliação positiva, mas que não repete os infinitos exageros e erros que têm sido veiculados na mídia, sobre a nanotecnologia.<sup>2</sup>

Uma política sadia de desenvolvimento científico e tecnológico deve explicitar quais são as suas metas, seja quanto aos recursos humanos formados ou os resultados científicos e tecnológicos obtidos, seja quanto ao impacto sobre a economia. No caso presente, da nanotecnologia dentro de uma perspectiva brasileira, é necessário considerar possibilidades e oportunidades, optando por estabelecer metas ambiciosas mas viáveis que se transformem em resultados importantes e que contribuam para a economia e para a qualidade de vida da população. Nesse sentido, a nanotecnologia pode ser um novo grande momento de mudança de perfil da atividade científica e tecnológica no Brasil, reduzindo a separação ainda existente entre as atividades acadêmicas e as atividades econômicas.

Este trabalho discute dois tópicos da nanotecnologia, escolhidos por representarem oportunidades concretas e possibilidades reais de desenvolvimento no Brasil: os nanocompósitos poliméricos e os nanofármacos. O texto fornece informações sobre o estado atual da pesquisa no Brasil e no exterior, demandas, possibilidades de novas descobertas, de desenvolvimento e exploração destas descobertas e de impacto sobre o setor produtivo.

---

<sup>2</sup> É muito interessante conhecer o testemunho de R. Stanley Williams, HP Fellow, Hewlett-Packard Laboratories, representando a Hewlett-Packard Co. perante o *U.S. Senate Subcommittee on Science, Technology and Space*, em 17 de setembro de 2002. Alguns excertos desse depoimento estão reproduzidos a seguir: “*Few words have generated as much hype and controversy over the past few years as nanotechnology. On the one hand, some enthusiasts have established a quasi-religion based on the belief that nanotechnology will generate infinite wealth and life spans for all humans. On the other, alarmists fear that nanotechnology will somehow end life as we know it, either by poisoning the environment or releasing some type of self-replicating nanobot that conquers the earth. Neither scenario is realistic, and both have been propagated by people who are good communicators but actually have no relevant scientific experience in the nanosciences. . . .*” “*From these examples, we can see that nanotechnology has the potential to greatly improve the properties of nearly everything that humans currently make, and will lead to the creation of new medicines, materials and devices that will substantially improve the health, wealth and security of American and global citizens.*”

(Extraído do *website* da revista *Mechanical Engineering*, 19 de março de 2003).

## NANOCOMPÓSITOS POLIMÉRICOS

Nanocompósitos<sup>3</sup> poliméricos são materiais formados pela combinação e mistura íntima de um plástico ou borracha e um material disperso na forma de partículas que tenham pelo menos uma de suas dimensões na ordem de grandeza de nanômetros. O número de possibilidades de formação de nanocompósitos é ilimitado mas os *papers* e as patentes sobre este assunto se referem, em uma grande parte, a dois grupos: em ambos, uma das fases é formada por um elastômero ou termoplástico. No primeiro grupo, a outra fase é formada por argilas esfoliadas e, no segundo, ela é formada por nanotubos ou nanofibras. Compósitos que já estão sendo produzidos industrialmente mostram propriedades que não são apresentadas por qualquer outro material e apresentam características muito peculiares. São especialmente notáveis as combinações de propriedades obtidas,<sup>4</sup> que permitem que os

**Tabela 1.** Números de artigos registrados no *Web of Science*, recuperados pela utilização de diferentes palavras-chaves

<b>Palavras-chaves</b>	<b>1990</b>	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2003</b>
<i>Nanocomposites</i>	5	96	420	1271
<b><i>Polymer and nanocomposites</i></b>	0	19	136	487
<i>Nanocomposites and clay</i>	0	5	75	389
<i>Clay and polymer and nanocomposites</i>	0	3	40	218
<i>Nanohybrids</i>	0	0	7	17

<sup>3</sup> Do testemunho de R. Stanley Williams, já citado na Ref. 2: “During the past couple of years, a significant number of new nanocomposite materials have come into the market place. These materials are engineered to combine properties that natural materials have never displayed, such as hardness and toughness. Naturally hard materials such as diamond shatter easily, whereas naturally tough materials like wood are easy to scratch or dent. However, by mixing hard and tough materials at the nanoscale, new composite materials can be made with levels of the two properties never seen before. In the past year, General Motors has introduced a polymer-clay nanocomposite material that is used for a dealer installed optional running board on their SUVs and pickup trucks. This material is not only harder and tougher, but it is also lighter and more easily recycled than other reinforced plastics, and GM plans to utilize it in more and more components of their vehicles as economies of scale make it cheaper. In this one example, we see that a nanotechnology can help the fuel economy, the safety, the maintenance cost, and the ecological impact of our transportation system. In the future, nanocomposites will become increasingly sophisticated and truly smart, with the ability to adapt to new environments and even to self-repair.”

<sup>4</sup> Um exemplo que está se tornando bem conhecido é o de bolas de golfe fabricadas com nanocompósitos de borracha e argila desenvolvidos pela empresa InMat. Elas reúnem duas propriedades essenciais: não dissipam energia nas colisões e mantêm-se com uma pressão interna elevada. Isto é

nanocompósitos já estejam presentes em produtos dirigidos para mercados muito exigentes e crescentes, especialmente em países desenvolvidos.

## PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS

A intensidade da atividade científica nesta área é bem representada pelo número de artigos científicos publicados. A Tabela 1 apresenta números de artigos publicados nos últimos anos, em todo o mundo, recuperados quando se introduzem algumas palavras-chaves.

## PATENTES

O crescimento do número de patentes de nanotecnologia também tem sido rápido e consistente. A Tabela 2 mostra os números de patentes depositadas e requerimentos de depósito, recuperados do site <https://www.delphion.com/fcgi-bin/patsearch>, que reúne informações das principais agências governamentais de propriedade intelectual do mundo, incluindo

**Tabela 2.** Número de patentes sobre “nanocompósitos e argilas”, concedidas e requeridas em 1997-2004, de acordo com o site Thompson Delphion™

<b>Palavras-chaves: <i>nanocomposites and clays</i></b>	<b>1997-2004</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>
USPTO (concedidas)	128	30	31	11
USPTO (requeridas) <sup>A</sup>	49	19	22	6
Esp@cenet (concedidas)	2	0	2	0
Esp@cenet (requeridas) <sup>A</sup>	27	2	7	1
Alemanha (concedidas)	1	0	1	0
Alemanha (requeridas) <sup>A</sup>	0	0	0	0
Japão	10	1	7	0
Wipo	75	25	9	4
Total	292	77	79	22

USPTO: United States Patent & Trademark Office; Esp@cenet: European Patent Office; WIPO: World Intellectual Property Organisation. <sup>A</sup>Patente requerida ainda não concedida.

devido a uma combinação de duas propriedades físico-químicas: a parte imaginária do módulo (que mede a dissipação viscosa) é pequena e a permeabilidade a gases também é muito pequena. As duas propriedades decorrem da existência de uma estrutura peculiar: lâminas de argila, de dimensões nanométricas, estão dispersas (esfoliadas) na borracha.

Estados Unidos, Europa (inclusive Alemanha), Japão e mais 70 países listados no Wipo PCT Publications.

As empresas que mais depositaram ou solicitaram registro de patente reivindicando nanocompósitos de polímeros e argilas são: Amcol International, Eastman Chemical, Eastman Kodak, Equistar Chemicals, Exxonmobil, Dow Chemical, Rheox, Southern Clays, Goodyear Tire & Rubber, General Motors, Michelin, Basell Technology. Outras companhias com números menores de patentes nesta área são a Rohm and Haas, Raychem, Exxon Research and Engineering, ClayTech, Ciba Specialty, Exxon Chemical Patents,<sup>5</sup> LG, Samsung, Alberta Research Council, Procter & Gamble.

Entre as instituições de pesquisa que depositaram patentes constam: University of South Carolina Research Foundation, Korea Advanced Institute of Science and Technology (Kaist), Industrial Technology Research Institute de Taiwan, University of Chicago, University of Massachusetts, Cornell Research Foundation, Kawamura Institute of Chemical Research e Massachusetts Institute of Technology (MIT).

Toda essa atividade sobre nanocompósitos de polímero-argila é apenas uma parcela da atividade sobre nanocompósitos (que inclui nanotubos, nanoligas, óxidos, etc.) A Tabela 3 mostra os números de patentes recuperadas, obtidos utilizando a palavra chave *nanocomposites*.

**Tabela 3.** Número de patentes com a palavra-chave *nanocomposites*, concedidas e requeridas de 1997-2004, de acordo com o site da Thompson Delphion™

<b><i>Nanocomposites</i></b>	<b>1997-2004</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>
USPTO (concedidas)	411	72	97	43
USPTO (requeridas)	169	57	73	31
Esp@cenet (concedidas)	29	8	9	1
Esp@cenet (requeridas)	163	27	33	14
Alemanha (concedidas)	5	0	2	0
Alemanha (requeridas)	15	2	6	0
Japão	82	12	23	1
Wipo	280	64	65	21
Total	1154	242	308	111

<sup>5</sup> Note-se este exemplo da tendência recente de grandes conglomerados, de formarem “empresas de propriedade intelectual”.

As dez empresas que mais patentearam (acima de seis até 37 patentes) incluem algumas das que lideram também os nanocompósitos de polímero-argila: Eastman Kodak, Amcol International, Eastman Chemical, Dow Chemical, Basf, Bekaert, Sumitomo Special Metals, Rohm and Haas, Exxonmobil Chemical Patents e Matsushita Electric.

Outros nomes de companhias conhecidas, mas com uma até cinco patentes sobre nanocompósitos são: LG Chemical, Triton Systems, DSM, Exxon Research and Engineering, 3M Innovate Properties, SEM Chemie, UBE, Eikos, Nexans, Photon-X, Nanosys, Southern Clays, Rheox, Samsung General Chemicals, Rhodia, Xerox Corporation, Exxon Chemical Patents, Goodyear Tire & Rubber, Allied Signals, General Electric, CIBA Specialty Chemicals Holding, Rhodia Rare Earths, Advanced Refractory Technologies, Toshiba Tungaloy.

A Tabela 4 apresenta exemplos de títulos de patentes depositadas por algumas empresas no USPTO.

**Tabela 4.** Patentes sobre nanocompósitos depositadas no USPTO (1996-2003)

<b>Empresa</b>	<b>Nº de patentes</b>	<b>Título</b>
Amcol	39	Intercalates formed with polypropylene/maleic anhydride-modified polypropylene intercalants
Eastman Kodak	14	Photographic day/night displays utilizing inorganic particles
Eastman Chem.	10	Platelet particle polymer composite with oxygen scavenging organic cations
Basf	8	Thermoplastic nanocomposites
The Dow Chem.	5	Nanocomposites of dendritic polymers

Alguns casos específicos são: a Amcol prepara nanocompósitos de resina epóxi intercalada com argilas modificadas com sais de ônio e os utiliza como adesivos ou como selantes, encapsulantes e isolantes em componentes eletrônicos.<sup>6</sup> Nanocompósitos de polipropileno com polipropileno-anidrido maleico são preparados por extrusão com argilas modificadas.<sup>7</sup>

<sup>6</sup> Amcol. Patent Number 6251980, 2003, USPTO. Note-se que, do custo de fabricação de um “chip”, uma parcela elevada se deve ao encapsulamento em polímero.

<sup>7</sup> Amcol. Patent Number 6632868, 2003, USPTO.

Muitas patentes da Eastman-Kodak, referentes a nanocompósitos com argilas, têm aplicação como barreira para gases, na fabricação de embalagens para alimentos, medicamentos e bebidas, formados por poliamida ou poliéster, podendo ou não conter um reagente catalítico para eliminação de oxigênio seqüestrado. As argilas mais usadas são do grupo das esmectitas.<sup>8</sup>

Recentemente, a Dow Chemical patentou um nanocompósito dendrítico,<sup>9</sup> descrito como “revolucionário”, cujo título consta da Tabela 4. Este nanocompósito é preparado pela reação *in situ* de compostos inorgânicos formando nanopartículas que ficam imobilizadas no polímero.<sup>10</sup> O tamanho das nanopartículas é determinado e controlado pelo polímero dendrítico. Dentre as possíveis preparações estão os nanocompósitos de sulfitos de prata ou de ferro em Pamam (poliamiodoamina). A obtenção deste tipo de nanocompósito permite a solubilização de metais, que é útil na aquisição de imagens de ressonância magnética, em catálise, aplicações ópticas, magnéticas, fotolíticas e eletroativas.

## **ATIVIDADES ECONÔMICAS EM ÁREAS RELEVANTES NO BRASIL**

Os principais fornecedores atuais de matérias-primas para a fabricação dos nanocompósitos poliméricos são os fabricantes de termoplásticos<sup>11</sup> e de borrachas,<sup>12</sup> produtores de látex de borracha natural,<sup>13</sup> mineradoras e beneficiadoras de argilas.<sup>14</sup> No futuro, poderá haver outros fornecedores, que serão os eventuais fabricantes de nanotubos<sup>15</sup> e de compostos lamelares ou fibrilares sintéticos.

---

<sup>8</sup> Eastman Kodak Company. Patent numbers 6686407, 6610772, 6486252, 6417262, 6034163, 6337046, 6384121, 2000-2004.

<sup>9</sup> Dow Chemical. Patent Number 6664315, 2003, USPTO.

<sup>10</sup> Um antecedente da síntese de nanopartículas por sorção e reação *in situ* está em F. Galembeck, C. C. Ghizoni, C. A. Ribeiro, H. Vargas e L. C. M. Miranda, Characterization of a New Composite Material: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Impregnated Poly (tetrafluoroethylene). Particle Size Determination and Photoacoustical Spectroscopy, J. Appl. Polym. Sci. 25, 1427-1433 (1980).

<sup>11</sup> Braskem, Dow, Inova, Basf e um miríade de produtores de látexes para as indústrias de tintas e de adesivos.

<sup>12</sup> Petroflex, Nitriflex.

<sup>13</sup> Um grande número de pequenos produtores, incluindo cooperativas, ao lado de grandes produtores como a Michelin.

<sup>14</sup> Itatex e Bentonit do Brasil, entre outros. As maiores jazidas de bentonita da América do Sul estão na Paraíba.

<sup>15</sup> Há projetos de P&D em execução no Brasil, que têm como metas a fabricação de nanotubos de vários materiais e respectivos processos de fabricação, no Brasil. Portanto, pode-se esperar que surja atividade produtiva industrial, no futuro próximo.

## **AGREGAÇÃO DE VALOR**

Nanocompósitos poliméricos baseados em argilas utilizam matérias-primas abundantes e baratas, mas são produtos sem competidores mesmo considerando-se quaisquer outros tipos de materiais. Portanto, um nanocompósito deve poder alcançar um sobrepreço elevado com relação às suas matérias-primas.<sup>16</sup> Sua fabricação não exige equipamentos diferenciados dos equipamentos correntes nas indústrias de processamento de plásticos e borrachas, o que significa que a sua introdução não está exigindo e não deverá exigir investimentos significativos na aquisição e montagem de unidades produtivas, pelo menos nas etapas iniciais da sua introdução na indústria.

## **OPORTUNIDADES**

O número de oportunidades abertas pelos nanocompósitos poliméricos é extremamente elevado. Para identificar estas oportunidades, é necessário considerar as propriedades que são ou que podem ser exibidas pelos nanocompósitos, associando-as criativamente a produtos fabricados em grande escala, nos vários setores industriais. A seguir estão relacionadas algumas indústrias e respectivos produtos que poderão sofrer (ou já estão sofrendo) um impacto importante dos nanocompósitos.

i) indústria de embalagens, produzindo frascos para leite longa-vida e bebidas carbonatadas, ao lado de filmes de baixíssima permeabilidade ao oxigênio para a embalagem a vácuo de produtos alimentícios oxidáveis ou aromatizados;

ii) de adesivos: novos adesivos estruturais para aplicações industriais e domésticas, especialmente na indústria de materiais de transportes;

iii) de tintas e vernizes: películas nanocompósitas desenvolvidas para se obter maior resistência à intempérie, especialmente à oxidação (direta ou fotoquímica) e à abrasão;

---

<sup>16</sup> Por exemplo, no caso de embalagens para alimentos, estão sendo introduzidos compósitos de termoplásticos de 1-2 US\$/kg, que hoje não são utilizados na embalagem de produtos de grande consumo, como a cerveja e o leite longa-vida, em substituição a embalagens caras. Por exemplo, as latas de alumínio usadas para embalar cervejas têm um custo igual ao do seu próprio conteúdo.

iv) indústria de papel e celulose: papéis especiais (revestidos) com textura e aspecto diversificado com grande resistência à água e outros líquidos comuns;

v) indústria automobilística e de equipamentos para a distribuição de combustíveis: nanocompósitos resistentes ao intumescimento e, portanto, resistentes ao ataque de solventes, para a fabricação de vedações, isolantes elétricos, revestimentos, pára-choques e outras partes de carroceria; revestimentos de câmaras de explosão para aumento da eficiência de combustíveis; células eletroquímicas e reatores embarcados para a reforma catalítica de combustíveis;

vi) indústria de construção civil: materiais resistentes à chama e à corrosão, impermeabilizantes, revestimentos para aumento de conforto térmico e acústico.

Esta lista não pretende ser exaustiva, mas ela já demonstra o vasto escopo dos produtos que podem ser desenvolvidos utilizando-se os conceitos e as ferramentas da nanotecnologia.

## **ATIVIDADES DE PESQUISA NO BRASIL**

Atualmente, existe uma atividade de pesquisa significativa no Brasil. Uma evidência é o número de trabalhos, 15, apresentados no último Congresso Brasileiro de Polímeros (CBPol, novembro de 2003). A Tabela 5 apresenta os nomes dos pesquisadores principais, instituições e sistemas tratados nestes trabalhos.

Por outro lado, o banco de dados do Inpi acusa algumas patentes sobre nanocompósitos depositadas, em número de 11. Dez destas têm como titulares organizações estrangeiras<sup>17</sup> mas uma patente já resulta de trabalho colaborativo entre um grupo universitário e uma empresa.<sup>18</sup>

---

<sup>17</sup> Cornell, Basell, Solutia, Dow Chemical, Nalco, Vantico, Rohm and Haas (2), University of South Carolina Research Foundation (2).

<sup>18</sup> PI 0201487 de que são titulares a Unicamp e a Rhodia-Ster.

**Tabela 5.** Trabalhos sobre nanocompósitos poliméricos apresentados no CBPol em 2003

<b>Autor principal (Instituição)</b>	<b>Sistema estudado</b>
Raquel S. Mauler (UFRGS)	Nanocompósitos de SEBS (estireno-etenobutadieno-estireno e montmorilonita e caracterização térmica e mecânica de nanocompósitos de polipropileno)
Rodrigo L. Oréfica (UFMG)	Nanocompósitos de poliuretana contendo grupos polares e montmorilonita sódica
Maria C. Gonçalves (Unicamp)	Nanocompósitos de polipropileno com argila e compatibilização com organossilanos
Maria A. de Luca (UFRGS)	Obtenção de híbridos de borracha epoxidada e aminopropiltriétoxissilano e TEOS
Denílson Rabelo (UFG)	Preparação de nanopartículas de magnetita em copolímeros estireno-divinilbenzenosulfonados
Celso V. Santilli (Unesp)	Obtenção de híbridos siloxano-PMMA por processo sol-gel
Nicole R. Demarquette (USP)	Estudo reológico do efeito de concentração de argila e compatibilizante em nanocompósitos de polipropileno-argila
Regina C.R. Nunes (UFRJ)	Nanocompósitos de borracha nitrílica carboxilada com celulose II.
Vera R. L. Constantino (USP)	Caracterização espectroscópica de nanocompósitos de polianilina e montmorilonita para determinação dos sítios de interação inorgânico-polímero.
Francisco R.V. Díaz (USP)	Obtenção de nanocompósitos de PVB (polivinilbutiral) e argilas do tipo bentonita

## **ESTRATÉGIAS PARA O INCREMENTO DAS ATIVIDADES**

Como há grupos de pesquisa já atuantes na área e empresas que têm uma atividade de P&D importante produzindo termoplásticos e borrachas, tintas, vernizes, adesivos, pneus e artefatos de plásticos e borrachas, no Brasil, as possibilidades de geração de produtos industriais são muito grandes, mesmo dentro de prazos curtos, de um a dois anos. Alguns passos podem produzir resultados importantes, a curto prazo:

i) Atividades de difusão, mostrando a empresários de todos os portes as possibilidades abertas pelos nanocompósitos poliméricos. Seria importante conseguir estabelecer canais de comunicação efetivos entre empresários e profissionais, incluindo os seguintes veículos: apresentações na Comissão de Tecnologia da Abiquim, Fiesp, CNI, participação em eventos da indústria;<sup>19</sup> inserção em atividades patrocinadas pelo Sebrae.<sup>20</sup>

ii) Difusão de projetos em veículos de difusão científica e em páginas de difusão científica de jornais e revistas.

iii) Edital do Fundo Verde-Amarelo para o desenvolvimento de produtos baseados em nanocompósitos poliméricos ou um edital do mesmo fundo, para o desenvolvimento de produtos baseados em nanocompósitos. Nestes editais, o que deve ser enfatizado são os produtos baseados em nanocompósitos e não simplesmente os nanocompósitos.

## **INFRA-ESTRUTURA NECESSÁRIA**

Grande parte da infra-estrutura necessária ao desenvolvimento de projetos nesta área já existe, bem como os recursos humanos necessários para a sua operação. O que se torna agora necessário é viabilizar o uso desta infra-estrutura pelo maior número possível de pesquisadores e de engenheiros

---

<sup>19</sup> Congressos das indústrias de plásticos e borrachas, tintas e vernizes.

<sup>20</sup> Especialmente o programa “Pequenas Empresas, Grandes Negócios”, veiculado pela Rede Globo nos domingos pela manhã.

de empresas e universidades associadas, para que as atividades experimentais possam ser executadas apropriadamente. Os elementos mais críticos da infraestrutura de pesquisa estão resumidos na Tabela 6.

Portanto, a exploração intensiva destas oportunidades não requer nenhum grande investimento inicial, nem mesmo a criação de “centros de referência”. Muito ao contrário, ela pode ser executada por muitos atores e instituições, trabalhando em redes ou simplesmente em parcerias empresa-universidade. Resultados concretos, em termos de produtos comercializáveis, podem surgir em prazos curtos, de seis meses a dois anos, desde que os projetos sejam formulados com foco e objetividade.

**Tabela 6.** Infra-estrutura de grande porte, essencial ao desenvolvimento de projetos de desenvolvimento de nanocompósitos poliméricos

<b>Equipamento ou facilidade</b>	<b>Instituições em que existe o equipamento<sup>1</sup></b>	<b>Observações</b>
Extrusoras e equipamento de processamento de plásticos e borrachas	Braskem, INT, IPT, UFRJ, UFSCar, Unicamp, outras empresas	Essencial a projetos envolvendo artefatos plásticos e de borracha
Difratômetros de Raios-X (difração de pó)	Numerosos departamentos de Química, Física, Geociências e Engenharias, em todas as regiões do país	Importante em um primeiro diagnóstico, mas os resultados devem ser complementados por microscopias
Microscópios eletrônicos de transmissão e ultramicrotômos	Unicamp, USP, UFRJ, PUC-Rio, UnB, UFPe, LNLS	Em vários lugares, este equipamento está associado a grupos da área biológica
Microscópios de sonda	Unicamp, USP, UFRJ, UnB, UFPe, LNLS, CBPF	Metodologia que ainda não foi demonstrada, mas poderá sê-lo brevemente

Esta relação não pretende ser exaustiva

Uma infra-estrutura especialmente adequada para estas atividades constitui o Instituto do Milênio de Materiais Complexos, uma rede de pesquisas formada com recursos do PADCT em 2002, unindo pesquisadores da UFPe, UFRJ, Unicamp e USP. Nesta rede, uma equipe numerosa e produtiva opera intensivamente uma infra-estrutura diversificada que inclui quatro microscópios de varredura de sonda, quatro microscópios eletrônicos e equipamentos de processamento de polímeros, ao lado de espectrômetros, instrumentos analíticos e equipamentos de síntese em escala de laboratório e piloto.<sup>21</sup>

## **FÁRMACOS E PRODUTOS FARMACÊUTICOS**

A frente de inovação mais divulgada pela mídia, nas indústrias de fármacos e farmacêutica, é a criação de novas moléculas que possam ser usadas em terapêutica, especialmente nas doenças infecciosas ou degenerativas para as quais ainda não há terapias plenamente eficazes. Entretanto, não há no Brasil muitos casos de sucesso neste tipo de atividade, embora haja exceções importantes.<sup>22</sup> A nanotecnologia tem contribuído com novas perspectivas importantes, seja as associadas à biotecnologia (nanobiotecnologia),<sup>23</sup> seja as que irão explorar nanoestruturas em aplicações terapêuticas: terapias fotodinâmicas, administração de medicamentos associados a nanopartículas magnéticas,<sup>24</sup> construção de estruturas complexas capazes de atuar terapêuticamente com extrema seletividade,<sup>25</sup> aproveitamento de

---

<sup>21</sup> <http://www.im2c.iqm.unicamp.br>

<sup>22</sup> Um caso clássico é o do trabalho de Sérgio Ferreira que levou ao desenvolvimento do Captopril. Um caso mais recente é o da empresa Cristália, de Itapira (SP), que obteve em 2004 uma patente para o seu produto S(+)-cetamina, nos Estados Unidos.

<sup>23</sup> Bionanotechnology and Drug Design, K. Krause, *University of Houston, US*, apud <http://www.nanotech2004.com/2004exhibitors.html/> em 24/3/2004

<sup>24</sup> NanoBioMagnetics, Inc., C.E. Seeney, *NanoBioMagnetics, Inc., US*, apud <http://www.nanotech2004.com/2004exhibitors.html/> em 24/3/2004

<sup>25</sup> Uma nova classe de antibióticos está surgindo, baseada em um tipo de nanoestrutura chamado de "glicodendrimer": uma protease inespecífica (subtilisina) é ligada quimicamente a um dendrimer derivado da tris(2-aminoetil)amina, que tem moléculas de galactose ligadas nas extremidades opostas à protease. Os carboidratos ligam-se à parede da bactéria, permitindo que esta seja destruída pela subtilisina. O antibiótico pode ser adaptado a diferentes espécies de bactérias substituindo-se a galactose por outros carboidratos (B.G.Davis e M.M.Cowan, *J. Am Chem. Soc.* 126, 2004, 4750).

nanoestruturas biológicas<sup>26</sup> ou biomiméticas, terapias que objetivam substituir procedimentos cirúrgicos,<sup>27</sup> entre outras.<sup>28</sup>

Uma outra frente de inovação igualmente importante, embora menos espetacular que o desenvolvimento de novas moléculas, que é o desenvolvimento de novos modos de administração de moléculas bem conhecidas, que sejam capazes de aumentar a sua efetividade. Trata-se de um aspecto da área de “*drug delivery systems*”, que é muito vasta e pode beneficiar-se de muitas abordagens nanotecnológicas.<sup>29</sup> Essa frente de trabalho pode ser bem ilustrada por um problema muito atual enfrentado pelo programa brasileiro de controle da Aids.

---

<sup>26</sup> Membrane Proteins: Nanomachines with Optimized Structure and Function, A. Engel, M.E. Müller Institute, University of Basel, CH, apud <http://www.nanotech2004.com/2004exhibitors.html/> em 24/3/2004

<sup>27</sup> Um projeto da Academia Chinesa de Ciências é intitulado *The Promising Study of Dissolving Blood Bolt Medicine of Double-Direction Targets by Using Clusters as Carrier* (<http://www.casnano.ac.cn/english%20web/xiangmu/kexueyuan/index.html> em 31 de abril de 2004) e os assuntos tratados neste projeto são os seguintes: *Synthesis of composite medicaments using nanoparticles and fullerene as carriers by chemical method. Study on basic medical properties, such as transportation, ingestion, distribution, metabolism and toxicity in animal body by using radionuclide elements as identification, track and SPECT section image, radiative analysis and biological technology. Concentrate study on photocatalytic action in biological process of nanomaterials, and degradation of biological macromolecule by light exposure to light and X ray. Probe into the chances of treating acute myocardial infarction by dissolving blood bolt medicine of double-direction targets controlled by external field.*

<sup>28</sup> Os assuntos tratados nas referências 22, 23 e 25 foram objeto de apresentações na Nanotech 2004 (<http://www.nanotech2004.com/2004exhibitors.html/> Nanotech 2004 Exhibitors), um dos mais importantes eventos entre os que reúnem pesquisadores, empresários e investidores. [http://www.researchandmarkets.com/reportinfo.asp?cat\\_id=0&report\\_id=19886](http://www.researchandmarkets.com/reportinfo.asp?cat_id=0&report_id=19886) em 9 de maio de 2004.

<sup>29</sup> Alguns dados a esse respeito constam de relatório da empresa Research and Markets, cujo resumo está a seguir: “*U.S. Drug Delivery Systems Market: Emerging Technologies, Strategic Alliances, Patent Disputes, Market Size and Forecasts and R&D Activities. This report is about drug delivery systems, what they do for pharmaceutical products, why they are needed, and the extent of this important technology market. Most people think of drug delivery systems as the added ingredients that go into oral pills that people take for all-day headache pain relief, a patch that helps people stop smoking or an inhaler to help a child with asthma breathe easier. It is this and more. It is an interesting, prospering US industry that is transforming ordinary drugs into drugs optimized for their targeted applications. Drug delivery is an enabling technology that is helping to expand other pharmaceutical industry sectors such as generic drugs and specialty pharmaceuticals. The technology is being used by some pharmaceutical firms to differentiate their products so that new opportunities can be created. Other companies are adding special drug delivery features to products to extend the marketing life of product lines. The industry definition has expanded to include new, targeted therapies as well as new drug containing implants that were invented by emerging companies. Monoclonal antibodies, gene delivery, Mems implants and drug-coated stents are examples of emerging drug delivery innovations.*”

## UM PROBLEMA NO PROGRAMA BRASILEIRO DE CONTROLE DE AÍDS

O Programa Brasileiro de Controle de Aids é internacionalmente conhecido como um grande e exemplar sucesso. No Brasil, é um caso marcante de implementação de uma política pública de saúde, atingindo seus objetivos sem macular-se com escândalos de qualquer ordem. Entretanto, responsáveis pelo Programa reconhecem que ele hoje apresenta um problema sério: é elevado o número de desistências de pacientes, caracterizadas pelo abandono do uso regular de medicação.

Esse problema tem sua origem na grande quantidade de cápsulas que os pacientes devem ingerir, o que cria um desconforto físico e também psicológico: alguns pacientes se sentem preocupados e deprimidos ao terem de ingerir, um dia após outro, grandes quantidades de medicamentos que, como eles sabem, têm efeitos colaterais indesejáveis.

As grandes doses de medicamentos estão sem dúvida associadas ao seu baixo grau de aproveitamento: trata-se de substâncias muito pouco solúveis em água, cuja absorção no aparelho digestivo é lenta e pouco eficiente. Concluindo, este sério problema enfrentado pelo Programa Brasileiro de Aids poderá ser reduzido se os medicamentos passarem a ser administrados em formas de mais fácil absorção.<sup>30</sup> Infelizmente, este tipo de abordagem é frequentemente referido apenas como sendo uma questão de “formulação”, que por sua vez é tratada como uma atividade menor no desenvolvimento de medicamentos. Esta postura preconceituosa é muito prejudicial e deve ser abandonada, sob pena de não se aproveitar importantes oportunidades criadas pela nanotecnologia.

*This study has found that the market size for drug delivery systems in 2002 is about \$47 billion and is projected to grow to about \$67 billion in 2006 with a cagr. of nearly 8%. While the pharmaceutical industry generated about \$250 billion in 2001, it faces numerous issues that could be helped with advanced or emerging drug delivery systems. Many of their highly profitable blockbuster drugs will reach patent expiry by 2004-2006 and lose about \$37 billion in market value to generic competition. Growing through mergers has not helped much. Optimizing products through drug delivery might be a better strategy”. Fonte: [http://www.researchandmarkets.com/reportinfo.asp?cat\\_id=0&report\\_id=19886](http://www.researchandmarkets.com/reportinfo.asp?cat_id=0&report_id=19886) em 9 de maio de 2004.*

<sup>30</sup> O documento “*omnibus solicitation of the national institutes of health, centers for disease control and prevention, and food and drug administration for small business innovation research (sbir) and small business technology transfer (sttr) grant applications*”, pg 30, descreve como uma das áreas financiáveis dentro dos programas SBIR-STTR: *Development of fabrication techniques including synthesis or milling techniques, controlled and designed crystallization methods, large-scale methods suitable for manufacturing purposes, controlled particle aggregation, and nanoparticle coating techniques.*”

## **ALGUNS EXEMPLOS DO USO DE NANOTECNOLOGIA NA INDÚSTRIA DE FÁRMACOS E FARMACÊUTICA**

No site da USPTO (United States Patent & Trademark Office) há o registro de 1266 patentes contendo as palavras-chaves *nanoparticles* AND *therapeutic* e 730 registros de patentes com as palavras-chaves *nanospheres* AND *pharmaceutics*.

Os exemplos consideram todas as formas de administração concebíveis, inovando mesmo em formas “antigas” como a inalação. Um exemplo é a descrição da preparação de nanopartículas formadas por copolímero tribloco biodegradável polioxietileno-polivinilpirrolidona-polioxietileno, que misturado a um medicamento (por exemplo, uma insulina ou derivado, entre outros), forma uma solução. Esta, sob a ação de pressão e temperatura produz aerossóis que liberam o medicamento lentamente, de forma controlada.<sup>31</sup> Outro caso é o desenvolvimento de processo de preparação de nanopartículas estáveis de substâncias biologicamente ativas, através da sua mistura com um estabilizante (carboidrato e amino-ácido) e posterior secagem por convecção, obtendo-se um pó seco, amorfo e biologicamente estabilizado.<sup>32</sup> Uma patente do Massachusetts Institute of Technology (MIT) descreve a preparação de nanopartículas de poliácido láctico ou glicólico, contendo surfactante (do tipo fosfoglicerídio) e o agente terapêutico. Estas partículas podem ser aerosolizadas e administradas no tratamento de infecções pulmonares, por liberação controlada local ou sistêmica.<sup>33</sup>

Há contribuições antigas e recentes que mostram a possibilidade de grandes ganhos na eficiência de medicamentos, seja através de técnicas de controle da forma cristalina, da morfologia das partículas e do uso de veículos de administração que permitam um transporte efetivo. Alguns exemplos são simples e antigos, como o da administração de vitamina E para crianças, na forma de emulsão e há casos mais recentes, já dentro dos paradigmas nanotecnológicos e que são simplesmente espetaculares.

---

<sup>31</sup> Aeropharm Technologies. Modulated release particles for lung delivery. Patent numer 6669959, 2003, USPTO.

<sup>32</sup> Boehringer Mannheim. Method of stabilizing biologically active substances. Patent number 6689755, 2004, USPTO.

<sup>33</sup> Massachusetts Institute of Technology. Preparation of novel particles for inhalation. Patent Number 6652837, 2003, USPTO.

Um exemplo é o de uma empresa especializada em equipamentos para micronização de sólidos que desenvolveu um novo tipo de moinho e os processos associados, que foram aplicados a numerosos fármacos. Em um caso específico, a empresa obteve um produto nanoparticulado que, usado em doses de apenas 25% das usuais, produziu os mesmos níveis sanguíneos que a forma convencional de administração.<sup>34</sup>

Vários outros exemplos podem ser encontrados entre fármacos conhecidos e que hoje são pertencentes à categoria dos “genéricos”.<sup>35</sup> A propósito, o mercado mundial de genéricos passa atualmente por uma grande expansão, sendo previsto que o seu valor crescerá em US\$ 82 bilhões até 2007, quando vários *blockbusters* da indústria farmacêutica passarão ao domínio público. É muito provável que um fator importante de crescimento e de diferenciação de genéricos seja exatamente o uso intensivo de nanotecnologias aplicadas à *drug delivery*.

### **COMPETÊNCIAS NECESSÁRIAS PARA A PESQUISA NESTA ÁREA**

No Brasil há atividade de pesquisa concentrada em meios de liberação controlada de fármacos, especialmente os lipossomas.<sup>36</sup> Além disso, há muitos grupos de pesquisas que detêm os conhecimentos necessários para trabalhar sobre sólidos, seja na formação de nanopartículas e de partículas porosas, seja em temas afins. As competências necessárias são as seguintes:

- i) planejamento e realização de ensaios farmacodinâmicos e de biodisponibilidade;
- ii) caracterização de texturas e formas cristalinas de sólidos, por difração de raios-X e técnicas afins;
- iii) caracterização morfológica e microquímica de partículas, por microscopias ópticas, eletrônicas de varredura e por microscopias de varredura de sonda;
- iv) planejamento, modificação e otimização de processos de cristalização e de precipitação, de adsorção, separação, concentração e secagem de pós finos ou colóides;

---

<sup>34</sup> Comunicação durante a Reunião Anual da ACS em Boston, agosto de 2002.

<sup>35</sup> [http://www.researchandmarkets.com/reportinfo.asp?cat\\_id=0&report\\_id=4596](http://www.researchandmarkets.com/reportinfo.asp?cat_id=0&report_id=4596)

<sup>36</sup> Há duas patentes brasileiras concedidas, sobre uso de lipossomas.

- v) moagem e cominuição de pós;
- vi) tribologia, triboquímica e mecanoquímica;
- vii) estabilização coloidal, formação de emulsões e microemulsões, encapsulamento em suas várias formas, aerossóis.

Em todas estas áreas há grupos competentes no país, mas estes não são numerosos, o que significa que deverão ser aproveitados de duas formas: pela sua capacidade de pesquisa e pela sua capacidade de ensinar estudantes de graduação e de pós-graduação, treinarem e atualizarem profissionais atuando em P&D, produção, controle e assistência técnica em várias indústrias de fármacos, farmacêuticas, de equipamentos, embalagens e materiais hospitalares.

## **CAPACITAÇÃO DE EMPRESAS**

O Brasil tem uma indústria de fármacos significativa que produziu, em 2003, US\$ 324 milhões anuais de farmoquímicos e adjuvantes farmacotécnicos, exportando US\$ 133,1 milhões.<sup>37</sup> Além disso, há no país importantes produtores de medicamentos genéricos. Portanto, existe uma indústria de capital nacional com presença significativa no mercado e capacidade de exportação, que poderá aproveitar imediatamente qualquer resultado concreto da pesquisa nesta área.

De fato, há elementos suficientes para que uma parte importante das atividades de nanotecnologia em fármacos, desenvolvidas nos próximos dois ou três anos no Brasil, priorizem as demandas já existentes na indústria ou no Ministério da Saúde, ou ainda que sejam prospectadas por esses atores.

## **PROPRIEDADE INTELECTUAL**

Não é possível encerrar este texto sem abordar o problema da propriedade intelectual na comunidade científica brasileira, porque é óbvio

---

<sup>37</sup> Boletim da Associação Brasileira da Indústria Farmoquímica n°. 57, abril/maio de 2004. Entretanto, o comércio exterior brasileiro do setor farmacêutico e farmoquímico é deficitário.

que qualquer nova tecnologia está fortemente associada à propriedade intelectual.

Cientistas brasileiros fazem hoje uma contribuição significativa à literatura aberta, estando presentes nas revistas líderes de todas as áreas de pesquisa.

Infelizmente, os cientistas brasileiros não são afeitos à leitura ou à redação de patentes, como regra, reproduzindo um bem conhecido padrão dos países “emergentes”. Isso pode ser observado mesmo nos casos em que um trabalho de pesquisa é justificado pela sua relevância ou aplicabilidade, nos preâmbulos dos *papers* e projetos submetidos às agências de fomento.

Isso tem duas conseqüências sérias. Primeiro, uma parte significativa de todo o esforço brasileiro de pesquisa é simplesmente desperdiçada, porque os objetivos dos projetos já podem ter sido alcançados por outros pesquisadores, estando documentados em algum relatório de patente. Um dado da WPO informa que 50% da informação científica contida em patentes jamais chega à literatura aberta. Isto significa que o “estado da arte” descrito na maioria dos projetos aprovados pelas agências de fomento brasileiras inclui apenas uma parte do conhecimento existente, portanto, é incompleto, e a parte ausente é pelo menos tão importante quanto a parte explicitada, do ponto de vista da criação de riqueza baseada no conhecimento.

Ao mesmo tempo, cientistas brasileiros contribuem para a literatura em uma escala crescente, disseminando informação que será livremente apropriada por outros indivíduos e corporações, principalmente no exterior. Esta nova informação será finalmente transformada em produtos e processos que serão importados por nós, trazendo modernidade, desemprego e pressões sobre a economia.

Portanto, qualquer esforço em nanotecnologia exige que os pesquisadores participantes comecem a dar uma séria atenção às patentes, lendo-as, escrevendo-as e defendendo-as. Ao mesmo tempo, é fundamental que as agências de fomento reduzam a ênfase excessiva em indicadores como os índices de impacto e os números de publicações, que são importantes mas terminam por ser o principal fundamento de um mecanismo de transferência de conhecimento (leia-se renda) dos países periféricos para os centrais.

## Resumo

Os nanocompósitos poliméricos e os nanofármacos são duas classes de produtos de nanotecnologia especialmente atraentes para o Brasil. As duas áreas já têm antecedentes de pesquisa, desenvolvimento e inovação significativos e também contam com uma infra-estrutura de pesquisa bastante sofisticada e operada por pessoal competente, em várias universidades e institutos de pesquisa, bem como em algumas empresas. Portanto, apresentam um grande potencial de crescimento dentro de um elevado padrão de qualidade científica, técnica e empresarial, agregando valor a produtos da indústria e gerando novos produtos requeridos por vários mercados e por políticas públicas. Entretanto, o pleno aproveitamento desta oportunidade requer uma nova atitude perante a questão da propriedade intelectual.

## Abstract

*Polymer nanocomposites and nanopharmaceuticals are two classes of nanotechnological products specially attractive for Brazilian researchers and entrepreneurs. There are strong precedents of research, development and innovation in both areas, as well as a good research infra-structure and qualified personnel housed in many universities, research institutes and some corporations. These two areas have a strong potential for growth within high scientific, technical and entrepreneurial standards, adding value to industrial goods and generating new products required by many markets and public policies. However, the exploitation of the opportunities opened by nanotechnology requires a new attitude of the scientific community towards the question of intellectual property.*

## Os Autores

FERNANDO GALEMBECK. Professor titular de Química da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), membro e diretor da Academia Brasileira de Ciências, coordena o Instituto do Milênio de Materiais Complexos. Tem mais de 160 artigos publicados em periódicos de projeção internacional e vem participando, há vinte anos, de projetos de inovação com produtos competitivos internacionalmente. Recebeu os prêmios Fritz Feigl, Zeferino Vaz, Simão Mathias, Union Carbide, Abrafati, Eloísa Mano, CNPq (50 anos), Abrafati, ICSCS (Rhône-Poulenc) e a Grã-Cruz da Ordem Nacional do Mérito Científico.

MÁRCIA MARIA RIPPEL. Doutoranda em Química pela Universidade de Campinas (Unicamp). Sua tese aborda a microquímica da borracha natural (*Hevea brasiliensis*). Demonstrou o papel de íons e nanopartículas inorgânicas no “mistério da borracha natural”, que é a expressão usada na literatura para descrever a grande superioridade da borracha natural face às borrachas sintéticas, em várias aplicações.

## Parcerias estratégicas em nanotecnologia: a experiência da Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais

---

*Margareth Spangler Andrade*

A possibilidade de se manipular e controlar, uma a uma, partículas como átomos e moléculas e desta forma criar novos materiais e produtos foi discutida, pela primeira vez, pelo famoso físico Richard P. Feynman (1). Segundo esse visionário das nanociências e nanotecnologias, não se tratava somente de dar continuidade às pesquisas na direção da miniaturização de circuitos ou da fabricação de máquinas diminutas, mas de uma revolução muito maior, conforme descrito nos artigos desta edição da *Parcerias Estratégicas*.

O sucesso da nanociência está intimamente relacionado à aplicação prática dos conhecimentos gerados. Há um forte sinergismo entre a nanotecnologia e a nanociência. Neste sentido, são questões fundamentais:

1. Como acessar o extremamente pequeno?
2. Os materiais nanoestruturados comportam-se como os materiais já conhecidos?
3. Como transportar os materiais, dispositivos e sistemas biológicos, idealizados ou manufaturados em escala de laboratório, para uma escala comercial a custos acessíveis?

Enquanto a última questão nos leva à aplicabilidade comercial da nanotecnologia, a primeira e a segunda estão intrinsecamente relacionadas ao progresso da nanociência.

O presente artigo tem por objetivo relatar as parcerias realizadas por um instituto tecnológico, a Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (Cetec), visando estar preparado para o vertiginoso avanço da nanociência, bem como incentivar e acelerar o desenvolvimento da nanotecnologia no país e no exterior.

## **Os NOVOS MICROSCÓPIOS**

No estudo de materiais e dispositivos nanoestruturados é óbvia a necessidade do projeto e da fabricação de novos equipamentos, especialmente microscópios cada vez mais potentes, capazes de “enxergarem” e acessarem o que os cientistas planejam pesquisar e construir. Neste aspecto, microscópios já existentes desde a primeira metade do século XX, tais como o microscópio eletrônico de transmissão e o microscópio eletrônico de varredura, sofreram constantes melhorias quanto à sua capacidade de ampliação e resolução. Estes “velhos” microscópios tornaram-se ferramentas bastante úteis no estudo do extremamente pequeno.

Uma nova família de microscópios teve, contudo, influência capital tanto no estudo quanto nas aplicações da nanociência. Trata-se do microscópio de varredura por sonda mecânica, que tem como seus mais proeminentes membros o microscópio de tunelamento e seu irmão mais novo, o microscópio de força atômica (2,3).

Em 1981, cientistas dos laboratórios da IBM, em Zurique, na Suíça, desenvolveram o microscópio de tunelamento e encantaram o mundo com as primeiras imagens, no espaço real, da superfície de um monocristal de silício com resolução atômica (2). Em 1986, Binnig e Rohrer receberam o prêmio Nobel de Física por esse trabalho. Ainda naquele ano foi lançado o Microscópio de Força Atômica (3) e, em 1989, foi fabricada a primeira versão comercial deste microscópio. Desde então, essas técnicas são utilizadas numa ampla variedade de disciplinas, de ciência dos materiais à biologia, produzindo imagens tridimensionais impressionantes – de átomos de carbono a protuberâncias nanométricas na superfície de células vivas.

Os microscópios de varredura por sonda mecânica têm em comum seu modo de operação. Uma sonda mecânica extremamente pequena e fina (por

exemplo, um fio de tungstênio, uma ponta de nitreto de silício) aproxima-se cuidadosamente da superfície da amostra a ser estudada, até que comecem a ocorrer interações entre a ponta da sonda e a superfície da amostra. Todo o processo é controlado por computador e as interações com a sonda são monitoradas gerando imagens digitalizadas da superfície da amostra num monitor de vídeo. Surpreendentemente, a sonda, ao percorrer a superfície da amostra, gera imagens tridimensionais com aumento de até  $10^8$  vezes (dez milhões de vezes) e resolução vertical da ordem de 0,1 nanômetros! Dependendo do tipo de interação – tunelamento, atômica de curto alcance, magnética, elétrica – diferentes tipos de imagens podem ser obtidos da superfície de uma amostra. Detalhes sobre o modo de funcionamento dos microscópios de varredura por sonda mecânica e o tipo de imagens que se pode obter são encontrados nas referências bibliográficas (4, 5).

Além de propiciar a observação de praticamente todos os tipos de materiais em médias e elevadas ampliações, esses microscópios possibilitaram a realização do sonho preconizado por Feynman: a manipulação de átomos. Pesquisadores de alguns institutos de pesquisa conseguiram manipular uns poucos átomos nestes microscópios e confeccionaram pequenos desenhos na superfície de materiais, como a logomarca da IBM ou um mapa simplificado do continente americano. No entanto, é importante destacar que, apesar da grande quantidade de estudos realizados em todo o mundo e dos relevantes avanços obtidos, a fabricação de dispositivos e novos materiais através da manipulação atômica ainda está em nossa imaginação. A previsão dos cientistas para que isto aconteça varia de cinco a 15 anos.

## **O GRUPO DE NANOSCOPIA DO CETEC**

O Cetec é um centro de pesquisas com o objetivo de responder às necessidades de aumento da competitividade das empresas mineiras e do país, por meio da otimização de processos, da melhoria da qualidade de produtos e da redução do comprometimento ambiental decorrente das atividades produtivas. Estas ações são implementadas por meio de atividades de pesquisa, prestação de serviços e difusão tecnológica.

Em 1990, a equipe do Setor de Tecnologia Metalúrgica do Cetec, que se dedica prioritariamente ao estudo de materiais metálicos, percebeu a

necessidade de ampliar sua competência em análises microscópicas, visando manter-se atualizada e capaz de atender demandas futuras no campo da nanotecnologia. Foi elaborado um projeto com o objetivo de implantar o primeiro laboratório do estado em técnicas de microscopia de varredura por sonda mecânica e formar um grupo especializado na utilização destes equipamentos e na interpretação das imagens obtidas. O projeto recebeu financiamento da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) e, em 1994, começou a funcionar o Laboratório de Nanoscopia do Cetec. Atualmente, este laboratório possui quatro microscópios completos e infra-estrutura para o estudo de diversos tipos de materiais.

Dois pesquisadores do Cetec foram treinados no exterior para trabalhar com os novos microscópios, uma vez que não havia esta competência no Brasil. Receberam treinamento do fabricante do equipamento, a Digital Instruments Inc., em Santa Bárbara, na Califórnia, e de professores americanos na Universidade de Lehigh, em Bethlehem, na Pensilvânia.

Desde o início da implantação do laboratório, houve a preocupação de se trabalhar com um parceiro industrial. A SID Microeletrônica, única fábrica no país que, em 1994, possuía o ciclo completo de processamento de microcircuitos, foi a primeira parceira. A corrida mundial na direção da crescente miniaturização dos microcircuitos e do aumento da escala de produção exigia mudanças contínuas no processo de fabricação da SID. O Laboratório de Nanoscopia do Cetec era adequado para caracterizar morfológicamente os novos dispositivos projetados e confeccionados pela SID e propor, junto com seus engenheiros, ajustes no processo. Utilizando-se a técnica de microscopia de força atômica, medidas micro e nanométricas de componentes, de regiões dopadas, de trilhas de metalização, de máscaras de fotolitografia, entre outras, foram realizadas (6-8). Em consequência desta parceria, mudanças foram implementadas com sucesso na SID Microeletrônica.

Infelizmente, para fazer frente à corrida mundial da microeletrônica, era necessário que algumas etapas do processo de fabricação da SID fossem completamente substituídas. A falta de investimentos na fábrica provocou a paulatina desativação de áreas e o consequente fechamento da unidade de difusão e confecção de microcircuitos.

O grupo de nanoscopia do Cetec adotou, então, procedimentos para divulgar e aplicar estas novas técnicas de análise microestruturais que envolveram contatos com indústrias do Estado de Minas Gerais, potencialmente usuárias, e na formação de pessoal.

O objetivo foi ampliar o mais rapidamente possível o nível de conhecimento de grupos de pesquisa e de indústrias sobre as novas microscopias e identificar outras aplicações.

### **PARCERIAS COM INDÚSTRIAS**

O Cetec tem larga experiência no trabalho conjunto com empresas, especialmente aquelas ligadas ao setor minero-metalúrgico. Dois exemplos de parcerias bem-sucedidas, nas quais as novas técnicas nanoscópicas foram utilizadas, são os da Cia. Siderúrgica Belgo Mineira (Belgo) (9) e da Acesita S.A. (10). Ambas fazem parte, atualmente, do grupo Arcelor.

O principal produto da Belgo (9) são fios de aço alto carbono, utilizados comercialmente na forma de cabos, cordoalhas, tirantes, molas, cordonéis de aço para pneus radiais e outros componentes, cuja característica principal é sua elevada resistência mecânica. Esta resistência mecânica está intimamente associada ao espaçamento entre as duas fases que compõem a microestrutura deste material: o ferro e o carboneto de ferro. Estas fases formam-se como lamelas e dispõem-se sucessivamente no interior do aço. Seguindo a tendência mundial, o espaçamento entre estas lamelas vem diminuindo progressivamente, atingindo dimensões nanométricas, tornando o aço cada vez mais resistente. As mudanças na fabricação e no processamento deste material são quase contínuas, na busca de melhor posição no *ranking* mundial, em termos de qualidade do produto.

Objetivando a melhor caracterização deste aço e o estudo das relações entre suas propriedades mecânicas, composição química e processamento, o Cetec utilizou o microscópio de força atômica para medir o espaçamento entre as duas fases (11). A metodologia de observação e medição das lamelas do aço alto carbono nesse tipo de microscópio foi desenvolvida e uma extensa série de medidas realizadas. Espaçamentos da ordem de 10nm foram observados. Aumentos de até um milhão de vezes foram empregados para visualizar o tamanho e a morfologia das lamelas à medida que eram deformadas mecanicamente.

Este trabalho contribuiu de forma decisiva para a melhor compreensão e controle das propriedades desses aços. Além disso, a metodologia de preparação e observação das amostras deste aço com alto teor de carbono foi repassada para o meio acadêmico e utilizada em uma série de trabalhos de dissertação de mestrado e doutorado da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Ainda, uma estudante de doutorado da Universidade Católica de Louvain (KUL), na Bélgica, veio especialmente ao Brasil para absorver esses conhecimentos. Atualmente, esta doutora trabalha na fábrica da Bekaert/ Bélgica, produtora de cordões de aço para pneus radiais.

Em parceria com a Acesita S.A., o Cetec trabalhou no apoio ao desenvolvimento de três produtos: a) o aço inoxidável colorido; b) um aço inoxidável no qual uma parte do níquel presente em sua composição química foi substituído por cobre; e, c) o aço elétrico ao silício. Nos três casos, a microscopia de força atômica foi utilizada pela primeira vez para a melhor caracterização dos materiais, objetivando gerar novos produtos, melhoria de processos e redução de custos.

O processo de fabricação do aço inoxidável colorido foi desenvolvido pelo Cetec com apoio da Acesita e da Fapemig e, posteriormente, patenteadado e a tecnologia transferida ao setor produtivo. Uma nova fábrica foi montada em Mateus Leme, Minas Gerais, para a produção de chapas de aço inoxidável colorido com a tecnologia desenvolvida: a Inoxcolor-Aços Inoxidáveis Coloridos Ltda (12).

A coloração é feita por meio da deposição eletroquímica de um filme de óxido transparente na superfície do aço, de espessura variando entre 50 e 400 nm. As diversas cores que podem ser geradas – bronze, azul, verde, dourado, preto etc – aparecem por um fenômeno de interferência da luz e variam com a espessura do filme. Diversos aspectos superficiais foram analisados por microscopia de força atômica, buscando relações entre a rugosidade e a porosidade dos filmes e sua resistência à corrosão e ao desgaste. A rugosidade e a porosidade encontradas estão na faixa nanométrica. Os poros medem entre 5 e 15 nm e influenciam marcadamente o comportamento de corrosão e desgaste do produto aço inoxidável + filme de óxido. Os resultados obtidos são de extrema importância para a Inoxcolor, única fábrica da América Latina que atualmente comercializa o aço inoxidável colorido (13).

O desenvolvimento de um novo aço inoxidável com teor de níquel mais baixo teve como meta a expansão do mercado de aços inoxidáveis para estampagem produzidos pela indústria nacional, por meio do aumento da qualidade e da redução do custo de fabricação. O níquel, elemento caro e estratégico, foi substituído em parte por cobre. A pesquisa, financiada pela Finep, e realizada em parceria pelo Cetec, Acesita e a UFMG, atingiu seu objetivo. Neste projeto, as microscopias de força atômica e de força magnética foram utilizadas com êxito na caracterização das fases que aparecem durante o processo de deformação do aço e que influenciam em suas propriedades mecânica e de estampabilidade (14, 15).

No caso do aço elétrico ao silício, a microscopia de força atômica proporcionou a visualização e a medição de precipitados de sulfetos de manganês na faixa de 40 a 100 nm. O controle do tamanho destes precipitados em etapas de fabricação do aço ao silício é de extrema importância para a qualidade do produto final (16).

### **FORMAÇÃO DE PESSOAL**

A formação de pessoal foi, de início, realizada por meio da concessão de bolsas de pós-doutorado, recém-doutor e desenvolvimento tecnológico industrial. As bolsas foram financiadas pela Fapemig e pelo CNPq. Este último, aprovou um programa de capacitação de recém-doutores que foi de fundamental importância na disseminação do conhecimento para egressos de cursos de pós-graduação em física, química, engenharia química e engenharia metalúrgica da UFMG. Um dos bolsistas deste programa é hoje professor do Departamento de Física desta universidade e lá nucleou um grupo de apoio às pesquisas em nanociências. Posteriormente, implantou o segundo laboratório de nanoscopia em Minas Gerais.

Iniciou-se, então, uma segunda etapa de treinamento de pessoal, envolvendo alunos de iniciação científica, mestrado e doutorado dos cursos de pós-graduação acima citados, que realizavam análises nos equipamentos do Laboratório de Nanoscopia do Cetec e defendiam suas dissertações e teses na UFMG. A parceria com a pós-graduação em física foi especialmente frutífera, com a participação do grupo do Cetec em um Pronex (Núcleo de Excelência em Semicondutores) e um Instituto do Milênio (Instituto de

Nanociências), liderados por professores da física da UFMG e financiados pelo MCT/CNPq (<http://www.fisica.ufmg.br/docs/nanoci/nanoproj.html>).

## **A NANOBIOTECNOLOGIA**

A mais recente parceria realizada pelo Cetec contempla a nanobiotecnologia. As pesquisas da nanociência e da nanotecnologia nas áreas farmacêutica e biomédica apresentaram um importante avanço nas últimas décadas em virtude do potencial de oferecer ao mercado produtos biocompatíveis, bioseletivos e biodegradáveis. Diversos cientistas acreditam que as aplicações de maior sucesso e de menor tempo de incubação da nanotecnologia estão ligadas a nanobiotecnologia. São sistemas que se organizam de forma inteligente e têm capacidade de se multiplicar, solucionando problemas de fabricação comercial dos novos produtos.

São estudados, por exemplo, biopolímeros capazes de se auto-organizar e formarem nanoestruturas, sob a configuração de nanoesferas ou nanocápsulas. Estas nanocápsulas podem agir como vetores capazes de liberar um fármaco no local exato do organismo (*drug delivery*), por períodos de tempo prolongados, alterando a biodistribuição dos princípios ativos a elas associados. Seria possível, por exemplo, uma grande redução da dose administrada com menores efeitos colaterais. Na imunoprofilaxia, avanços têm sido obtidos utilizando sistemas nanoestruturados como veículos de antígenos para indução da resposta imune.

A Rede Mineira de Pesquisas em Nanobiotecnologia envolve pesquisadores de diferentes instituições e formações: biólogos, médicos, farmacêuticos, químicos, cientistas de materiais. Participam da rede o Cetec, a UFMG, a Universidade Federal de Ouro Preto (Ufop) e a Fundação Ezequiel Dias (Funed). Objetiva-se, prioritariamente, o desenvolvimento de produtos nanobiotecnológicos para o diagnóstico e tratamento de doenças inflamatórias e infecciosas, no tratamento do câncer e de doenças infecciosas e parasitárias, como a leishmaniose, a malária, a esquistossome e a doença de Chagas.

Nessa rede, a microscopia de força atômica está sendo utilizada na caracterização e análise de lipossomas, nanocápsulas, nanoesferas e outros materiais nanoestruturados. Pesquisadores da rede estão sendo treinados para operar os equipamentos do Laboratório de Nanoscopia do Cetec e, juntamente com a equipe

do Centro, desenvolver metodologias e procedimentos de preparação de amostras para estas análises. Os primeiros resultados obtidos mostram-se promissores ao avanço deste vasto e inexplorado campo da nanociência.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Algumas formas de parcerias estratégicas empregadas pelo laboratório de nanoscopia do Cetec, objetivando disseminar e aplicar os conhecimentos adquiridos em técnicas de microscopia de varredura por sonda mecânica, são de extrema importância para o desenvolvimento da nanociência/nanotecnologia, por possibilitarem a obtenção de imagens tridimensionais em escala nanométrica e, ainda, a realização de experiências de manipulação de partículas e atômica. As experiências que o Cetec vem desenvolvendo, e que foram apresentadas neste artigo, mostram que para alavancar e acelerar o desenvolvimento da nanociência, é importante a formação de parcerias com instituições de ensino superior (sob a forma de redes de pesquisas ou de orientação conjunta de mestrandos e doutorandos), indústrias (execução de projetos ou prestação de serviços) e órgãos públicos de financiamento. Investimentos em nanociências por meio destas agências de fomento trarão como conseqüências lucros potenciais e uma economia mais robusta para o Brasil. Finalmente, o caráter interdisciplinar das parcerias é de fundamental importância para ser bem-sucedido no mercado mundial de nanotecnologia.

## **REFERÊNCIAS**

- 1 FEYNMAN, R. P. *Engineering and science*. [S. l.] : Californian Institute of Technology, 1960.
- 2 BINNIG, G. *et al.* E.; Surface studies by scanning tunneling microscopy. *Phys. Rev. Lett.*, v. 49, p. 57, 1982.
- 3 \_\_\_\_\_; QUATE, C. F.; GERBER, C. Atomic force microscope. *Phys. Rev. Lett.*, v. 56, p. 930, 1986.
- 4 NEVES, B. R. A.; VILELA, J. M. C.; ANDRADE, M. S. Microscopia de varredura por sonda mecânica: uma introdução. *Cerâmica*, v. 44, n. 290, p. 212-219, nov./dez. 1998.

5 ANDRADE, M. S.; VILELA, J. M. C.; GOMES, O. A. Microscopia de varredura por sonda mecânica. *Metalurgia e Materiais - Caderno Técnico*, v. 58, n. 518, p. 123-125, 2002.

6 VILELA, J. M. C. *et al.* Observação de perfis de dopagem em dispositivos semicondutores por microscopia de força atômica. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA E TÉCNICAS ASSOCIADAS À PESQUISA DE MATERIAIS*, 4., 1994, São Carlos, SP. **Anais...** [S. l. : s. n.], 1994. p. 39-42.

7 BRÁZ, I. C. *et al.* Observation of photoresist thermal plastic flow with atomic force microscopy. *In: CONGRESS OF THE BRAZILIAN MICROELECTRONICS SOCIETY*, 10., 1995; *IBERO AMERICAN MICROELECTRONICS CONFERENCE*, 1., 1995. [S. l.], 1995. v. 1, p. 607-615.

8 PETER, C. R. *et al.* Siloxane spin on glass for interlayer dielectric planarization. *In: CONGRESS OF THE BRAZILIAN MICROELECTRONICS SOCIETY*, 10., 1995; *IBERO AMERICAN MICROELECTRONICS CONFERENCE*, 1., 1995. [S. l.], 1995. v. 1, p. 411-421.

9 Disponível em: <<http://www.belgo.com>>.

10 Disponível em: <<http://www.acesita.com.br>>.

11 BUONO, V. T. L. *et al.* Measurement of fine pearlite interlamellar spacing by atomic force microscopy. *Journal of Materials Science*, v. 32, n. 4, p. 1005-1008, Jan. 1997.

12 Disponível em: <<http://www.inoxcolor.com.br>>.

13 JUNQUEIRA, R. M. R. *Caracterização de filmes finos de coloração por interferência em aços inoxidáveis*. 2004. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

- 14 VILELA, J. M. C. *et al.* Análise metalográfica em aço inoxidável austenítico após deformação em diferentes temperaturas. *Metalurgia e Materiais – Engenharia e Aplicações de Materiais*, v. 58, n. 2, p. 25-31, 2002.
- 15 NEVES, B. R. A.; ANDRADE, M. S. Identification of two patterns in magnetic force microscopy of shape memory alloys. *Applied Physics Letters*, v. 74, n. 14, p. 2090-2092, Apr. 1999.
- 16 ANDRADE, M. S. *et al.* Imaging manganese sulfide inclusions in grain oriented silicon steels. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PHYSICS AND INDUSTRIAL DEVELOPMENT: BRIDGING THE GAP, 2., 1996, Belo Horizonte, MG. Proceedings...* [S. l. : s. n.], 1996. p. 203-207.
- 17 FÓRUM DA REDE MINEIRA DE PESQUISAS EM NANOBIOTECNOLOGIA, 2003, Serra do Cipó, MG. *Anais...* [S. l. : s. n.], 2003.

## **Resumo**

O artigo apresenta algumas formas de parcerias estratégicas empregadas pelo laboratório de nanoscopia do Cetec objetivando disseminar e aplicar os conhecimentos adquiridos em técnicas de microscopia de varredura por sonda mecânica. Estas técnicas são de extrema importância para o desenvolvimento da nanociência/nanotecnologia por possibilitarem a obtenção de imagens tridimensionais em escala nanométrica e, ainda, a realização de experiências de manipulação de partículas e atômica. A experiência do Cetec mostra que, para alavancar e acelerar o desenvolvimento da nanociência, é importante a formação de parcerias com instituições de ensino superior (sob a forma de redes de pesquisas ou de orientação conjunta de mestrandos e doutorandos), indústrias (execução de projetos ou prestação de serviços) e órgãos públicos de financiamento. Investimentos em nanociências por meio destas agências de fomento trarão como conseqüências lucros potenciais e uma economia mais robusta para o Brasil. Finalmente, o caráter interdisciplinar das parcerias é de fundamental importância para ser bem-sucedido no mercado mundial de nanotecnologia.

## **Abstract**

*This paper presents different ways the nanoscopy laboratory of Cetec formed strategic partnerships aiming at applying knowledge related to the scanning probe microscopy. This new type of microscope technique is of utmost relevance to the development of nanoscience and nanotechnology due to its ability to produce three-dimensional nanometric images and it can also be used to do particle and atomic manipulation. The experience of Cetec has proven that in order to produce fast advances related to those challenges of nanoscience it is important to pursue strategic associations with universities (research networks, graduate programs), industries (consulting, research partnerships) and financial public agencies. Investments into nanoscience by financial institutions may lead to profits and a more robust economy for Brazil. Finally, the interdisciplinary characteristics of these partnerships are of fundamental importance to obtain success in the nanotechnology world market.*

## **A Autora**

MARGARETH SPANGLER ANDRADE. Doutora em Ciências Aplicadas pela Universidade Católica de Louvain (Bélgica), é física e mestre em Engenharia de Minas e Metalurgia pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). É pesquisadora do Setor de Tecnologia Metalúrgica da Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (Cetec).

# Aplicações biomédicas de nanopartículas magnéticas

---

*Zulmira Guerrero Marques Lacava*

*Paulo César de Moraes*

## **INTRODUÇÃO**

A nanotecnologia está ligada à manipulação da matéria em uma escala em que os materiais revelam características peculiares, podendo apresentar tolerância à temperatura, variedade de cores, alterações da reatividade química, da condutividade elétrica, ou mesmo exibir interações de intensidade extraordinária. Estas características explicam o interesse tecnológico em relação aos nanomateriais, que já são fabricados em escala para emprego em cosméticos, tintas, revestimentos, tecidos, catalisadores ou para proporcionar mais resistência aos materiais.

Até recentemente os nanotecnologistas concentravam-se quase totalmente na eletrônica, computadores, telecomunicações ou manufatura de materiais. Atualmente, a nanotecnologia biomédica, na qual os bioengenheiros constroem partículas minúsculas combinando materiais inorgânicos e orgânicos, está assumindo a fronteira deste campo científico que progride em velocidade assustadora.

A nanotecnologia biomédica produzirá avanços importantes no diagnóstico, terapêutica, biologia molecular e bioengenharia. Se por um lado ainda está longe a viabilidade de construção de grande parte dos nanodispositivos imaginados, hoje é bastante plausível o uso de nanossistemas para a veiculação de drogas e tratamento de inúmeras doenças, como os que se baseiam em lipossomos e nanopartículas. Estes sistemas ficam especialmente interessantes se forem construídos a partir de nanopartículas magnéticas.

As nanopartículas magnéticas têm um potencial enorme para aplicações em diversas vertentes tecnológicas. Podem ser utilizadas para fabricar nanocompósitos magnéticos, preparar fluidos magnéticos e magnetolipossomas, estes na forma de colóides ultra-estáveis. Para emprego na área biomédica, as nanopartículas magnéticas devem atravessar a barreira endotelial e se acumular especificamente nas células-alvo, sem dano às células normais. Estas características podem ser atingidas por meio do recobrimento das partículas com um material biologicamente ativo, do controle de seus parâmetros físicos, tais como o tamanho da partícula, a susceptibilidade magnética da solução e o conhecimento do seu comportamento no organismo. Além de conferir biocompatibilidade aos fluidos magnéticos, a cobertura das nanopartículas magnéticas com íons específicos, nucleotídeos, oligonucleotídeos, peptídeos, vitaminas, antibióticos, substratos análogos ou anticorpos possibilita numerosas aplicações biomédicas (1). Por outro lado, em vez de estarem na forma de um fluido magnético, as nanopartículas magnéticas podem estar encapsuladas em lipossomos (2-6), vesículas que, similares a estruturas celulares, apresentam características adequadas para aplicações biomédicas.

De forma geral, as nanopartículas magnéticas contidas em um fluido magnético ou incorporadas em lipossomos têm recebido atenção especial porque podem ser guiadas ou localizadas em um alvo específico por campos magnéticos externos (6-9). Esta localização em um sítio preferencial por gradientes de campos magnéticos sugeriu que magnetolipossomos e fluidos magnéticos, entre outros sistemas magnéticos, se tornassem efetivos carreadores de drogas com especificidade de sítio para a liberação controlada de agentes quimioterápicos. Mas as aplicações biomédicas potenciais dos sistemas magnéticos superam a atividade de carreadores de drogas, sendo usados também como agentes de contraste em imagens de ressonância magnética nuclear (10-12), na separação magnética de células ou moléculas biológicas variadas (13), em marcadores para células alvo (13-15), e na terapêutica do câncer por magnetohipertermia (16-18). Algumas das aplicações biomédicas possíveis das nanopartículas magnéticas mais relevantes estão consideradas a seguir.

## **APLICAÇÕES BIOMÉDICAS DAS NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS**

Excelentes revisões recentes abordam, sob vários aspectos, as aplicações biomédicas dos materiais magnéticos (13, 19-22).

De maneira geral, as aplicações biomédicas das nanopartículas magnéticas compreendem as que envolvem sua administração dentro do organismo (*in vivo*) e as externas ao organismo (*in vitro*). As aplicações *in vivo* ainda podem ser classificadas em terapêuticas (hipertermia e carreamento de drogas) e diagnósticas (imagens de ressonância magnética nuclear), enquanto as aplicações *in vitro* compreendem essencialmente as diagnósticas (separação/seleção celular).

## **APLICAÇÕES *IN VIVO***

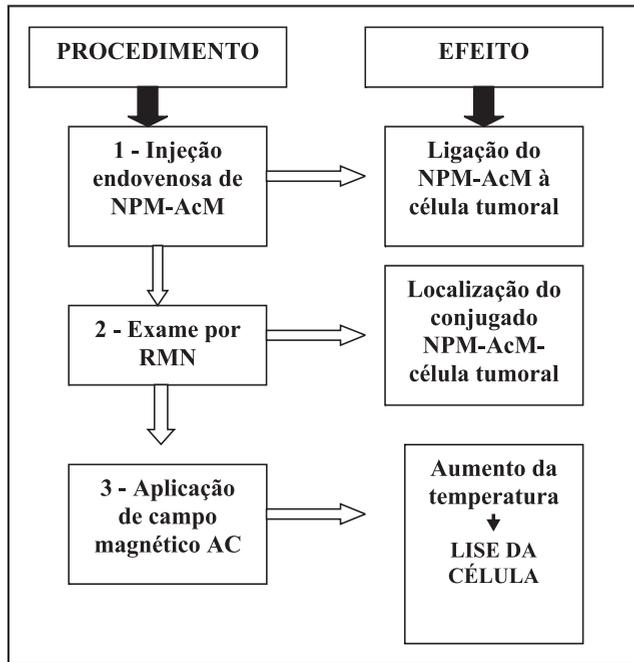
### **1) APLICAÇÕES TERAPÊUTICAS**

#### **1.1) MAGNETOHIPERTERMIA**

Hipertermia é o procedimento terapêutico empregado para proporcionar aumento de temperatura em uma região do corpo que esteja afetada por uma neoplasia, com o objetivo de causar a lise das células cancerosas. Seu funcionamento se baseia no fato de que a temperatura de 41-42°C tem o efeito de destruir diretamente as células tumorais, uma vez que estas são menos resistentes a aumentos bruscos de temperatura do que as células normais circunvizinhas.

O aumento de temperatura requerido pela hipertermia pode ser atingido, entre outros métodos (3), pelo uso de nanopartículas magnéticas. Quando submetidas à ação de um campo magnético externo de frequência alternada (AC), as nanopartículas magnéticas são aquecidas (23). O uso de nanopartículas magnéticas (monodomínios magnéticos) é preferível às micropartículas (multidomínios magnéticos) porque as nanopartículas magnéticas respondem mais eficientemente a campos externos AC aplicados externamente e absorvem destes mais energia (20, 24).

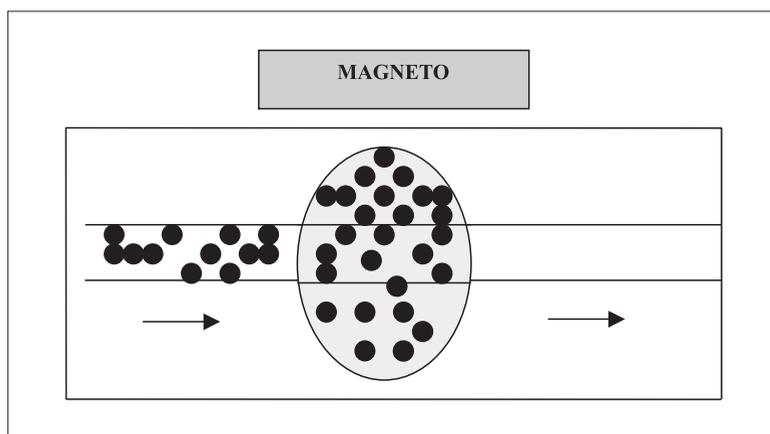
No processo de magnetohipertermia, também conhecido como magnetotermocitolise (ver Figura 1), as nanopartículas magnéticas (NPM) biocompatíveis são associadas a anticorpos monoclonais (AcM) específicos para proteínas da membrana de células tumorais.



**Figura 1** – Esquema da magnetohipertermia mostrando a seqüência de procedimentos e suas conseqüências. No procedimento 2, uso de nanopartículas magnéticas para diagnóstico. No procedimento 3, uso de nanopartículas magnéticas para terapia. NPM-AcM, conjugado nanopartícula magnética-anticorpo monoclonal; RMN, ressonância magnética nuclear; AC, campo magnético de frequência alternada.

Administrados ao paciente, o conjugado NPM-AcM potencializa o contraste de imagens de ressonância magnética, possibilitando que metástases sejam localizadas de forma mais eficiente e precoce (25). Após absorção pelas células cancerígenas, as nanopartículas magnéticas são submetidas a um campo magnético AC, o que resulta na elevação local da temperatura (16) e subsequente lise da célula tumoral. Alternativamente, as nanopartículas magnéticas podem ser atraídas e retidas na região do tumor pelo uso de gradientes de campo magnético externo (ver Figura 2) ou ainda serem injetadas diretamente no tumor (3-5). Qualquer que seja a forma de condução das nanopartículas magnéticas ao tumor, é viável a localização do aquecimento ao tecido tumoral, minimizando danos aos tecidos normais circunvizinhos, o que faz da magnetohipertermia uma técnica promissora para tratamento de cânceres diversos (1, 26).

Estudos relacionados à utilização de nanopartículas magnéticas como mediadores no aquecimento e lise de células tumorais têm sido realizados com magnetolipossomos ou fluidos magnéticos apresentando recobrimentos diversos (2-5, 27). Testes da técnica têm apresentado resultados encorajadores (3, 28), inclusive o de induzir maior resposta imune (29), fatos que estimularam o desenvolvimento, por pesquisadores dos institutos de Ciências Biológicas e de Física, da Universidade de Brasília (UnB), de um novo equipamento necessário para aplicação do campo magnético AC no processo (26). A magnetohipertermia tem sido usada em conjunto com outras modalidades de tratamento do câncer, sobretudo para melhorar a eficácia dos fármacos antineoplásicos, sem aumentar o seu potencial citotóxico, sendo também favorável a aumentar a resposta clínica na radioterapia, imunoterapias (30) e terapia gênica (24, 27). Vale ressaltar o uso da magnetohipertermia em associação com a terapia fotodinâmica (TFD), procedimento em desenvolvimento no Brasil, por participantes da Rede de Pesquisa em Nanobiotecnologia (MCT/CNPq).



**Figura 2** – A figura mostra o efeito da aplicação de um campo magnético estático a um sistema contendo nanopartículas magnéticas acopladas a moléculas biológicas apropriadas (M), o que pode ser vantajoso para procedimentos (1) *in vivo*: administradas endovenosamente são concentradas na região alvo (1.1) como primeira etapa no processo de magnetohipertermia; (1.2) no carreamento de drogas quimioterápicas; ou ainda para procedimentos (2) extra-corpóreos ou *in vitro*: (2.1) na separação de células tumorais, infectadas ou transformadas, no processo de magnetoaférese; (2.2) na separação de células do sistema imune e de células-tronco; (2.3) na separação de organelas celulares; (2.4) no diagnóstico de doenças, entre outros.

## 2.1) CARREADORES DE DROGAS

O carreamento de drogas por sistemas nanoparticulados é considerado uma técnica valiosa para otimizar a liberação controlada de drogas (31). A miniaturização de um sistema carreador de drogas até a escala nanométrica permite boa estabilidade, absorção e transferência tissular quantitativa excelente, e, assim, a esperada atividade farmacodinâmica. Além disto, os efeitos colaterais e reações por corpo estranho podem ser evitados, simultaneamente à obtenção de tolerância local e sistêmica. Tais propósitos podem ser atingidos ao se liberar a dose correta da droga especificamente nos tecidos ou células alvo, sem sobrecarregar o organismo com doses massivas, o que é verdadeiro sobretudo para drogas com efeitos colaterais severos, como os quimioterápicos para câncer. Muitos sistemas nanoparticulados estão sendo usados atualmente (32-35) e, entre eles, os baseados nas nanopartículas magnéticas assumem papel importante devido à já mencionada propriedade de serem conduzidas e retidas em uma região específica do corpo por meio de gradiente de campo magnético externo (36-38) (ver Figura 2).

Com o objetivo de aumentar a especificidade, o conjugado NPM-droga pode ser associado com uma outra molécula capaz de reconhecer e se ligar especificamente ao sítio alvo. Tais moléculas podem ser anticorpos, proteínas, lectinas, hormônios, entre outros. No carreamento de drogas, o uso de nanopartículas magnéticas favorece o transporte pelo sistema capilar dos órgãos e tecidos, evitando a embolia dos vasos. Há poucos anos foi anunciada uma primeira tentativa clínica de carreamento magnético de droga anticâncer (38) que obteve sucesso em 50% dos pacientes terminais testados.

Uma outra aplicação interessante para o sistema magnético como carreador de drogas é a terapia gênica, que representa um desenvolvimento fantástico no tratamento médico, pois postula a substituição de genes em células alvo para a retificação de desordens genéticas ou para produção de agentes que possam estimular o sistema imune. Uma das grandes limitações para a terapia gênica, entretanto, é a inexistência de um sistema eficiente de carreamento dos genes devido à meia-vida curta, falta de especificidade com a célula alvo e baixas eficiências de transfecção (39). A transfecção mediada por nanopartículas magnéticas, chamada magnetofecção, foi recentemente testada (40, 41) e os resultados são promissores, pois se observou aumento da especificidade e eficiência, importantes requisitos da terapia gênica.

## **2) APLICAÇÕES DIAGNÓSTICAS**

### **2.1) IMAGENS POR RESSONÂNCIA MAGNÉTICA NUCLEAR**

A ressonância magnética nuclear tem assumido grande importância em relação a outras técnicas de obtenção de imagem. Baseada no comportamento diferente dos prótons de diferentes tecidos, a técnica fornece uma imagem das estruturas anatômicas as quais podem ser melhor destacadas pelo uso de agentes de contraste. As nanopartículas magnéticas, especialmente as menores que 10 nm (20), representam uma classe alternativa de agentes de contraste para ressonância magnética nuclear com vantagens do ponto de vista físico, pois destacam ainda mais o comportamento dos prótons de diferentes tecidos (22).

Um caso especial de obtenção de imagens por ressonância magnética nuclear é obtido pela associação de anticorpos monoclonais às nanopartículas magnéticas. Esta associação permite a detecção precoce de micrometástases por ressonância magnética nuclear, possibilitando o tratamento subsequente pelo processo de magnetohipertermia, facilitando a erradicação do câncer (42).

## **APLICAÇÕES *IN VITRO***

### **1) APLICAÇÕES DIAGNÓSTICAS**

#### **1.1) SEPARAÇÃO E SELEÇÃO**

O processo de separação e seleção de moléculas específicas contidas em grandes volumes de solução representa um grande problema para as ciências biológicas. O uso de colunas de cromatografia convencionais pode consumir muito tempo e é neste campo que o uso de adsorventes magnéticos ou magnetizáveis ganha importância. Neste procedimento, o adsorvente magnético é adicionado a uma solução ou suspensão contendo o alvo. Este se liga ao adsorvente magnético e o complexo é recolhido da suspensão por meio de um separador magnético apropriado (ver Figura 2). O processo de separação pode ser acelerado até 35 vezes. Além disso, outra vantagem em se usar nanopartículas magnéticas em vez de micropartículas magnéticas é que

permitem o preparo de suspensões que são estáveis em relação à sedimentação na ausência de um campo magnético aplicado. É bastante amplo o espectro de utilização de nanopartículas magnéticas em separação (19): poli (A)+ RNA, anticorpos monoclonais, diversas enzimas, como álcool desidrogenase e lactato-desidrogenase, organelas subcelulares e células específicas, entre outros. Modificações magnéticas de técnicas padrão de imunoenaios podem ser valiosas para a determinação de muitos compostos biologicamente ativos e de xenobióticos, possibilitando maior rapidez e maior reprodutibilidade (19).

A marcação magnética de células e subsequente isolamento apresentam inúmeras possibilidades na área biomédica. Especialmente importantes são os processos de 1) detecção e remoção de células tumorais circulantes usando o procedimento imunomagnético (43); e, 2) a separação seletiva de células CD34+ (células-tronco) que abre novas possibilidades para o transplante de células-tronco e manipulação genética do sistema hematopoiético (44). A técnica pode igualmente ser aplicada para a seleção de células apoptóticas, células geneticamente transformadas ou de organelas celulares como lisossomo, membrana plasmática etc (19).

Biossensores para poluentes ainda não possíveis com a tecnologia vigente constituem um outro alvo da nanobiotecnologia. Aplicados à saúde pública, os biossensores poderiam levar à detecção de contaminantes bacterianos em água e alimentos, encontrar melhores formas de detectar baixos níveis de toxinas ou proporcionar diagnósticos laboratoriais mais rápidos.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Tecemos considerações sobre algumas aplicações das nanopartículas magnéticas no campo da biologia e da medicina. Muitas outras aplicações potenciais poderiam ser citadas: agente interruptor do fluxo sanguíneo em cirurgias cardíacas, associação a radioisótopos para uso na braquiterapia, estudos da membrana celular ou do papel das forças mecânicas na transdução de sinais, regulação das funções celulares, incluindo o crescimento celular, proliferação, síntese protéica e expressão gênica, que sem sombra de dúvida, poderão levar ao uso mais abrangente dos sistemas nanoparticulados na área médica.

Podemos imaginar um futuro em que nanopartículas magnéticas possam ser usadas para o reparo do corpo humano com próteses ou reposição com partes artificiais. Nesta área merece destaque o trabalho pioneiro de Dailey e colaboradores (45) que anunciaram a síntese de um silicone baseado em fluido magnético para a cirurgia dos olhos, capaz de evitar o descolamento de retina, a principal causa de perda de visão em adultos.

Concretizar todo o potencial da nanobiotecnologia magnética não será tarefa fácil. Os nanobiotecnologistas precisarão dos conhecimentos das áreas envolvidas – biologia, física, química, farmácia, engenharia – cruzar barreiras, usar as habilidades e as linguagens das várias ciências que necessitam para fazer os sistemas vivos e os artificiais trabalharem lado a lado.

#### REFERÊNCIAS

- 1 DA SILVA, M. F. *et al.* Quantification of maghemite nanoparticles. *In: SHÜTT, W. et al. (Ed.). Scientific and clinical applications of magnetic carriers: an overview.* New York : Plenum, 1997. p. 171.
- 2 YANASE, M. *et al.* Intracellular hyperthermia for cancer using magnetite cationic liposomes: ex vivo study. *Jpn. J. Cancer Res.*, v. 88, p. 630-632, 1997.
- 3 \_\_\_\_\_. Intracellular hyperthermia for cancer using magnetite cationic liposomes: an in vivo study. *Jpn. J. Cancer Res.*, v. 89, p. 463-469, 1998.
- 4 \_\_\_\_\_. Antitumor immunity induction by intracellular hyperthermia using magnetite cationic liposomes. *Jpn. J. Cancer Res.*, v. 89, p. 775-782, 1998.
- 5 SHINKAI, M. Suzuki, *et al.* Development of anticancer drugs-encapsulated magnetoliposome and its combination effect of hyperthermia and chemotherapy. *Jpn. J. Oncol.*, v.14, p.14-21, 1998.
- 6 DE CUYPER, M. Joniau. Magnetoliposomes: formation and characterization. *Eur. Biophys. J.*, v.15, p. 311-319, 1988.
- 7 LACAVALA, Z. G. M. *et al.* Toxic effects of ionic fluids in mice. *J. Magn. Magn. Mater.*, v.194, p. 90-95, 1999.

- 8 LÜBBE, A. S. *et al.* Preclinical experiences with magnetic drug targeting: tolerance and efficacy. *Cancer Res.*, v. 56, p. 4694-701, 1996.
- 9 MORIMOTO, Y. *et al.* Biomedical applications of magnetic fluids II. Preparation and magnetic guidance of magnetic albumin microsphere for site specific drug delivery in vivo. *J. Pharmacobio-Dynam.*, v. 4, p. 624-631, 1981.
- 10 WEISSLEDER, R. *et al.* Ultrasmall superparamagnetic iron-oxide: an intravenous contrast agent for assessing lymph-nodes with Mr. Imaging. *Radiol.*, v. 175, p. 494-498, 1990.
- 11 SENETERRE, E. *et al.* Bone-marrow: ultrasmall superparamagnetic iron-oxide for Mr. Imaging. *Radiol.*, v. 179, p. 529-533, 1991.
- 12 CLEMENT, O. *et al.* Liver tumor in cirrhosis- experimental study with spio-enhanced Mr. Imaging. *Radiol.*, v. 180, p. 31-36, 1991.
- 13 SAFARIKOVA, M.; SAFARIK, I. The application of magnetic techniques in biosciences. *Magn. Electr. Separ.*, v. 10, p. 223-252, 2001.
- 14 SAFARIK, I.; PTACKOVA, L.; SAFARIKOVA, M. Magnetic solid-phase extraction of target analytes from large volumes of urine. *Eur. Cells Mat.*, v. 3, n. S2, p. 52, 2002.
- 15 MORAIS, J. P. M. G. *et al.* Magnetic resonance investigation of magnetic-labeled baker's yeast Cells. *J. Magn. Magn. Mater.*, v. 272-276, p. 2400, 2004.
- 16 BACRI, J. C. *et al.* Use of a magnetic nanoparticles for thermolysis of cells in a ferrofluid. In: SHÜTT, W. *et al.* (Ed.). *Scientific and clinical applications of magnetic carriers: an overview*. New York : Plenum, 1997. p. 597-606.
- 17 GORDON, R. T. US patent n. 4.735.796, 1998.
- 18 JORDAN, A. *et al.* Cellular uptake of magnetic fluid particles and their effects on human adenocarcinoma cells exposed to ac magnetic fields. *In Vitro. Int. J. Hypert.*, v. 12, p.705-722, 1996.

- 19 SAFARIK, I.; SAFARIKOVA, M. Magnetic nanoparticles and biosciences. *Monatshefte für Chemie*, v. 133, p.737-759, 2002.
- 20 TARTAJ, P. *et al.* The preparation of magnetic nanoparticles for applications in biomedicine. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, v. 36, p. R182-R197, 2003.
- 21 PANKHURST, Q. A. *et al.* Applications of magnetic nanoparticles in biomedicine. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, v. 36, p. R167-R181, 2003.
- 22 BERRY, C. C.; CURTIS, A. S. G. Functionalisation of magnetic nanoparticles for applications in biomedicine. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, v. 36, p. R198-R206, 2003.
- 23 HIERGEIST, R. *et al.* Application of magnetite ferrofluids for hyperthermia. *J. Magn. Magn. Mater.*, v. 201, p. 420-422, 1999.
- 24 DIEDERICH, C. J.; HYNYNEN, K. Ultrasound technology department. *Ultras. Med. Biol.*, v. 25, n. 6, p. 871-887, 1999.
- 25 SCHÜTT, W. *et al.* New methods for investigation of blood biomaterial interaction. *Artif. Org.*, v. 19, n. 8, p. 847-851, 1995.
- 26 GEDES, M. H .A. *et al.* Proposal of a magnetohyperthermia system: preliminary biological tests. *J. Magn. Magn. Mater.*, v. 272-276, p. 2406, 2004.
- 27 BOUHON, I. A. *et al.* Synergism between mild hyperthermia and interferon-beta gene expression. *Cancer Letters*, v.139, p. 153-158, 1999.
- 28 JORDAN, A. *et al.* Effects of magnetic fluid hyperthermia (mfh) on c3h mammary carcinoma *in vivo*. *Int J Hyperthermia*, v. 23, n. 6, p. 587-605, 1997.
- 29 SHINKAI, M. *et al.* Effect of functional magnetic particles on radiofrequency capacitive heating. *Jpn. J. Cancer Res.*, v. 90, p. 699-704, 1999.
- 30 SHINKAI, M. *et al.* Antibody-conjugated magnetoliposomes for targeting

- cancer cells and their application on hyperthermia. *Biotechnol. Appl. Biochem.* v. 21, p. 125-137, 1994.
- 31 SPEISER, P. P. Nanoparticles and liposomes: a state of the art. *Met. Find Exper. Clin. Pharmacol.*, v. 13, p. 337-342, 1991.
- 32 KUMAR, N.; RAVIKUMAR, M. N. V.; DOMB, A. J. Biodegradable block copolymers. *Adv. Drug Del. Rev.*, v. 53, p. 23-44, 2001.
- 33 DRUMMOND, D. C. *et al.* Optimizing liposomes for delivery of chemotherapeutic agents to solid tumors. *Pharmacol. Rev.*, v. 51, p. 691-743, 1999.
- 34 KAWAGUCHI, H. Functional polymer microspheres. *Prog. Polym. Sci.*, v. 25, p. 1171-1210, 2000.
- 35 MOGHIMI, S. M.; HUNTER, A. C. Capture of stealth nanoparticles by the body's defences. *Crit. Rev. Therap. Drug Carrier Syst.*, v.18, p. 527-550, 2001.
- 36 SHÜUTT, W. *et al.* Applications of magnetic targeting in diagnosis and therapy. Possibilities and limitations: a mini review. *Hibridoma.*, v. 16, n. 1, 1997.
- 37 LÜBBE, A. S.; BERGEMANN, C. Magnetically-controlled drug targeting. *Cancer J.*, v. 11 p. 3, 1998.
- 38 \_\_\_\_\_; ALEXIOU, C.; BERGEMANN, C. Clinical applications of magnetic drug targeting. *J. Surg. Res.*, v. 95, p. 200-206, 2001.
- 39 PAP, T. *et al.* Ex vivo gene transfer in the years to come. *Arthritis. Res.*, v. 4, p. 10-12, 2002.
- 40 SCHERRER, F. *et al.* Magnetofection: enhancing and targeting gene delivery by magnetic force in vitro and in vivo. *Gene Ther.*, v. 9, p. 102-109, 2002.
- 41 HUGHES, C. *et al.* Streptavidin paramagnetic particles provide a choice of three affinity-based capture and magnetic concentration strategies for retroviral vectors. *Mol. Her.*, v. 3, p. 623-630, 2001.

- 42 FIDLER, I. J. Cancer metastasis. *Brit. Med. Bull.*, v. 47, p. 157-177, 1991.
- 43 BILKENROTH, U. *et al.* Detection and enrichment of disseminated renal carcinoma cells from peripheral blood by immunomagnetic cell separation. *Int. J. Cancer.*, v. 92, p. 577, 2001.
- 44 KATO, K.; RADBRUCH, A. Isolation and characterization of cd34+ hematopoietic stem cells from human peripheral blood by high-gradient magnetic cell sorting. *Cytometry.*, v. 14, p. 384-392, 1993.
- 45 DAILEY, J. P.; PHILLIPS, J. P.; RIFFLE, J. S. Synthesis of silicone magnetic fluid for use in eye surgery. *J. Magn. Magn. Mater.*, v. 194, p. 140-148, 1999.

## **Resumo**

A nanotecnologia biomédica produzirá avanços importantes no diagnóstico, terapêutica, biologia molecular e bioengenharia. Atualmente, é possível o uso de nanossistemas para a veiculação de drogas e no tratamento de inúmeras doenças, como as que se baseiam em lipossomos e nanopartículas. Segundo os autores, esses sistemas ficam especialmente interessantes se forem construídos a partir de nanopartículas magnéticas, que têm um potencial enorme de aplicação se utilizadas no campo da biologia e da medicina, conforme descrito nos exemplos apresentados no texto.

## **Abstract**

*Biomedical nanotechnology will produce important advancements in diagnosis, therapeutics, molecular biology and bioengineering. Now it is quite possible to use nanosystems to administer medicine for the treatment of countless diseases. Such systems are especially interesting if built up from magnetic nanoparticles. They show an enormous potential of application in biology as well as in medicine.*

## **Os Autores**

ZULMIRA GUERRERO MARQUES LACAVA. Doutora em Genética e Imunologia e mestre em Biologia Molecular, é professora adjunta do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília (UnB).

PAULO CÉSAR DE MORAIS. Doutor em Física do Estado Sólido e mestre em Física, é professor titular do Instituto de Física da Universidade de Brasília (UnB).



## **INTRODUÇÃO**

Toda inovação científica e tecnológica envolve aspectos éticos, principalmente quanto à sua utilização e conseqüências para a sociedade. Por isso, essa questão não deve ser dissociada da responsabilidade e dos valores humanos intrínsecos, na tomada de decisão sobre o seu uso ou destino. Assim, a postura científica é fundamental, de modo que ao longo do processo contínuo de evolução do conhecimento, cada novo problema possa ser pesquisado e equacionado, balizando os preceitos da ética (1).

Tem sido notório o interesse que a nanotecnologia vem despertando nos setores governamentais dos Estados Unidos, ligados à energia, defesa e aeronáutica (2). De fato, em termos de segurança e de recursos bélicos, a nanotecnologia é um recurso que poderá ser explorado de inúmeras formas; por exemplo, criando materiais que escapam à detecção dos radares, produtos dotados de capacidade de reconhecimento molecular para atuar em alvos biológicos específicos, e até novos dispositivos de destruição ou defesa, baseados em alta tecnologia.

É importante destacar que na forma nanométrica os materiais não se comportam exatamente da forma como os conhecemos e utilizamos no dia-a-dia. Aproximando-se da dimensão quase atômica, os metais já começam a expor sua verdadeira química, às vezes camuflada no mundo macroscópico. Um exemplo típico é o alumínio, metal amplamente utilizado nos utensílios domésticos, recipientes de bebidas e materiais de construção. Os químicos sabem que o alumínio é um elemento bastante reativo, com enorme facilidade

de combinar-se com o oxigênio para formar o óxido de alumínio, ou alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Esse processo é muito energético, e deveria provocar a imediata combustão do metal. Na realidade, isso não acontece no mundo macroscópico porque a oxidação do metal leva à formação de uma camada protetora de óxido de alumínio, impedindo que a reação com o oxigênio continue a ocorrer. Entretanto, na forma particulada, ou ao ser aquecido em temperaturas elevadas, o efeito de proteção da camada de óxido acaba desaparecendo e o alumínio metálico exposto consegue abstrair até o oxigênio presente em outros minérios, como a hematita, deslocando o outro elemento metálico. Esse processo é conhecido como aluminotermia, e tem sido usado para produzir metais mais valiosos, como o nióbio, a partir da reação do respectivo minério com alumínio em pó. No caso da hematita, a reação é tão violenta que chega a fundir o ferro metálico formado. Este, no estado de fusão, pode escoar e ser usado para preencher espaços vazios e, assim, fazer reparos em fraturas de trilhos e grandes estruturas metálicas. Na forma nanométrica, a área superficial do alumínio é aumentada por várias ordens de grandeza, e da mesma forma que vários outros metais, o elemento adquire propriedades pirofóricas, isto é, capacidade de sofrer combustão espontânea pela simples exposição ao ar. A energia liberada é imensa, e o processo se torna incontrolável. Não é por acaso que a mais temível bomba não-nuclear de todos os tempos, a Moab (*mother of all bombs*), ao detonar acima de 20 metros do solo, lança cápsulas de nanopartículas de alumínio para devastar regiões imensas, provocando incêndios de grandes proporções.

Ao lado da questão militar, algumas ONGs têm se mobilizado em torno de como a nanotecnologia poderá afetar a nossa saúde. Existe o receio que as nanopartículas possam passar para a cadeia alimentar, e de fato ainda pouco se sabe sobre a sua ação no organismo (3). Nanopartículas de fullereno, modificadas quimicamente têm demonstrado enorme potencialidade em quimioterapia, principalmente de câncer, e são comercializadas pela empresa norte-americana C-Sixty Inc. (Ontário, Canadá). Contudo, existem relatos recentes sobre danos no cérebro e fígado de peixes, provocados por fullerenos, o que reforça a preocupação sobre a necessidade de maior investigação a respeito da toxicologia das nanopartículas. Esses problemas se somam a inúmeras outras questões, existindo até o receio de que os cientistas, por intermédio da nanobiologia, venham a escrever seqüências de DNA e colocá-las em prática, da mesma maneira como hoje são escritos os programas de computador.

A maioria dos cientistas acredita que a nanotecnologia ainda está longe de dominar os processos de auto-replicação. Quando isso começar a acontecer, talvez na segunda metade do século, rigorosas regras de conduta certamente serão necessárias para impedir que esse recurso da nanotecnologia venha a ser explorado de forma inadequada.

Muitos têm sido expostos a uma visão catastrófica, de um mundo infestado por organismos artificiais auto-replicantes (nanorrobôs), de seres biônicos dominantes, ou da humanidade se escondendo em refúgios sob a ameaça de implacáveis armas de destruição em massa. Essa temática já está sendo explorada na literatura de ficção, como o livro “Presa”, publicado em 2003, por Michael Crichton, em que os EUA são alvo de ataque por nanorrobôs (4). Vários filmes e jogos com essa temática já estão disponíveis nas locadoras. Ironicamente, a nanotecnologia mesmo enfocada como elemento de suspense em entretenimentos, está correndo um sério risco de ser lembrada como algo ameaçador e nefasto.

## **HUMANISMO E NANOTECNOLOGIA**

Os avanços no conhecimento exigem que o homem se adapte continuamente a novos preceitos e valores, embora isso não pareça óbvio. O homem já tem o poder bélico para destruir o mundo. Ironicamente, até mesmo sem tocar em armas, já pode levar nações à desgraça pelo exercício dos jogos econômicos. O que acontecerá quando tanto poder for exacerbado? A realidade está mostrando que ao lado do desenvolvimento da ciência e da tecnologia, o homem terá que evoluir como ser humano, para se manter em harmonia com o mundo em que vive. Tal evolução implica em reeducação continuada, maior consciência e humanismo. Nesse ponto, reside o maior desafio que a humanidade terá que enfrentar. Se o homem não for capaz de dar esse passo, assimilando e incorporando os novos conhecimentos para melhor compreender e melhorar o mundo em que vive, então ele se voltará para o incompreensível e irracional. Procurará abrigo em crenças estranhas, abraçará qualquer foco de esperança em que consiga acreditar. Será que isso já não está acontecendo?

Assim, sob o ponto de vista evolutivo, é importante não dissociar a ciência da consciência humana. Tal descompasso colocará em risco a sobrevivência da humanidade. Essa linha de pensamento não é nova, e tem

preocupado muitos cientistas e humanistas desde o início do século passado. Um reflexo disso foi o surgimento do humanismo, como uma filosofia progressiva de vida que, sem apelar para o supernatural, direciona nossa habilidade e responsabilidade para viver plenamente dentro da ética, almejando sempre o melhor para a humanidade.

Guiados pela razão, inspirados na compaixão e informados pela experiência, são os preceitos que definem a postura Humanista. Em 2003, diante do quadro polêmico criado pela clonagem e manipulação genética, bioterrorismo, e uso de armas de destruição em massa, ao lado da multiplicação de seitas religiosas em todo o mundo, a Sociedade Humanista Americana (5) lançou o Manifesto III, encabeçado por 63 cientistas e intelectuais, entre os quais 17 agraciados com o Prêmio Nobel:

- a) O conhecimento do mundo provém da observação, experimentação e análise racional;
- b) Os humanos são parte integral da natureza e do processo evolucionário;
- c) Os valores éticos decorrem das necessidades e causas humanas, confrontados pela experiência;
- d) A plenitude da vida emerge da participação individual a serviço dos ideais humanos;
- e) Os humanos são sociais por natureza e acreditam no relacionamento;
- f) Trabalhar em benefício da sociedade equivale a semear a felicidade em cada um.

São pontos que sem dúvida merecem reflexão, principalmente nesta época tão conturbada pelos conflitos humanos.

## **NANOTECNOLOGIA E A QUÍMICA VERDE**

Dentro do enfoque humanístico, uma das metas da tecnologia moderna é a busca de um ambiente saudável, tendo o homem como parte integral da

natureza. Nesse sentido, a nanotecnologia tem muito a contribuir, embora essa questão não seja tão simples. De fato, já existem ONGs, como o Grupo de Ação para Erosão, Tecnologia e Concentração no Canadá, que propuseram o banimento da nanotecnologia, questionando a atual falta de conhecimento sobre seus efeitos na saúde e no meio ambiente.

A resposta na nanotecnologia para esse apelo está vindo principalmente por meio da Química Verde (Green Chemistry) (6, 7). Esta é uma abordagem voltada para o desenvolvimento sustentável, que vem ganhando força a partir de 1987, quando foi publicado o relatório da ONU sobre “o nosso futuro”. Essas preocupações foram expressas, sob a forma de 12 princípios da Química Verde, formulados por Paul Anastas e John Warner, da Universidade de Massachusetts (EUA). Tais princípios podem ser generalizados no contexto das atividades humanas, da seguinte forma:

- 1) **Prevenção:** em qualquer processo, é melhor evitar a formação de rejeitos do que tratá-los depois.
- 2) **Economia de átomo:** sempre que possível, os métodos de preparação devem incorporar no produto, a maioria dos materiais usados no processo, para evitar novas etapas de processamento com geração de descartes.
- 3) **Planejamento de risco:** os métodos de obtenção devem ser planejados para usar e produzir substâncias que possuam pouca ou nenhuma toxicidade para a saúde humana e o ambiente.
- 4) **Reagentes mais seguros:** os insumos, necessários para desempenharem a função desejada, devem contemplar a minimização de toxicidade.
- 5) **Solventes e agentes auxiliares mais seguros:** substâncias auxiliares e solventes devem ser eliminados sempre que possível, ou tornados inócuos caso venham a ser usados.
- 6) **Eficiência energética:** os requisitos energéticos para os processos devem ser avaliados e otimizados em termos dos impactos econômicos e ambientais. Sempre que possível, os métodos preparativos devem ser conduzidos em condições ambientais.

- 7) **Matérias-primas renováveis:** as matérias-primas devem ser renováveis, e esforços devem ser despendidos para tornar isso tecnicamente ou economicamente possível.
- 8) **Economia de etapas:** o uso de etapas intermediárias deve ser minimizado, visto que cada etapa envolve consumo de reagentes e tende a gerar mais rejeitos.
- 9) **Catálise:** em processos químicos, reagentes catalíticos devem ser preferidos, pelo desempenho superior que proporcionam em relação aos reagentes estequiométricos.
- 10) **Degradação:** os processos devem ser planejados para que no final, os rejeitos se degradem em espécies inofensivas que não persistam no meio ambiente.
- 11) **Análise em tempo real:** metodologias analíticas devem ser introduzidas para fazer a monitoração e controle dos processos em tempo real, de forma a poder prevenir e remediar em tempo hábil, a formação de substâncias perigosas.
- 12) **Minimização de riscos:** a utilização dos materiais e procedimentos deve ser planejada para minimizar o risco de acidentes em potencial.

Analisada sob o ponto de vista da Química Verde, a nanotecnologia proporciona um caminho natural, pois lida diretamente com a questão da redução de escala material e energética, maior eficiência e seletividade nos processos, uso de materiais mais inteligentes e ambientalmente corretos, e até o desenvolvimento de dispositivos analíticos para monitoração em tempo real.

De fato, muitos catalisadores heterogêneos já empregam nanopartículas de materiais ativos, como os metais nobres, dispersos sobre um material suporte de alta área superficial. Exemplos típicos são os catalisadores usados em automóveis, para reduzir a emissão de poluentes como monóxido de carbono e óxidos de nitrogênio. A montagem do sistema catalítico faz uso de cerâmicas revestidas por uma fina camada de óxido de alumínio poroso, impregnados por nanopartículas de platina e ródio, além de óxidos de cério, zircônio e lantânio. As nanopartículas de platina atuam oxidando os hidrocarbonetos

(gasolina residual) e monóxido de carbono (CO, tóxico) até o gás carbônico (CO<sub>2</sub>, inofensivo). As nanopartículas de ródio atuam na redução dos óxidos de nitrogênio até o nitrogênio molecular (N<sub>2</sub>, inofensivo). Os demais componentes atuam como suprimento adicional de oxigênio, importante nos momentos em que os gases de exaustão ainda estão ricos em vapores de gasolina, e não existe ar suficiente para a sua queima total.

Na área de catálise, nanoarquiteturas são projetadas visando uma melhor distribuição da porosidade e dos sítios catalíticos e, conseqüentemente, maior desempenho em relação aos catalisadores existentes. A síntese de materiais nanoporosos pode ser feita utilizando surfactantes ou polímeros agregados, gerando um molde em torno do qual as estruturas inorgânicas são consolidadas, por exemplo, no processo sol-gel. Os materiais orgânicos podem ser removidos por queima, em temperaturas controladas, dando origem à porosidade interna. Esses materiais podem ter um elevado grau de porosidade, formando os chamados aerogéis. Por meio dessa metodologia, nanopartículas metálicas podem ser introduzidas no processo, gerando catalisadores em que a proporção dos sítios ativos é bastante alta em relação ao material do suporte, melhorando a eficiência de catálise. Além disso, aumentando a interligação dos canais e a movimentação das moléculas no interior do material catalítico, o processo catalítico torna-se bastante favorecido.

## **NANOTECNOLOGIA E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

Os próximos 50 anos serão decisivos para o destino da humanidade, levando-se em conta a expansão populacional e a demanda crescente por alimento, água e energia (8).

É importante notar que a população do planeta cresceu por um fator de dez vezes em apenas três séculos, passando de 600 milhões de habitantes no ano 1700, para 6,3 bilhões em 2003. A população dobrou nos últimos 40 anos, crescendo ao ritmo anual de 2,1% até 1970, porém desacelerando gradualmente até 1,2% em 2002. A fertilidade global caiu de cinco filhos por casal, em 1970, para 2,7 nos últimos anos. Mesmo com um menor ritmo de crescimento, por volta de 2050, a população do globo estará em torno de 9 bilhões de habitantes, se forem implementados esforços de controle de natalidade, ou 12 bilhões, se for mantido o ritmo atual.

O crescimento populacional, entretanto, será desigual nas várias regiões do planeta, e deverá concentrar-se principalmente em países como a Índia, China, Paquistão, Bangladesh e Nigéria. No ano 2000, os países economicamente mais ricos na Europa, América do Norte, Austrália, Nova Zelândia e Japão, abrigavam cerca de 1,2 bilhão de pessoas (20%). A grande maioria, 4,9 bilhões (80%), habitava países mais pobres e menos desenvolvidos. A taxa de crescimento populacional nos países ricos tem sido de 0,25% ao ano, comparado com 1,44% (seis vezes maior) nos países em desenvolvimento. Em duas décadas os países ricos estarão com taxa zero, devendo declinar gradualmente, até -0,14% ao ano, por volta de 2050. A população dos países mais pobres continuará crescendo, embora mais lentamente, com uma taxa anual de 0,4% em 2050. Nesse cenário, em 2050, os países mais pobres abrigarão 7,7 bilhões de habitantes (86%), enquanto os países mais ricos continuarão com uma população próxima da atual.

Em 1999, existiam 800 milhões de pessoas subalimentadas no planeta. Em 2020, mantida a atual perspectiva de produção de grãos, o número de pessoas famintas chegará a 2,3 bilhões. As reservas de água potável são igualmente preocupantes. Embora dois terços da superfície do planeta sejam preenchidos por água, apenas 0,002% pode ser utilizada pelo homem. Os estudos indicam que se não forem tomadas providências, em 2025, dois entre cada cinco habitantes da Terra viverão sob privação de água, principalmente no norte da África e no sul da Ásia. O Brasil está entre os 23 países com mais água per capita, e ocupa o vigésimo terceiro lugar em termos de qualidade de água, na lista encabeçada pela Finlândia, Canadá, Nova Zelândia, Reino Unido, Japão, Noruega, Rússia e Coreia do Sul.

A expectativa de vida global em 2000-2005 é de 65 anos, e em 2045-2050 poderá ser de 74 anos. Nos países ricos, nesses mesmos períodos, a expectativa de vida é de 76 anos, e poderá atingir 82 anos; ao passo que nos países em desenvolvimento, passará de 63 para 73 anos. Infelizmente, 90% dos recursos disponíveis no planeta, para a saúde, destinam-se aos 10% mais ricos de sua população. Esse desequilíbrio conhecido como “10/90” explica por que no Japão e nos Estados Unidos, a expectativa de vida já se aproxima de 85 anos, enquanto que em 32 países ela é menor do que 40 anos, e em Serra Leoa é de apenas 26 anos!

Hoje, a distribuição por faixa etária nos países ricos segue um perfil homogêneo, desde o nascimento até os 70 anos, estreitando-se gradualmente depois, até os 90 anos. Em 2050, a maioria dessa população estará distribuída entre as faixas etárias dos 50 aos 85 anos. Nos países mais pobres, o perfil atual de distribuição etária é piramidal, com uma base larga que se estende até os 20 anos, declinando gradualmente até os 80 anos. Em 2050, a base da pirâmide se estenderá até os 50 anos, passando então a declinar até os 90 anos. Essa previsão foi feita pelo US Census Bureau em 2003, com base em projeções estatísticas a partir dos dados disponíveis.

Assim, o aumento global da longevidade pode ser traduzido em termos da melhoria da qualidade de vida, e vice-versa. Para se chegar a um desenvolvimento sustentável, inúmeras variáveis terão que ser equacionadas. Será necessário aumentar a produção de alimentos, disponibilizar mais água potável, e gerar energia renovável, questões que dificilmente serão resolvidas sem o uso da tecnologia.

Com o desenvolvimento de nanocatalisadores biomiméticos, processos importantes como a fixação do nitrogênio molecular poderão levar à produção de fertilizantes mais baratos, aumentando a oferta de alimentos. Da mesma forma, a fixação microbiológica do nitrogênio molecular, introduzida no Brasil pela cientista Johana Döbereiner (Embrapa), tem sido um recurso muito importante na agricultura. Novas técnicas de encapsulamento, e de manipulação genética, poderão contribuir para aumentar o rendimento da fixação biológica de nitrogênio.

Processos de descontaminação de águas poderão ser aperfeiçoados, empregando nanopartículas de dióxido de titânio ativadas por luz, ou nanocatalisadores ativados por oxigênio molecular. Isso contribuirá para o reaproveitamento das águas industriais, diminuindo a demanda e poupando as reservas.

Os avanços nos dispositivos moleculares fotossintéticos, em especial, as células fotoeletroquímicas, poderão abrir perspectivas importantes na área de conversão de energia. Novos catalisadores biomiméticos, a exemplo da enzima F-430 existente nas bactérias metanogênicas, poderão viabilizar a produção de gás metano ( $\text{CH}_4$ ) combustível a partir do gás carbônico, com impacto bastante positivo na área de energia renovável. Células a combustível, utilizando membranas nanoporosas e nanocatalisadores, poderão tomar o lugar dos motores à combustão, tão poluentes, barulhentos e de baixa eficiência.

A medicina que poderá se consolidar em novos patamares por meio dos avanços da nanotecnologia, com certeza terá um papel importante na longevidade e na qualidade de vida do homem.

## CONCLUSÃO

Os próximos 50 anos serão decisivos para o futuro da humanidade, diante da previsão de esgotamento dos recursos naturais não-renováveis e da expansão populacional. A manutenção e elevação da qualidade de vida só será possível com o advento de tecnologias que utilizem matérias-primas e fontes de energia renováveis, e que sejam ambientalmente corretas. Nesse sentido, a nanotecnologia tem muito a contribuir por meio do desenvolvimento de processos inspirados na natureza, e do ganho em potencial possibilitado pelos nanomateriais, nanomáquinas, nanodispositivos e nanoeletrônica. Contudo, tal ganho de poder precisará ser bem administrado e conduzido, para evitar suas conseqüências perversas, valorizando-se os preceitos éticos, a educação, a consciência, e o humanismo acima de tudo.

*Agradecimentos: CNPq, Fapesp, Renami e IM2C.*

## REFERÊNCIAS

- 1 TOMA, H. E. *O mundo nanométrico: a nova dimensão do século*. [ S. l. ] : Oficina dos Textos, 2004.
- 2 NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL. (United States). *National nanotechnology initiative: detailed technical report*. [S. l.], 2002.
- 3 DAGANI, R. Nanomaterials: safe or unsafe? *Chem. Eng. News*, v. 81, n. 30, 2003.
- 4 CRICHTON, M. *Prey*. New York : HarperCollins, 2002.
- 5 AMERICAN HUMANIST ASSOCIATION. (United States). *Humanism and its aspirations: humanist manifesto III*. [S. l.], 2003.
- 6 RITTER, S. K. Green chemistry. *Chem. Eng. News*, v. 79, n. 27, 2001.

7 DESIMONE, J. M. Practical approaches to green solvents. *Science*, v. 297, n. 5582, 2002. 8 COHEN, J. E. Human population: the next half century. *Science*, v. 302, n. 1172, 2003.

## **Resumo**

A nanotecnologia vem se expandindo como uma onda de inovação que nos faz vislumbrar os limites da evolução ao delinear um mundo paradoxalmente mais próximo da natureza, acionado por máquinas moleculares, sistemas artificiais inteligentes e auto-replicantes; e dispositivos sensoriais integrados capazes de atuar muito além dos nossos sentidos. Entretanto, essa onda, que vem se propagando numa exponencial crescente, poderá distanciar e isolar cada vez mais o ser humano que, defasado em sua capacidade de compreender e participar das transformações do mundo em que vive, terá seus temores acentuados, aumentando sua dependência dos que detêm o conhecimento e exercitam o poder. As preocupações éticas são portanto essenciais, porém devem ser acompanhadas pela reeducação continuada, maior consciência e humanismo.

## **Abstract**

*Nanotechnology is an expanding wave of innovation which can lead us to the evolutionary limits, shaping a new world inspired on nature's paradigms, with versatile molecular machines, artificial intelligent and self-replicating systems, and integrated sensorial devices capable of performing far beyond our senses. As an exponentially propagating wave, however, it can not always achieve the necessary resonance with the human being in his difficulties to understand the changing world; thus, enhancing his fears and dependence on those who detain the knowledge and power. Ethical concerns are therefore critically important, in association with efforts to promote education, consciousness and humanism.*

## **O autor**

HENRIQUE E. TOMA. Professor titular do Instituto de Química da Universidade de São Paulo (USP), é membro da Academia Brasileira de Ciências e da Third World e Academy of Sciences (TWAS). Entre as distinções recebidas estão o Prêmio Heinrich Rheinboldt (1987), TWAS (1996), Guggenheim (1999), Fritz Feigl (2001) e a Comenda da Ordem Nacional do Mérito Científico (2002).



O grande avanço da ciência e da tecnologia nas últimas décadas tem levado a pesquisas cada vez mais precisas na escala nanométrica, que, além de seu interesse meramente acadêmico, podem propiciar o desenvolvimento de novos produtos e sistemas de alto impacto tecnológico em um futuro não muito distante. Um dos grandes desafios da pesquisa na área da nanociência e nanotecnologia é conseguir integrar esforços para otimizar os estudos, pois geralmente os equipamentos necessários são extremamente caros, e são necessários pesquisadores altamente especializados em certas áreas do saber. Seguindo a tendência mundial, as pesquisas nessa área requerem uma articulação centralizada, que consiga mobilizar os pesquisadores das universidades e centros de pesquisa, os empresários e as fontes financiadoras, principalmente governamentais. Esse tipo de ação já foi implementada nos Estados Unidos da América (<http://www.nano.gov>), Europa (<http://www.esf.org>) e outros países, e novos resultados têm aparecido diariamente como resultado desse esforço.

Ao acompanhar a rápida evolução mundial nesta área, o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) iniciaram essa ação no Brasil ao promover uma reunião em 22/11/2000 para discutir a pertinência e encaminhamento mais adequado para uma ação coordenada em nanociência e nanotecnologia por parte do governo federal. Nessa reunião, foi criado um grupo de articulação, coordenado por Anderson Gomes (UFPe), que em abril de 2001 entregou um documento preliminar para discussão pela comunidade científica nacional. Esse documento (que se encontra publicado a seguir), foi divulgado pelo CNPq e indicava a situação do momento, sugerindo uma série de ações

que deveriam ser tomadas. Uma das sugestões mais importantes era a de que o MCT e o CNPq deveriam, no mais curto espaço de tempo possível, desencadear um processo coordenado de ações para criar um programa de apoio nas áreas de nanociência e nanotecnologia no Brasil. Tal programa, além de aproveitar os grupos de pesquisa e infra-estrutura já existentes, deveria ser de longo prazo para apoiar pesquisa e desenvolvimento em nanoescala, que permitissem levar a resultados de impacto em áreas como tecnologias da informação, fabricação de componentes metálicos e não metálicos, medicina e saúde, meio ambiente e energia, nanoeletrônica, nanobiotecnologia, agricultura e nanometrologia, por exemplo. Além disso, propôs-se utilizar a estratégia de criação de centros e redes de excelência para um futuro próximo.

Naquele momento, o CNPq respondeu prontamente a algumas recomendações desse documento e realizou, ainda em 2001, uma chamada para formar redes de pesquisadores com objetivos comuns na área de nanociência (chamada CNPq 01/2001, <http://www.cnpq.br/servicos/editais/ct/nanociencia.htm>). Essa chamada tinha como objetivo fomentar a constituição e consolidação de redes cooperativas integradas de pesquisa básica e aplicadas em nanociência e nanotecnologia, organizadas como centros virtuais de caráter multidisciplinar e abrangência nacional. Por meio dessas redes, o CNPq pretendia: a) dar início a um processo de criação e consolidação de competências nacionais; b) identificar grupos ou instituições de pesquisa que desenvolvam ou possam vir a desenvolver projetos relacionados com a área de nanociência e nanotecnologia; e, c) estimular a articulação desses grupos e instituições com empresas potencialmente interessadas ou atuantes no setor, além de seu intercâmbio com centros de reconhecida competência no país e no exterior.

Houve também uma rápida resposta da comunidade científica brasileira, que rapidamente se organizou para formar diversas redes com os mais variados temas. As propostas de pesquisa foram julgadas em uma primeira fase e foram pré-classificados doze projetos, das mais diversas áreas do conhecimento, envolvidos com a escala nanométrica. Todos os coordenadores desses projetos foram reunidos para reorganizar essas redes, e vários projetos foram aglutinados para formar quatro redes temáticas na área de nanociência e nanotecnologia: Rede de Materiais Nanoestruturados, Rede de Nanotecnologia Molecular e de Interfaces, Rede de Pesquisa em Nanobiotecnologia, e Rede Cooperativa para Pesquisa em Nanodispositivos

Semicondutores e Materiais Nanoestruturados. Para maiores detalhes ver: [http://www.cnpq.br/resultadosjulgamento/resultado\\_chamada\\_01\\_2001\\_nanociencia.htm](http://www.cnpq.br/resultadosjulgamento/resultado_chamada_01_2001_nanociencia.htm).

Cada uma das redes recebeu, inicialmente, em torno de R\$ 750 mil, para um ano de atividades. Esses recursos podem ser considerados bastante limitados, tendo em vista o número de pesquisadores envolvidos em cada uma delas, e os custos dos equipamentos necessários para as pesquisas na área. Por exemplo, somente a Rede de Materiais Nanoestruturados conta com mais de cem pesquisadores doutores com grupos consolidados em diversas universidades brasileiras. Se o dinheiro fosse dividido igualmente para cada participante, o dinheiro bastaria apenas para comprar um computador por pesquisador! Ou seja, os recursos financeiros das redes não foram destinados para a compra de grandes equipamentos, mas de um modo geral esses recursos serviram para realizar alguns consertos de emergência, para comprar pequenos equipamentos, para permitir o intercâmbio de pesquisadores e estudantes e, principalmente, para a realização de reuniões, congressos e oficinas de trabalho que têm servido para integrar de uma maneira mais efetiva os pesquisadores dessas redes, e estimular colaborações e projetos comuns para as diversas áreas para o futuro. Apesar dos recursos extremamente limitados, que acabaram pulverizados pelo grande número de grupos de pesquisa envolvidos, é importante ressaltar que as redes têm conseguido resultados impressionantes. Foram realizados avanços significativos em diversas áreas do conhecimento, e foram estimulados encontros importantes onde a discussão sobre o tema avançou enormemente.

Por iniciativa do MCT/CNPq, o então diretor de Políticas e Programas Temáticos do MCT, Fernando Galembeck, e o diretor de Programas Horizontais e Instrumentais do CNPq, José Roberto Leite, promoveram a realização, nos dias 4 e 5 de setembro de 2003, da reunião de um Comitê Internacional, convocado especialmente para avaliar o desempenho das redes de nanociência e nanotecnologia implantadas em 2001. O Comitê/Nano foi formado por representantes do Grupo de Trabalho criado por decreto do Ministro da Ciência e Tecnologia, por membros da comunidade científica integrantes dos Comitês Assessores do CNPq e por especialistas estrangeiros especialmente convidados pelo MCT/CNPq. De acordo com o relatório do comitê, houve uma clara evolução na configuração das redes, com uma tendência a se focalizar em alguns temas de pesquisa, e com um aumento da

produção científica. Além disso, observou-se que a coordenação administrativa e científica de cada rede havia sido feita de forma bastante profissional, aumentando significativamente a produção científica da equipe. Desta forma, o MCT disponibilizou R\$ 5 milhões para a área, que foram distribuídos entre as redes (em um termo aditivo) seguindo critérios estabelecidos pelo comitê e, portanto, dando continuidade a este programa em 2004.

Em paralelo ao programa das redes nacionais, o MCT criou, ainda em 2003, um Grupo de Trabalho (GT) para elaborar o documento-base do Programa de Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia. Para coordenar o programa, foi criada na nova Estrutura Regimental do MCT, a Coordenação Geral de Políticas e Programas de Nanotecnologia (CGNT). À luz das discussões do GT, identificaram-se demandas que serviriam de base à elaboração e inserção, no Plano Plurianual (PPA 2004-2007), do Programa de Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia. O documento elaborado pelo GT foi submetido a consulta pública, para apreciação por parte da comunidade interessada. Levando em consideração suas sugestões, alterações, críticas e comentários, será elaborado o documento final, que servirá de base para o aprimoramento das estratégias do MCT na área de nanociência e nanotecnologia (para maiores detalhes ver: <http://www.mct.gov.br/Temas/Nano/programa.htm>).

Além das redes nacionais e das ações focadas, há ainda diversos grupos de pesquisa atuando na área, e projetos inseridos em editais específicos, como o Milênio, projetos temáticos específicos nas FAPs, projetos individuais de pesquisa, redes menores no âmbito de colaborações nacionais e internacionais etc. De fato, há uma capacidade científica instalada no Brasil bem sólida para o estudo de materiais nanoestruturados, que no momento deve dar um passo fundamental rumo à inovação e ao setor produtivo. Nesse contexto, cabe ao governo, com auxílio dos pesquisadores, das universidades e institutos de pesquisa, coordenar esforços para montar uma iniciativa nacional em nanotecnologia, abrangente e aberta a todos os pesquisadores atuantes na área. Essa iniciativa deve estimular a circulação de pesquisadores e estudantes, a produção e caracterização de novos materiais, projetos de inovação tecnológica com empresas, a incubação de novas pequenas empresas, a utilização de equipamentos comuns, medidas experimentais e desenvolvimento de modelos teóricos no âmbito das redes de pesquisa. Diversas ações da atual

gestão do MCT têm direcionado a discussão nessa direção, sem dúvida promissora e necessária para o nosso país.

Tanto as redes quanto outras iniciativas ainda estão ativas, e os resultados das ações que foram tomadas somente irão aparecer no futuro. Certamente a idéia das redes tem sido muito interessante para realizar um trabalho de prospecção da área de nanociência e nanotecnologia no Brasil, para identificar os grupos que atuam nesse setor, auxiliar no conhecimento mútuo entre os grupos, estimular colaborações científicas, e agregar pesquisadores com interesses comuns. Aparecerão, sem dúvida, novas idéias e projetos que deverão ser futuramente atendidos com novos recursos específicos e com ações centralizadas pelo CNPq/MCT que visem uma efetividade maior no uso dos recursos financeiros e da infra-estrutura instalada, bem como uma participação cada vez maior do país em pesquisas na área de Nano C&T.

## **Resumo**

O avanço das pesquisas em nanotecnologia é crescente e os resultados mais precisos, em escala nanométrica, propiciam o desenvolvimento de novos produtos e sistemas de alto impacto tecnológico. Um dos grandes desafios da pesquisa na área de nanociências e nanotecnologias é conseguir integrar esforços para otimizar os estudos, pois geralmente os equipamentos necessários são extremamente caros. Quanto aos recursos humanos, é preciso formar grupos de pesquisadores altamente especializados em certas áreas do saber. Conforme o autor, a tendência mundial evidencia que as pesquisas nessa área necessitam de uma articulação centralizada que consiga mobilizar os pesquisadores das universidades e centros de pesquisa, os empresários e as fontes financiadoras, principalmente governamentais. Apresenta o exemplo da iniciativa brasileira, por meio do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), na criação de um programa de apoio na área de nanociências e nanotecnologias no Brasil e a estratégia de criação de centros e redes de excelência em 2001, que continuam organizadas e em atividade.

## **Abstract**

*Advances in nanotechnology have produced an increase in the development of systems and products that cause a high technological impact. One of the most important challenges for nanosciences and nanotechnologies is to succeed in developing an integrated effort for the progress of each area of application. Co-operation is an indispensable factor to share resources such as the expensive and*

*scarce equipment used in nanosciences. Hopes raised by nanotechnologies require a vast, fundamental, applied commitment to research as well as increasing investment in order to fulfil those expectations. Multidisciplinary studies must be carried out by different kinds of specialists. The article presents the proactive approach developed by the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) and the Ministry for Science and Technology (MCT) that gave birth to the Brazilian program for nanosciences and nanotechnology, in 2001. That initiative was the outset of a network of researchers which have been devoting their time and talent to nanosciences and nanotechnology in Brazil.*

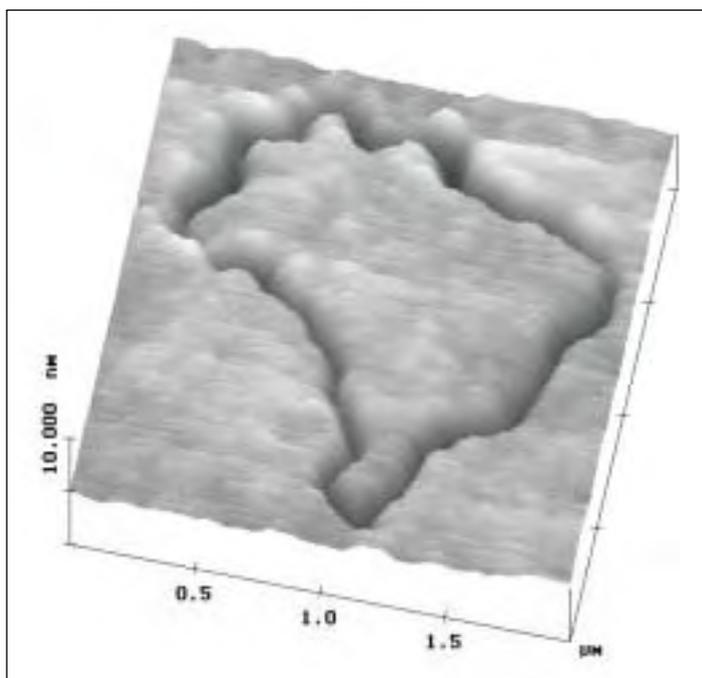
## **O autor**

MARCELO KNOBEL. Professor associado do Instituto de Física Gleb Wataghin (IFGW), da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Sua área de pesquisa engloba o estudo de materiais magnéticos nanoestruturados, publicou mais de 150 artigos científicos em revistas internacionais arbitradas. É pesquisador na “Rede Nacional de Materiais Nanoestruturados” do CNPq, e em outros projetos na área de nanociência e nanotecnologia; e, na área de divulgação científica, coordena o “Núcleo de Desenvolvimento da Criatividade” (Nudecri), da Unicamp.

MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia



## A INICIATIVA BRASILEIRA EM NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA



*Brasília, Novembro 2002*



## Índice

---

<b>1. Motivação .....</b>	<b>109</b>
<b>2. Definição de nanoescala.....</b>	<b>110</b>
<b>3. O impacto da nanociência e nanotecnologia .....</b>	<b>111</b>
3.1 Oportunidade para investimentos .....	112
3.2 Perspectiva internacional.....	114
<b>4. O estágio atual da P&amp;D em nanociência &amp; nanotecnologia no Brasil.....</b>	<b>116</b>
<b>5. Implementação em curto prazo .....</b>	<b>119</b>
4.1 Temas propostos .....	119
4.2 Apoio financeiro .....	119
4.3 Redes cooperativas.....	121
<b>6. Para um programa nacional de longo prazo .....</b>	<b>122</b>
<b>7. As redes brasileiras e o instituto do milênio em nanociência....</b>	<b>125</b>



## **1. MOTIVAÇÃO**

É amplamente reconhecido que a pesquisa em nanociência e nanotecnologia (N&N), tanto pura quanto aplicada, é um campo emergente e próspero, no qual fenômenos em nanoescala podem ser teórica e experimentalmente manipulados. Isto se deve principalmente ao desenvolvimento, nas duas últimas décadas, de ferramentas adequadas e convenientes para explorar e medir sistemas físicos com estas dimensões características. A habilidade para trabalhar no nível molecular, ou mesmo átomo a átomo, para criar grandes estruturas com organização essencialmente nanométrica, está nos levando a uma compreensão e a um controle sem precedentes das propriedades fundamentais da matéria. Como consequência, temos um impacto imediato em desenvolvimentos tecnológicos. Além disso, N&N é um campo verdadeiramente transdisciplinar, cujo desenvolvimento firme requer uma revisão completa do modo pelo qual vemos a educação e o treinamento científico.

Consciente do impacto e da importância da N&N para o desenvolvimento moderno de qualquer país, o governo brasileiro, através do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) e de sua principal agência de fomento, o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), iniciou, em novembro de 2000, uma iniciativa coordenada com vistas ao desenvolvimento de um Programa Nacional Balanceado que pudesse não apenas estimular as contribuições de cientistas brasileiros para o avanço científico da área, mas também induzir os desenvolvimentos tecnológicos domésticos correspondentes e a transferência dos benefícios daí decorrentes para a sociedade.

Apesar de esforços individuais reconhecidos e bem estabelecidos terem sido anteriormente encaminhados por cientistas trabalhando independentemente no campo, até então N&N não estavam na Agenda Brasileira de C&T, nem eram um tema bem conhecido mesmo entre cientistas de diferentes campos. Como resultado da iniciativa do MCT/CNPq, N&N tornaram-se parte do Livro Verde de C&T, lançado em Brasília, em setembro de 2001, durante a Conferência Nacional sobre C&T, e a disseminação de seus conceitos básicos também começaram a surgir na imprensa. Antes da concepção da Iniciativa Brasileira em N&N, vários programas internacionais similares foram não apenas avaliados e seus responsáveis mais importantes contatados, mas também importantes documentos disponibilizados foram estudados, passos extremamente úteis para a construção da iniciativa.

Portanto, a Iniciativa Brasileira em N&N foi instituída em um momento oportuno e apresenta grandes possibilidades de se expandir em um Programa Nacional consistente e em longo prazo.

## **2. DEFINIÇÃO DE NANOESCALA**

Nanociência e nanotecnologia dizem respeito ao entendimento, controle e exploração de materiais e sistemas cujas estruturas e componentes exibem propriedades e fenômenos físicos, químicos e biológicos significativamente novos e/ou modificados devido à sua escala nanométrica – a nanoescala. A nanoescala é definida pela existência de pelo menos uma dimensão física característica na faixa entre 1nm e 100nm ( $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m} = 1$  bilionésimo de metro). Uma dimensão típica de 10nm é 1000 vezes menor do que o diâmetro de um fio de cabelo humano. O diâmetro de um átomo é cerca de 0,25nm, enquanto que o tamanho típico de uma proteína é 50nm. A menor dimensão de um instrumento eletrônico experimental é 10nm. É neste regime que se torna aparente a capacidade de se trabalhar no nível molecular, átomo a átomo, para criar grandes estruturas com uma organização molecular fundamentalmente nova.

Conforme destacado em um dos documentos do programa americano (plano de implementação nni, ou *nni implementation plan*)<sup>1</sup> “as mudanças mais importantes de comportamento são causadas não pela redução de ordem de magnitude, mas pelos fenômenos intrínsecos, ou tornando-se predominantes

na nanoescala, que têm sido recentemente observados. Estes fenômenos incluem confinamento de tamanho, predominância de fenômenos de interface e mecânica quântica. Uma vez que seja possível controlar o tamanho das estruturas, também será possível aprimorar propriedades de materiais e funções de dispositivos, além do que atualmente somos capazes de fazer ou mesmo considerar como factível. Seremos capazes de reduzir as dimensões de estruturas até a nanoescala nos leva às propriedades únicas dos nanotubos de carbono, fios e pontos quânticos, filmes finos, estruturas baseadas em DNA e emissores de laser. Estas novas formas de materiais e dispositivos prenunciam uma era revolucionária para a Ciência e Tecnologia, uma vez que possamos descobrir e utilizar completamente seus princípios fundamentais”.

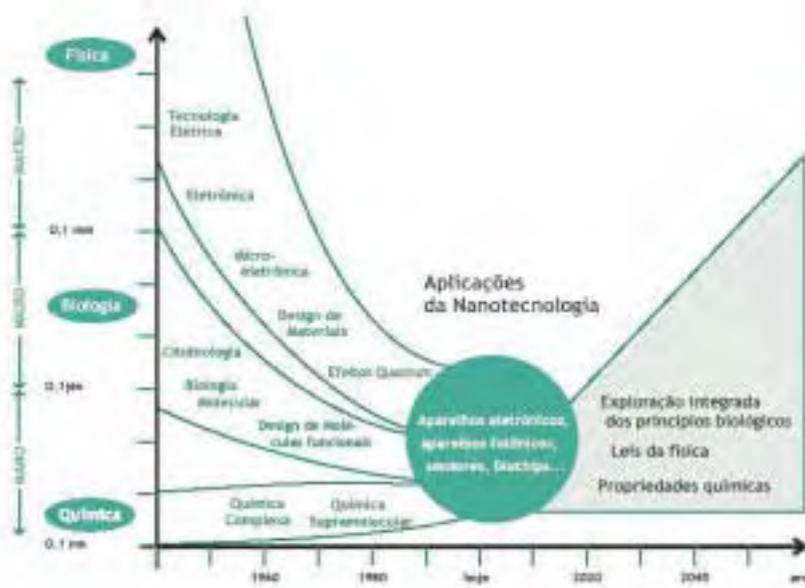
### **3. O IMPACTO DA NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA**

É amplamente reconhecido que, em seu famoso discurso de 1959 – *There is Plenty of Room at the Bottom* – no California Institute of Technology, Richard Feynman foi capaz de antever, desafiando a platéia, as novas e excitantes descobertas que poderiam ser feitas se materiais pudessem ser fabricados e manipulados na escala atômica/molecular. Feynman destacou que, para tal revolução ocorrer, seria necessário desenvolver uma nova classe de instrumentos para manipular e fazer medições na escala nanométrica. No entanto, foi apenas na década de 80 que a visão de Feynman tornou-se uma realidade, quando tais instrumentos começaram a se tornar disponíveis, microscópios de tunelamento, microscópios de força atômica, microscópio de campo próximo (“*near field microscope*”) e outros dispositivos com características similares de “visão” e “manipulação” de nanoestruturas. Simultaneamente, a capacidade computacional tornou possível ocorrerem sofisticadas e precisas simulações do comportamento de materiais na nanoescala. Deste modo, cientistas de várias áreas do conhecimento foram capazes de simular, fabricar e “ver” estruturas, nas quais pelo menos uma dimensão é nanométrica, e mudar as propriedades dos materiais devido a esta dimensão. Isto levou ao entendimento e fabricação de dispositivos “de baixo para cima” (*bottom up*), em vez do contrário (*from top to bottom*).

De acordo com documentos recentes da América, Europa e do Apec (*Center for Technology Foresight*), o impacto da nanociência e nanotecnologia beneficiará basicamente todas as áreas científicas e tecnológicas conhecidas

hoje, incluindo materiais e fabricações em nanoeletrônica, dispositivos de tecnologia da informação, saúde e medicina, exploração espacial e aeronáutica, energia e meio ambiente, biotecnologia e agricultura, segurança nacional, educação e competitividade nacional.

O gráfico abaixo (Figura 1), extraído do documento Apec, ilustra como a ciência evoluiu, ao longo das últimas décadas, para permitir, no início deste novo milênio, o florescimento de um novo campo. Estamos agora no limiar de uma revolução nos modos pelos quais produtos e materiais serão criados. Isto é resultado da convergência dos campos tradicionais da Química, Física e Biologia para formar o novo campo da nanociência e nanotecnologia.



**Figura 1.** A Física, a Biologia e a Química se encontram na nanotecnologia  
Fonte: APEC e VDI-Technology Center, Future Technologies Division.

#### A) OPORTUNIDADE PARA INVESTIMENTOS

De acordo com o documento da Apec, os desenvolvimentos mencionados acima podem ser divididos em três temas principais, os quais são oportunidades reais para nanociência e nanotecnologia (o texto abaixo é uma modificação do documento citado):

*i) Engenharia molecular inspirada pela biologia*

A escala dos sistemas vivos está entre a escala micrométrica e a nanométrica, e é possível combinar unidades biológicas tais como enzimas com estruturas fabricadas pelo homem. Um dos mais significantes impactos da nanotecnologia está na interface bioinorgânica de materiais. Combinando enzimas e *chips* de silício, podemos produzir biossensores que, se implantados em animais e humanos, podem monitorar a saúde e ministrar doses corretivas de drogas. Os biossensores têm potencial para melhorar a saúde de humanos, a baixo custo, e aumentar a produtividade animal. O desenvolvimento de próteses humanas tais como pele artificial, de “bandagens inteligentes”, ou mesmo de instrumentos como marca-passos, podem ser dependentes da nanotecnologia. Outras aplicações de biossensores se darão no controle ambiental da produção de alimentos e suprimento de água.

*ii) Nova eletrônica, optoeletrônica, fotônica e nanodispositivos magnéticos*

Há potencial para aumentar a capacidade de microchips até 1 bilhão de bits de informação por chip. Entretanto os custos de produção serão dramaticamente elevados, e há um intenso esforço mundial para determinar o ponto, na escala física, em que continuar a tendência em direção à redução do tamanho e incremento da complexidade dos microchips se tornará fisicamente inviável ou financeiramente não atraente. A pesquisa focaliza a fabricação de estruturas eletrônicas na escala nanométrica baseada inteiramente em uma nova Física. Os dispositivos em desenvolvimento incluem lasers para optoeletrônica, *switches* ultra-rápidos, dispositivos de memória para computadores e dispositivos controlados por eventos eletrônicos simples. Este último tem potencial para revolucionar a Tecnologia da Informação e Comunicação com extensões em todos os aspectos da vida moderna.

*iii) Dispositivos e processos baseados em novos materiais*

Materiais inteligentes e pesquisa na ciência da superfície são fatores críticos para avanços futuros da nanotecnologia. Uma das propriedades interessantes de materiais como metais e cerâmicas na dimensão nanométrica é sua elevada área de superfície por unidade de volume a qual tem potencial para aumentar a velocidade de reações catalíticas, separações biomédicas e farmacêuticas e melhorar a eficiência de vários processos. Tais materiais podem

ser produzidos também por uma abordagem *bottom-up*, isto é, a partir de átomos ou moléculas individuais, ou por uma abordagem *top-down*, quebrando materiais volumosos em nanopartículas por meio de *mechanical milling* (moagem mecânica) ou *nano-cutting* (nanocorte). A primeira abordagem pode produzir filmes ou aglomerados (*clusters*) para nanodispositivos, enquanto que a segunda possibilita a fabricação de microcomponentes com novas propriedades mecânicas e magnéticas pela consolidação de nanopartículas. Modificações de estruturas a profundidades de 1-100nm podem levar a significantes mudanças nas propriedades físicas e químicas, por exemplo, corrosão, fricção e reatividade, que teriam maiores aplicações industriais.

As afirmações acima se aplicam igualmente à iniciativa brasileira em nanociência e nanotecnologia e certamente a outros programas ao redor do mundo. Um recente estudo estimou que a demanda mundial por produtos que incorporam nanotecnologia aumentará para US\$ 40 bilhões em 2002. As sete maiores áreas de demanda são: periféricos de Tecnologia da Informação (TI), aplicações médicas e biomédicas, equipamento industrial e automotivo, telecomunicações, controle de processos, monitoramento ambiental e produtos domésticos.

#### B) PERSPECTIVA INTERNACIONAL

O cenário internacional em nanotecnologia e nanociência é um dos mais positivos, otimistas e de evolução mais rápida. A comunidade científica mundial tradicional e a pouco tradicional tornaram-se – ou rapidamente estão se tornando – conscientes do crescente potencial científico e tecnológico do “nanomundo”, tanto que um grande esforço internacional está em andamento. Onde tradicionalmente os atores industriais têm desempenhado papel fundamental no desenvolvimento e na transferência de tecnologia para a sociedade, nanodispositivos já estão sendo utilizados comercialmente. Em outros países onde isto não é tão comum – incluindo Brasil – esforços estão sendo feitos para envolver o setor industrial o máximo possível.

Vários programas têm sido postos em ação no mundo, e a maioria deles tem suas bases disseminadas e disponíveis na internet. A seguinte lista de endereços eletrônicos mostra muito destes documentos.

Bancos de dados contendo os documentos do programa americano:

<http://www.nano.gov/>  
<http://itri.loyola.edu/nanobase/>

M.C. Roco, *International Strategy for Nanotechnology Research and Development*, publicado em *J. of Nanoparticle Research, Kluwer Academic Publ., Vol. 3, No. 5-6, pp. 353-360, 2001* (baseado em apresentação no simpósio Global Nanotechnology Networking, International Union of Materials Meeting, 28 de agosto de 2001), artigo que pode ser encontrado em [http://www.nano.gov/international/1jnr\\_int.doc](http://www.nano.gov/international/1jnr_int.doc) <sup>2</sup>.

Página do Institute of Nanotechnology no Reino Unido:

Contém informações sobre outros programas europeus disponíveis a pedido (mediante pagamento de taxas):

<http://www.nano.org.uk/>

A Apec (Asia-Pacific Economic Cooperation) tem um centro responsável pela previsão tecnológica, e a nanotecnologia é um dos seus projetos. Artigos de economia de vários países podem ser encontrados na sua página.

<http://www.apecsec.org.sg/>  
[http://www.nstda.or.th/apec/html/f\\_research.html](http://www.nstda.or.th/apec/html/f_research.html)

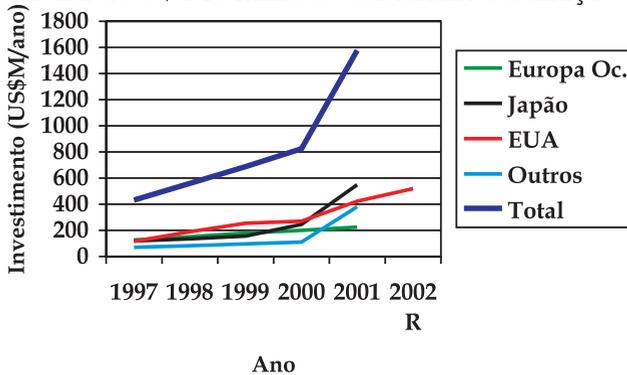
A tabela e o gráfico abaixo (extraídos do artigo de Roco mencionado acima) mostram o investimento internacional de 1997 a 2001.

Tabela 1. **Investimentos estimados em nanociência e nanotecnologia**

Área	1997		1998		1999		2000		2001		2002
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	
Europa Oc.		126		151		179		200		225	
Japão		120		135		157		245		410 +	
										140*	
EUA	116		190		225		270		422		519
Outros*		70		83		96		110		380	
<b>Total</b>		<b>432</b>		<b>559</b>		<b>687</b>		<b>825</b>		<b>1.577</b>	
<b>(% de 1997)</b>		<b>100%</b>		<b>129%</b>		<b>159%</b>		<b>191%</b>		<b>365%</b>	

Notas explanatórias: “Europa Oc.” inclui países da EU e Suíça; a uma taxa de câmbio \$1 = 1.1 Euro; taxa de câmbio para o Japão \$1 = 120 yen; “Outros” inclui Austrália, Canadá, China, FSU, Coréia, Cingapura, Taiwan e outros países com P&D em nanotecnologia. O ano fiscal começa em 1º de outubro do ano anterior, nos EUA (denotado por “a” na tabela), e na maioria dos outros países em 1º de março ou 1º de abril do respectivo ano (denotado por “b”).

(\*) Estimativas de uso de nanotecnologia, definidas como em NNI (ver Roco, Williams e Alivisatos, 1999), incluindo os gastos governamentais divulgados publicamente. Note que o Japão suplementou seu investimento inicial de US\$ 410 milhões em nanotecnologia, em 2001, com cerca de US\$ 140 milhões (somados nesta tabela perfazendo US\$ 550 milhões) para nanomateriais, incluindo metais e polímeros; não é claro se todos os componentes do programa adicional de US\$ 140 milhões satisfariam a definição do NNI.



**Figura 2.** Financiamento governamental mundial para P&D em nanotecnologia (agosto de 2001)

#### **4. O ESTÁGIO ATUAL DA P&D EM NANOCIÊNCIA & NANOTECNOLOGIA NO BRASIL**

Apesar de diferentes grupos em universidades ou centros de pesquisa no Brasil terem desenvolvido previamente pesquisa teórica e experimental em materiais nanoestruturados, tal progresso ocorreu, principalmente, devido a iniciativas individuais em vez de uma ação coordenada. De fato, pesquisadores brasileiros têm publicado em importantes periódicos internacionais vários estudos em nanoeletrônica, nanoquímica, nanocompósitos, nanomateriais para liberação de drogas, nanotubos, nanomateriais magnéticos e outros. Mais

recentemente, a importância de alguns destes trabalhos foi destacada mundialmente.

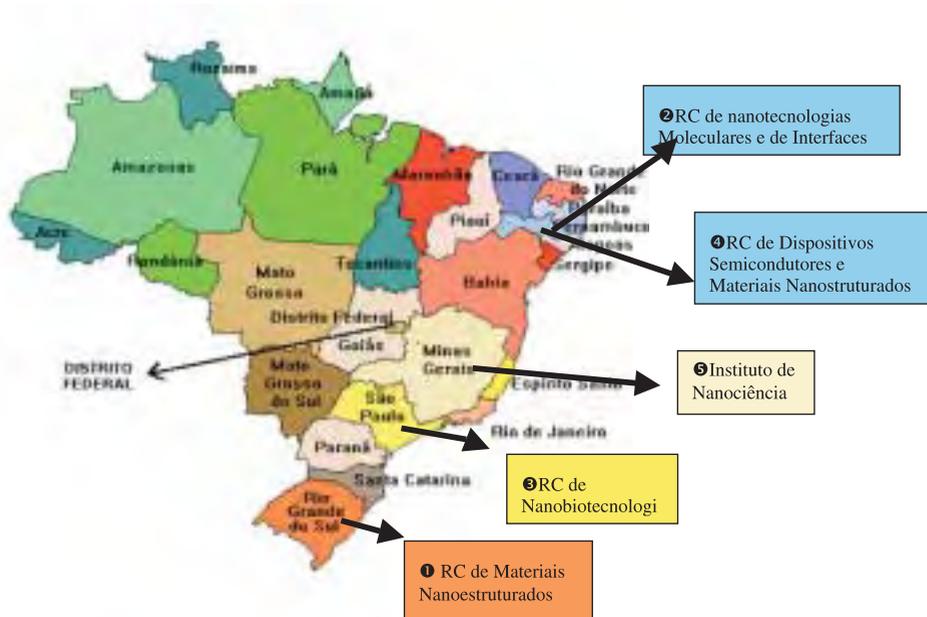
Desde o começo de 2001, as agências brasileiras pertencentes ao MCT, em particular o CNPq, têm oferecido apoio financeiro induzido por meio de um esforço coordenado. A cronologia do desenvolvimento do esforço coordenado em N&N no Brasil é a seguinte:

### **Cronologia da iniciativa em nanociência e nanotecnologia no Brasil**

22 de novembro 2000	Primeiro encontro de pesquisadores brasileiros do CNPq trabalhando no campo – Criação do Comitê de Articulação para preparar um documento com propostas.
Dezembro de 2000	Contato com atores-chave em nanociência e nanotecnologia nos Estados Unidos e Europa.
Março de 2001	Visita ao Brasil e encontro, com parte do Comitê de Articulação, do Dr. Richard Siegel, um dos consultores científicos (Scientific Advisors) do programa americano.
Abril de 2001	Divulgação do documento do Comitê de Articulação na página do CNPq.
Abril de 2001	Encontro do Comitê de Articulação com uma missão da França (em Campinas) – Disseminação da iniciativa brasileira em seminário internacional em Campinas (CTI).
Julho de 2001	O CNPq anuncia chamada de propostas de redes em nanociência e nanotecnologia em áreas selecionadas.
Agosto de 2001	O Dr. Celso Melo (Diretor do CNPq) apresenta a Iniciativa Brasileira N&N no <i>Workshop on International Collaboration and Networking: creating global nanotechnology networks</i> , Cancun, de 26 a 30 de agosto.
Outubro de 2001	O MCT anuncia o resultado das chamadas de propostas para o programa dos institutos do milênio: o Instituto de Nanociência, localizado em Minas Gerais, e coordenado por pesquisadores da Universidade Federal de Minas Gerais, é selecionado.
Dezembro de 2001	O CNPq anuncia os resultados da submissão de propostas: quatro redes foram formadas.
Janeiro de 2002	O MCT inicia procedimentos para definir centros nacionais de referência em nanotecnologia, com missões e locais a serem definidos.
Março de 2002	Missão da Alemanha faz visita ao Brasil para discutir colaboração internacional em nanociência e nanotecnologia.
Julho de 2002	Dr. Cylon Gonçalves entrega documento ao MCT com proposta a respeito dos Centros Nacionais de Referência em nanotecnologia.
Agosto de 2002	Encontro, no CNPq, com os coordenadores das redes cooperativas brasileiras em N&N e do Instituto do Milênio em Nanociência (UFMG).

Um dos passos importantes para implementação da Iniciativa em N&N, e para o desenvolvimento adicional de um programa nacional foi a seleção de quatro redes cooperativas (RC) em nanociência e nanotecnologia. Inicialmente, 28 propostas foram submetidas. As quatro RCs atuam nas seguintes áreas: (1) materiais nanoestruturados; (2) nanotecnologias moleculares e de interfaces; (3) nanobiotecnologia; e, (4) nanodispositivos semicondutores e materiais nanoestruturados. Além disso, do Programa dos Institutos do Milênio do MCT, um (5) Instituto de Nanociência, localizado em Belo Horizonte, foi estabelecido, como já mencionado. O mapa abaixo mostra as localizações geográficas das Instituições coordenadoras. Os objetivos gerais das redes formadas são principalmente articular as competências individuais, disseminar esta nova área de pesquisa e iniciar um programa educacional em nanociência e nanotecnologia. Mais detalhes e endereços para contato dos coordenadores das redes e do Instituto de Nanociência podem ser encontrados no Anexo I.

**Mapa com a localização das instituições coordenadoras das redes cooperativas e do Instituto de Nanociência**



## **5. IMPLEMENTAÇÃO EM CURTO PRAZO**

### **5.1 Temas propostos**

A principal tarefa de uma iniciativa nacional em N&N é definir prioridades e prover os recursos apropriados para realizá-las. A iniciativa brasileira foi concebida com base nas competências existentes, tendo em vista as necessidades de curto e médio prazo e preparando um ambiente adequado para o desenvolvimento de um programa nacional de longo prazo. Em graus diferentes, pesquisa fundamental, desenvolvimento tecnológico, transferência de tecnologia, educação e treinamento deveriam ser incluídos como parte de qualquer tema a ser desenvolvido. Os principais temas estimulados neste momento, embora não os únicos estudados pelos grupos de pesquisa, referem-se às seguintes áreas:

- a) Materiais nanoestruturados e dispositivos – no sentido amplo de dispositivos e processos baseados em novos materiais, (fotônicos, magnéticos e orgânicos) incluindo tecnologia eletrônica baseada em semicondutores;
- b) Nanobiotecnologia e nanoquímica – no sentido amplo de engenharia molecular inspirada pela biologia, incluindo interfaces;
- c) Processos em nanoescala e aplicações ao meio ambiente – incluindo aplicações em economia de energia e agricultura;
- d) Bionanodispositivos e aplicações à saúde – incluindo nanodispositivos farmacêuticos;
- e) Nanometrologia – incluindo aplicações em áreas estratégicas.

### **5.2 Apoio financeiro**

A questão de financiar uma nova e ampla área de pesquisa requer modelos inovativos de suporte contínuo, uma vez reconhecido que os esquemas convencionais em que uma ou duas agências financiam toda a pesquisa estão ultrapassados. O envolvimento, desde cedo, de diferentes atores

no planejamento da iniciativa pode ser mais eficiente e efetivo, mesmo que a decisão final seja pela continuidade do uso de uma única agência operacional. Se, por um lado, o financiamento em curto prazo será baseado em fundos existentes, por outro, a participação colaborativa de diferentes ministérios, motivada por interesses naturais próprios, deverá aumentar o orçamento total sob responsabilidade da agência operacional. A tabela abaixo dá um exemplo de como diferentes ministérios brasileiros poderiam apoiar pesquisas em temas de N&N que são relevantes para suas atividades (marcados com X):

**Temas sugeridos em N&N para apoio financeiro pelos ministérios brasileiros**

<b>Ministérios Agências</b>	<b>MCT</b>	<b>CNPq</b>	<b>Finep</b>	<b>MS</b>	<b>MT</b>	<b>MDIC</b>	<b>MA</b>	<b>MMA</b>	<b>MD</b>	<b>MME</b>
Materiais e dispositivos nanoestruturados	X	X	X		X	X			X	X
Nanobiotecnologia e nanoquímica	X	X	X	X			X	X		X
Processos em nanoescala e aplicações ao meio ambiente	X	X	X		X			X		
Bionanodispositivos aplicações em saúde	X	X	X	X						
Nanometrologia	X	X	X		X	X			X	
Segurança nacional	X	X							X	

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (agência/ MCT)

Finep – Financiadora de Estudos e Projetos (foco na indústria)

MS – Ministério da Saúde

MT – Ministério dos Transportes

MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

MA – Ministério da Agricultura

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MME – Ministério das Minas e Energia

MD – Ministério da Defesa

Nos últimos dois anos, um sistema completamente novo de desenvolvimento científico e tecnológico foi estabelecido no Brasil, baseado nos chamados Fundos Setoriais. Estes recursos são oriundos da desregulação e abertura de diferentes setores econômicos. Há, no momento, 14 fundos, cujos recursos poderiam ser parcialmente usados para apoiar projetos em nanociência e nanotecnologia e que poderiam servir aos interesses específicos do setor correspondente, incrementando, desta forma, o plano para um programa nacional em N&N. Pelas suas designações, não é difícil identificar, entre os temas propostos, os que melhor se adequam e cujos recursos poderiam ter um forte impacto no desenvolvimento da área coberta pelo fundo setorial de interesse. Estes fundos, que juntos injetarão mais de R\$ 1,2 bilhão/ano em P&D, podem ser usados para os financiamentos de curto, médio e longo prazo do programa em N&N, e dirigidos para os seguintes setores:

#### **Lista dos Fundos Setoriais**

CT-Petro – Fundo Setorial do Petróleo e Gás Natural
CT-Infra – Fundo de Infra-Estrutura
CT-Energ – Fundo Setorial de Energia
CT-Hidro – Fundo Setorial de Recursos Hídricos
CT-Mineral – Fundo Setorial Mineral
CT-Transporte – Fundo Setorial de Transportes Terrestres
CT – Verde Amarelo – Fundo para Interação Universidade-Indústria
CT-Espacial – Fundo Setorial Espacial
Funtell – Fundo para o Desenvolvimento Tecnológico das Telecomunicações
CT-Info – Fundo Setorial para Tecnologia da Informação
CT-Saúde – Fundo Setorial de Saúde
CT-Agronegócio – Fundo Setorial de Agronegócio
CT-Biotecnologia – Fundo Setorial de Biotecnologia
CT-Aeronáutico – Fundo para o Setor Aeronáutico

### **5.3 Redes cooperativas**

De acordo com a estratégia de curto prazo para a implementação da iniciativa nacional, a implantação das redes cooperativas, apoiadas pelo CNPq, foi o primeiro passo para o desenvolvimento de um programa coordenado. Como mencionado antes, há quatro redes cooperativas, envolvendo mais de

50 instituições, em diferentes áreas de pesquisa, com cerca de 150 pesquisadores e estudantes envolvidos no processo. Essas redes cooperativas começaram a operar recentemente e serão monitoradas nos próximos dois anos para seguir o seu desenvolvimento.

Um segundo passo considerado neste momento envolve o estabelecimento de instalações nacionais dedicadas aos programas em N&N, na possível forma de laboratórios nacionais, centros nacionais de referência, ou outras instalações de âmbito nacional que possam fazer a Iniciativa Brasileira em N&N avançar. Discussões sobre o formato dessas instalações, incluindo sua missão e propósitos, foram realizadas ao longo do primeiro semestre de 2002, e um documento considerando possíveis alternativas foi entregue ao MCT em julho de 2002.

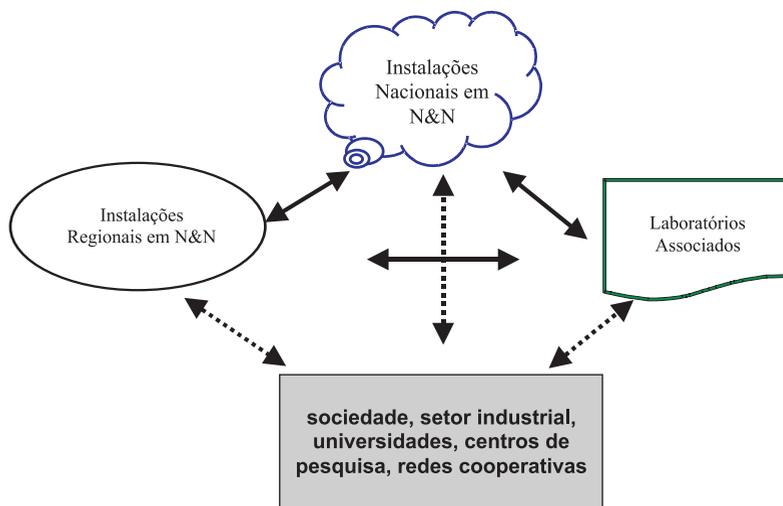
## **6. PARA UM PROGRAMA NACIONAL DE LONGO PRAZO**

Dados os desenvolvimentos descritos até agora, uma parcela entusiástica da comunidade científica brasileira está fortemente empenhada em juntar-se ao MCT e ao CNPq na elaboração de um programa nacional de longo prazo em N&N. Outros ministérios e setores interessados da sociedade brasileira, tais como o de negócios ou o industrial, estão sendo estimulados a contribuir neste processo e a serem parceiros na formulação de tal programa. Isto requererá ações e decisões importantes e bem fundamentadas em vários aspectos, alguns dos quais são ressaltados abaixo:

- a) O programa tem que ser amplo, com apoio de iniciativas espontâneas, e deve dar espaço a ações de indução;
- b) Uma ênfase particular deve ser dada à formação de recursos humanos em todos os níveis;
- c) O setor industrial tem que ser agregado ao programa desde o seu início;
- d) Devem ser concebidos programas especiais para induzir transferência de conhecimento;
- e) O programa deveria inovar com a exploração dos aspectos transdisciplinares do campo, particularmente na formação de recursos humanos;

- f) Recursos financeiros deveriam ser assegurados por um número pré-definido mínimo de anos;
- g) Cooperações internacionais com parceiros líderes na área deveriam ser buscadas;
- h) Deveria ser desenvolvido um modelo para apoio de infra-estrutura em níveis nacional e regional, viabilizando formas efetivas para enfrentar os desequilíbrios regionais em P&D existentes no Brasil, além do nível de interação ainda incipiente com a indústria (ver figura abaixo).

### Visão pictórica da estrutura do Programa Brasileiro em N&N



A descrição pictórica acima dá uma idéia geral do tipo de apoio de infra-estrutura que é requerido. Desde a sua concepção, o papel de cada setor no programa deve ser claramente definido e as demandas da sociedade e do setor industrial claramente identificadas.

No artigo de Roco, acima mencionado, “Estratégias Internacionais para Pesquisa e Desenvolvimento em Nanotecnologia”, os seguintes pontos são levantados como assuntos estratégicos fundamentais mundialmente válidos:

- Focos em P&D diferenciados, como função do país;
- O treinamento de pessoal é um componente fundamental para o sucesso em longo prazo;

- Há desafios científicos e técnicos comuns correspondentes aos objetivos mais amplos da humanidade;
- Foco na manufatura em nanoescala;
- Parcerias: encorajando interdisciplinaridade e atividades integradoras;
- Aceleração da colaboração internacional.

É importante notar que alguns desses temas estão sendo diretamente abordados na atual iniciativa brasileira, enquanto que outros requerem uma continuidade dos esforços já iniciados. O Brasil é mencionado no documento devido a um dos seus mais importantes laboratórios científicos, e agora é reconhecido como um dos países, e o único na América Latina, a ter um “programa” em nanociência e nanotecnologia, a despeito de, do nosso ponto de vista, ainda haja muito a ser feito.

Como tem acontecido em muitos outros países, é esperado pela comunidade científica que, no Brasil, a nanociência e nanotecnologia também formem um programa estratégico no planejamento, em longo prazo, de prioridades em Ciência, Tecnologia & Inovação. As competências existentes, os primeiros sucessos das iniciativas recentemente adotadas e o interesse internacional no campo mostram que as ações tomadas estão no caminho correto. Neste momento, outros aspectos requeridos para a evolução dessa iniciativa em um programa estão sendo identificados.

Conforme ressaltado por Neal Lane, assistente para Ciência e Tecnologia do Presidente dos Estados Unidos, em sua carta à Casa Branca, em julho de 2000, acompanhando o Plano Americano de Implementação da Iniciativa em N&N<sup>1</sup>, “a nanotecnologia terá um profundo impacto na nossa economia e sociedade (i.e. a americana), no início do Século 21, talvez comparável ao da tecnologia da informação ou o da genética e da biologia celular e molecular”.

Portanto, a nanociência e nanotecnologia devem receber o devido reconhecimento, por todos os setores governamentais e pela sociedade como um todo, como uma ação integrada de extrema importância para o desenvolvimento científico, tecnológico e econômico do Brasil no século XXI.

*Brasília, novembro de 2002*

ANDERSON S. L. GOMES  
CELSO P. DE MELO

## 7. AS REDES BRASILEIRAS E O INSTITUTO DO MILÊNIO EM NANOCIÊNCIA

### Rede Cooperativa #1 (Programa do CNPq)

#### 1. Identificação de rede cooperativa

Rede de Pesquisa em Nanobiotecnologia

#### 2. Coordenadores e instituições coordenadoras:

Universidade de Campinas (Unicamp)

Coordenador: Professor Nelson Eduardo Caballero Duran

E-mail: duran@iq.unicamp.br

Instituto de Química (Unicamp)

Campus Universitário – Campinas

Telefone: xx19-37883149

#### 3. Instituições participantes

Nome	Deptº ou Laboratório	Pessoal envolvido			Contato
		PhD	Sc	Estudante	
Unicamp/ Umc	Instituto de Química – Unicamp	5	2	5	Nelson Duran duran@iq.unicamp.br
Unicamp	Departamento de Engenharia Química	3	3	2	Maria Helena Santana lena@feq.unicamp.br
Unicamp	Departamento de Ciências Biológicas	1	2	2	Patrícia Melo pmelo@unicamp.br
Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto – USP	Departamento de Bioquímica e Imunologia – Laboratório de Desenvolvimento Tecnológico	2	2	1	José Maciel Rodrigues Júnior jmrj@life-sciences.com.br
Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto – USP	Departamento de Fármacos e Medicamentos	5	3	2	Maria Vitória Badra Bentley vbentley@fcfrp.usp.br
Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto- USP	Centro de Pesquisa em Tuberculose	6	4	2	Célio Lopes Silva clsilva@fmrp.usp.br
IPT	Laboratório de Partículas	2	2	1	Maria Inês Ré mire@ipt.br
Universidade de São Francisco	Laboratório de Nanotecnologia	1	1	0	Ana Maria de Paula adepaula@
UFRGS	Instituto de Química	2	3	5	Adriana Pohlmann pohlmann@iq.ufrgs.br
IB/UnB	Lab. de Genética	1	0	7	Z.G.M. Laçava zulmira@unb.br
IB/UnB	Lab. de Morfologia	1	0	6	R.B. Azevedo rizevedo@unb.br

Nome	Deptº ou Laboratório	Pessoal envolvido			Contato
IB/UnB	Lab. de Microscopia Eletrônica	2	0	6	S.N. Bão snbao@unb.br
IF/UnB	Lab. Mössbauer	2	0	0	V.K. Garg garg@unb.br
IF/UnB	Lab. de Magnetismo	2	0	0	K. Skeff Neto skeffneto@unb.br
IF/UnB	Lab. de Ótica	4	1	16	P.C. Morais pcmor@unb.br
IF/UnB	Lab. de Química	1	0	2	M.F. Da Silva flettere@unb.br
IF/UFG	Lab. de Ressonância	1	1	4	F. Pelegrini fpelegrin@if.ufg.br
IQ/UFG	Lab. de Materiais	2	0	4	E.C.D. Lima elima@quimica.ufg.br
FFCLRP/USP	Lab. de Fotobiologia	2	0	4	A.C. Tedesco tedesco@ffclrp.usp.br
FF/UFU	Lab. de Materiais Óticos	1	0	3	Fanyao Qu fanyao@ufu.br
IF/UFRJ	Lab. de Magnetismo	2	0	4	M.A. Novak mnovak@if.ufrj.br
FF/UFSC	Lab. de Farmacotécnica	1	3	2	E.L. Senna lemos@ccs.ufsc.br
FF/UFSC	Lab. de Farmacotécnica	0	0	2	AM de Campos angelacampos@ccs.ufsc.br
FQ/UFSC	Lab. Polimat	3	1	0	V. Soldi vsoldi@qmc.ufsc.br
FF/UFSC	Lab. de Neurobiologia	1	1	0	M. Alvarez
IB/UFRJ	Imunofarmacologia	1	3	1	Bartira Rossi Bergmann bartira@biof.ufrj.br
IB/UFRJ	Laboratório de Física Biológica	4	0	0	Paulo Mascarello Bisch pmbisch@biof.ufrj.br
UEPG	Defar	3	2	2	Jocélia Jansen jojansen@uol.com.br
UFRGS	Faculdade de Farmácia	0	4	4	Sílvia Guterrez nanoc@farmacia.ufrgs.br
ICB/UFMG	Depto. de Fisiologia & Biofísica Depto. de Parasitologia	5	3	1	Frederic Frézard frezard@mono.icb.ufmg.br
Icex/UFMG	Depto. de Química	2	2	3	Cynthia Demicheli demichel@dedalus.lcc.ufmg.br
FF/UFMG	Lab. de Tecnologia Farmacêutica	2	0	6	Monica Oliveira monica@farmacia.ufmg.br
Embrapa/SC	Laboratório de AFM	2	0	0	Paulo Herrmann herrmann@cnpdia.embrapa.br

#### 4. Linhas de Pesquisa na RC

Linha de pesquisa	Sumário de objetivos	Projetos em andamento
Fluidos magnéticos biocompatíveis	Síntese, caracterização e aplicações	3
Fluidos magnéticos	Síntese, caracterização e aplicações	1
Magnetolipossomos	Síntese, caracterização e aplicações	2
Compostos magnéticos e semicondutores	Síntese, caracterização e aplicações	3
Fotobiologia	Aplicações em terapia fotodinâmica	2
Nanoestruturas magnéticas e semicondutoras	Caracterização ótica	4
Desenvolvimento de nano e micropartículas como sistemas liberadores de drogas	Desenvolvimento de processos e sistemas de liberação	8
Estudo de biopolímeros com aplicação em liberação controlada de drogas	Uso de matrizes poliméricas (filmes finos e matrizes poliméricas) para sistemas de liberação controlada	1
Biologia celular e molecular do sistema hematopoiético; Imunopatologia de tumores		2
Desenvolvimento de drogas e vacinas contra leishmaniose	1) Identificar novas drogas potenciais, naturais e sintéticas; 2) Identificar novas vacinas nativas, recombinantes e de DNA; 3) Potencializar a sua efetividade contra a leishmaniose pela vetorização em nanopartículas.	2
Restauração de imagem em SPM	Restaurar as características da amostra biológica usando ferramentas matemáticas	1
Espectroscopia de força	Medir as forças adesivas entre pares e superfícies ligando receptor	2
Caracterização de superfícies	Uso de AFM na caracterização de superfícies biológicas em escala nanométrica	1
Sistemas tópicos coloidais	- Desenvolvimento de sistemas tópicos coloidais (lipossomos, derivados de celulose, ácidos lácticos, nanopartículas lipídicas); - Estudo do transporte de drogas encapsuladas através da pele.	4
Desenvolvimento de nanopartículas como veículos de drogas	- Desenvolver e caracterizar suspensões poliméricas de nanopartículas; - Desenvolver e caracterizar pós de nanopartículas congelados e secos.	4
Desenvolvimento de sistemas de partículas	Desenvolvimento e otimização de sistemas de partículas processos	3

Rede Cooperativa #2 (Programa do CNPq)

**1. Identificação da rede cooperativa**

Rede Cooperativa para Pesquisa em Nanodispositivos Semicondutores e Materiais Nanoestruturados – Nanosemimat  
website: <http://www.if.sc.usp.br/~nanosemimat/>

**2. Coordenador e instituição coordenadora:**

Departamento de Física, Universidade Federal de Pernambuco  
Cidade Universitária, 50670-901, Recife, PE - Brasil  
Coordenador: Eronides F. da Silva Jr  
e-mail: [eron@ufpe.br](mailto:eron@ufpe.br)  
Telefone: + 55 81 32718450, fax: + 55 81 3271 0359

**3. Instituições participantes**

Nome	Deptº ou Lab.	Pessoal envolvido			Contato
		PhD	MSc	Estudantes	
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE	Física	6		10IC, 5M, 7D	E. F. da Silva Jr <a href="mailto:eron@ufpe.br">eron@ufpe.br</a> coordenador
Universidade Federal do Ceará – UFC	Física	4		7IC, 6M, 4D	V. N. Freire <a href="mailto:valder@fisica.ufc.br">valder@fisica.ufc.br</a> coordenador regional
Universidade de São Paulo – USP/SP	Física de Novos Materiais Semicondutores	12	2	4IC, 3M, 11D	J. R. Leite <a href="mailto:jrleite@macbeth.if.usp.br">jrleite@macbeth.if.usp.br</a> coordenador adjunto
Universidade Federal da Bahia – UFBA	Física	3		2IC, 2M, 2D	A.F. da Silva <a href="mailto:ferreira@fis.ufba.br">ferreira@fis.ufba.br</a>
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN	Física	4		4IC, 3M, 2D	E. L. Albuquerque <a href="mailto:eudenilson@dfte.ufrn.br">eudenilson@dfte.ufrn.br</a>
Universidade Federal de Alagoas – Ufal	Física	2		4IC, 2M, 1D	M. L. Lyra <a href="mailto:marcelo@fis.ufal.br">marcelo@fis.ufal.br</a>
Universidade Federal do Maranhão – UFMA	Física	1		2IC, 0M, 0D	M. C. A. Lima <a href="mailto:mlima@ufma.br">mlima@ufma.br</a>
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS	Microeletrônica/ Física	1		3IC, 2M, 0D	H. Boudinov <a href="mailto:henry@if.ufrgs.br">henry@if.ufrgs.br</a>
Universidade Estadual de Campinas – Unicamp	Física	4		2IC, 2M, 3D	E. A. Meneses <a href="mailto:elermes@ifi.unicamp.br">elermes@ifi.unicamp.br</a>
Universidade de São Paulo – USP/Bauru	Física	1		2IC, 1M, 0D	A. Tabata <a href="mailto:atabata@macbeth.if.usp.br">atabata@macbeth.if.usp.br</a>
Universidade Católica – PUC/RJ	Física	2		2IC, 1M, 4D	E. Anda <a href="mailto:anda@fis.puc-rio.br">anda@fis.puc-rio.br</a>
Universidade Estadual do Rio de Janeiro – Uerj	Física	2		0IC, 1M, 1D	I C. da Cunha Lima <a href="mailto:ivancl@uol.com.br">ivancl@uol.com.br</a>
Escola Politécnica – USP/SP	Engenharia Elétrica	3		2IC, 3M, 3D	J. Ramirez <a href="mailto:jramirez@lme.usp.br">jramirez@lme.usp.br</a>

Nome	Deptº ou Lab.	Pessoal envolvido			Contato
Universidade de São Paulo – USP/São Carlos	Física/Ciência da Computação	2		3IC, 1M, 0D	G. Sipahi sipahi@if.usp.br
Centro Federal de Educação Tecnológica – Cefet/MA	Ciências Exatas	1		1IC, 0M, 0D	P. W. Mauriz mauriz@dfte.ufrn.br
Universidade Estadual do Rio Grande do Norte – UERN	Física	1		1IC, 0M, 0D	M. S. Vasconcelos manoelvasconcelos@yahoo.com.br
Universidade de Brasília – UnB	Física	3	1	2IC, 3M, 3D	A. Cleves Oliveira oacn@helium.fis.unb.br

#### 4. Linhas de pesquisa na rede cooperativa: Nanosemimat

Linha de pesquisa principal	Sumário de objetivos	Projetos em andamento
Materiais Semicondutores Nanoestruturados: III-V e II-VI	Síntese, crescimento, ou deposição de materiais nanoestruturados: formação de sistemas multicamadas e dispositivos nanoeletrônicos baseados em semicondutores e materiais híbridos. Uso de Técnicas Teóricas para Estudar Novos Fenômenos em Materiais Nanoestruturados e Nanodispositivos: Autoconsistente, DFT/LDA, <i>Ab initio</i> , Massa Efetiva, Dinâmica Molecular, Monte Carlo, Propriedades Termodinâmicas de Nanoestruturas Quase Periódicas	Nitretos/Fapesp/DFG/ Pronex Spintronics/CNPq/CNRS/Fapesp Dielétricos com alto k/CTPetro/Fapesp
Propriedades Óticas e de Transporte em Nanodispositivos e Semicondutores Nanoestruturados	Estudo de Propriedades Óticas e Vibracionais , Fenômenos de Transporte em Sistemas 0-3D em Diversos Semicondutores. Multicamadas Quase Periódicas Metalmagnéticas envolvendo Interações de Longo Alcance, Condutância Eletrônica Anômala em Semicondutores, Estruturas Quase Cristalinas, Nanoestruturas de Semicondutores Magnéticos Diluídos, Transporte Spin-polarizado em estruturas Quase bidimensionais	Confinamento Excitônico em GaAs/AlGaAs e sistemas Si (SiC) /SiO2 /CTPetro Transporte Magnético/CNPq /CNRS Nanotubos de carbono de paredes simples/CNPq/Fapesp Propriedades óticas de cerâmicas /CNPq
Dispositivos Semicondutores baseados em Si e SiC, Materiais de Gap Largo, Cerâmicas e Polímeros	Física de Interfaces, Dispositivos de Tecnologia MOS, Ruptura Dielétrica, Interação (Geração) da Radiação com (pelos) Nanodispositivos e Materiais Nanoestruturados	Dispositivos em Si e SiC para aplicações como sensores /PADCT Dispositivos em SiC MIS, Filmes ultrafinos/CTPetro Dispositivos Óticos e Materiais /Pronex LEDs de Nitreto /Fapesp/Pronex/DFG

Linha de pesquisa principal	Sumário de objetivos	Projetos em andamento
Aplicações de Nanodispositivos: Sensores Óticos e físico-químicos	Inovação em Processamento de Dispositivos, Novas Estruturas- Dispositivos e Simulação de Nanoestruturas Semicondutoras 3D, Produção de Dispositivos Semicondutores Discretos e Componentes para aplicações em optoeletrônica sensores e áreas relacionadas. Aplicações de Semicondutores, polímeros, cerâmicas e materiais porosos. Caracterização de Dispositivos AFM	Sensores UV /PADCT Fotodetectores baseados em Si /PADCT Sensores de Gás/CTPetro Células solares de Si /BNB Narizes Eletrônicos /Fapesp Biossensores/Fapesp/CNPq. Crescimento MBE de Pontos quânticos em InAs /Fapesp RHEED investigação durante crescimento II-V MBE /Fapesp Caracterização de AFM/STM /CTPetro

### Rede Cooperativa #3 (Programa do CNPq)

#### 1. Rede cooperativa, nome e sigla

Rede de pesquisa em materiais nanoestruturados

website: [www.nanoestruturas.cjb.net](http://www.nanoestruturas.cjb.net)

[www.if.ufrgs.br/~israel](http://www.if.ufrgs.br/~israel)

#### 2. Coordenador e instituição coordenadora

Israel J.R. Baumvol

Instituto de Física - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Av. Bento Gonçalves, 9500

91509-900 Porto Alegre, RS

Brasil

E-mail: [israel@if.ufrgs.br](mailto:israel@if.ufrgs.br)

Telefone/fax - 55 51 33166526

#### 3. Instituições participantes

Nome	Deptº ou Lab.	Pessoal envolvido			Contato
		Doutores	Mestres	Estudantes	
UFRGS	Física e Química	7	10	6 M 15 D	Israel Baumvol <a href="mailto:israel@if.ufrgs.br">israel@if.ufrgs.br</a>
PUC-RJ	Física e Engenharias	6	5	4 M 11 D	Fernando Lázaro Freire <a href="mailto:lazaro@vdg.fis.puc-rio.br">lazaro@vdg.fis.puc-rio.br</a>
UFMG	Física, Química e Ciência da Computação	30	12	20 M 31 D	Helio Chacham <a href="mailto:chacham@fisica.ufmg.br">chacham@fisica.ufmg.br</a>
UFRJ	Física	26	7	15 M 16 D	Raimundo dos Santos <a href="mailto:rrds@if.ufrj.br">rrds@if.ufrj.br</a>

Nome	Deptº ou Lab.	Pessoal envolvido			Contato
		Doutores	Mestres	Estudantes	
UFPE	Física	6	1	3 M 5 D	Sergio Resende smr@df.ufpe.br
Unicamp	Física	21	5	15 M 22 D	Marcelo Knobel knobel@ifi.unicamp.br
USP	Física	5	1	3 M 3 D	Adalberto Fazzio fazzio@if.usp.br
LNLS	Física, Química e Engenharias	7	2	3 M 7 D	Daniel Ugarte ugarte@lnls.br
UFP	Química e Física	4	1	3 M 4 D	Aldo Zarbin aldo@quimica.ufpr.br
CBPF	Física	5	0	2 M 5 D	Elisa Saitovich elisa@cbpf.br
UFSC	Física	6	2	3 M 5 D	Yara Gobato yara@df.ufscar.br

#### 4. Linhas de pesquisa na RC

Linha de pesquisa	Sumário de objetivos	Projetos em andamento
Nano-objetos	Não informado	Não informado
Semicondutores	Não informado	Não informado
Nanoestruturas Magnéticas	Não informado	Não informado
Automontagem, Polímeros, Cerâmicas	Não informado	Não informado
Teoria e Simulação	Não informado	Não informado

Rede Cooperativa #4 (Programa do CNPq)

#### 1. Rede cooperativa, nome e sigla

Rede de nanotecnologia Molecular e de Interfaces (Renami)  
(Molecular and Interfaces Nanotechnology Research Network)  
website: [www.renami.com.br](http://www.renami.com.br)

#### 2. Coordenador e instituição coordenadora

Oscar Manoel Loureiro Malta [oscar@renami.com.br](mailto:oscar@renami.com.br)  
Telefone: (81)32718440 Ramal 5012 ; Fax: (81) 32718442  
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE  
CCEN – Departamento de Química Fundamental  
Av. Luís Freire S/N, Cidade Universitária, 50.740-540 – Recife – PE, Brasil

### 3. Instituições participantes (Ver detalhes em [www.renami.com.br](http://www.renami.com.br))

Nome	Dept° ou Lab.	Pessoal envolvido			Contato
		D	M	Estudantes	
UFPE	CCEN	12		39	Oscar Malta oscar@renami.com.br
USP	IQ	10		37	Henrique Eisi Toma henetoma@iq.usp.br
UFRJ	COPPE	9		31	Carlos Alberto Achete achete@metalmat.ufrj.br
UFRJ	IMA	2		4	Ailton de Souza Gomes asgomes@ima.ufrj.br
Ponto Quântico Nanodispositivos	Nectar	3		1	Petrus Santa Cruz petrus@renami.com.br
UNESP	IQ	2		6	Elidiane Rangel elidiane@feg.unesp.br
IPEN		2		4	Maria Cláudia Felinto mfelinto@nct.ipen.br
IPT		1		3	Mário Ricardo Gongora Rúbio gongoram@ipt.br
CBPF		1		4	Luiz Carlos Sampaio de Lima sampaio@cbpf.br
PUC-RIO		1		4	Marco Cremona cremona@fis.puc-rio.br
UFPB	Dema	6		16	Laura Hecker de Carvalho laura@dema.ufpb.br
UFPR		4		11	Ivo Hümmelgen iah@fisica.ufpr.br
UEPG		2		5	Márcio Lazzarotto mlazzaro@uepg.br
Unicentro		1		3	Fauze Jaco Anaissi anaissi@unicentro.br
UFS		5		12	Marcelo Macêdo mmacedo@ufs.br

#### 4. Linhas de pesquisa da RC

Linha de Pesquisa
Sistemas supramoleculares
Nanodispositivos moleculares – sensores e dosímetros
Simulação dinâmica-molecular
Nanocompostos SiC
Produção de nanoestruturas em EC- STM
Filmes finos de carbono duro amorfo
Investigações por AFM de filmes <i>magnetron sputtering</i>
Previsões teóricas de estrutura e espectro eletrônico
Simulações de dinâmica molecular
Materiais fotônicos para nanodispositivos
Produção de filmes finos metálicos por difusão de nanopartículas em vidros
Filmes magnéticos
Reconhecimento molecular
Interações eletrônicas em agregados supramoleculares
Simulação ( <i>mimicking</i> ) de sistemas biológicos
Novas interfaces moleculares
Adsorção superficial seletiva – nanopartículas magnéticas
Filmes cerâmicos
Revestimento ( <i>coating</i> ) e materiais biocompatíveis
Complexos luminescentes e macrocíclicos
Funcionalização de supramoleculas
Imunoensaio biológico
Processos fotônicos em materiais nanoestruturados
Vidrocerâmicas híbridas nanoestruturadas
Deteção ( <i>tracking</i> ) fotônica em sistemas biológicos
Spintrônica
Nanocompostos e membranas poliméricas

Instituto do Milênio (Programa do MCT)

## 1. Instituto de nanociência

### 2. Coordenador e instituição coordenadora

Departamento de Física, Universidade Federal de Minas Gerais  
Caixa Postal 702, 30123-970 Belo Horizonte, MG, Brasil

Coordenadores:

Prof. Alaor S. Chaves

E-mail: alaor@fisica.ufmg.br

Telefone: 55 31 34995641, fax: 55 31 34995600

Prof. Marcos A. Pimenta

E-mail: mpimenta@fisica.ufmg.br

Telefone: 55 31 34995667, fax: 55 31 34995600

### 3. Instituições participantes

Nome	Deptº ou Lab.	Pessoal Envolvido			Contato
		D	M	Estudantes	
UFMG	Física	32		24 D 12 M	Marcos A. Pimenta mpimenta@ufmg.br
UFMG	Química	04		06 D 03 M	Glaura Goulart glaura@lcc.ufmg.br
UFF	Física	02		01 D 02 M	Andrea Latge latge@if.uff.br
UFRJ	Física	11		09 D 02 M	Belita Koiller bk@if.ufrj.br
UFV	Física	02		01 M	Sukarno Olavo Ferreira sukarno@ufv.br
CDTN		02		01 D	Waldemar Macedo wmacedo@cdtn.br
LNLS		01		02 M	Gilberto Medeiros gmedeiros@lnls.br
PUC-RJ	Engenharia Física	02		01 D 05 M	Patrícia Lustoza plustoza@cetuc.puc-rio.br
UFSJ	Física	02		03 D 04 M	José Luiz A. Alves arestrup@funrei.br
UERJ	Física	01			Caio H. Lewenkopf caio@uerj.br
UFBA	Física	01			Caio M. C. de Castilho
CE/TEC		01			Margareth Spangler spangler@cetec.br
IITP-UNIT	Física				José Omar Bustamante jobustamante@yahoo.com
UFJF	Física	02		02 D	Sócrates Dantas dantas@fisica.ufjf.br

#### 4. Linhas de pesquisa na RC

Linha de pesquisa	Sumário de objetivos/ Projetos em andamento
Nanotubos de carbono e sistemas correlacionados	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desenvolvimento de um sistema para crescimento de nanotubos de carbono por deposição de fase química (CVD)</li> <li>- Estudo de propriedades estruturais e vibracionais de nanotubos de carbono e sistemas relacionados</li> <li>- Estudo das propriedades eletrônicas e de transporte em nanotubos de carbono</li> </ul>
Sistemas magnéticos nano-estruturados	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estudo de materiais granulares e nanopartículas magnéticas</li> <li>- Propriedades magnéticas e de transporte de nanoestruturas semicondutoras magnéticas</li> <li>- Investigação das propriedades estruturais, magnéticas e de transporte de superfícies e multicamadas</li> <li>- Estudo de nanoestruturas magnéticas quimicamente preparadas</li> </ul>
Nanossistemas biológicos e orgânicos/inorgânicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estudo de materiais multicomponentes de matriz polimérica e desenvolvimento de dispositivos eletroquímicos</li> <li>- Estudo de monocamadas autoconstruídas de ácidos fosfônicos depositados em substratos diversos</li> <li>- Uso de novos atuadores para converter energia elétrica em energia mecânica ou vice-versa</li> <li>- Estudo de filmes finos de polímeros conjugados com a inclusão de nanopartículas metálicas</li> <li>- Desenvolvimento de novas terapias para alguns tipos de câncer e algumas doenças dos sistemas cardiovascular e imunológico, compreensão dos mecanismos neurológicos que causam a epilepsia e desenvolvimento de técnicas experimentais para estudar uma única molécula de DNA e suas interações com proteínas</li> </ul>
Nanoestruturas semicondutoras, supercondutoras e metálicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Crescimento e/ou síntese de nanoestruturas (de baixas dimensionalidades)</li> <li>- Fabricação e manuseio de dispositivos e sistemas nanoestruturados por litografia ótica e por feixe de elétrons e por técnicas correlatas</li> <li>- Estudo das propriedades óticas e de transporte de estruturas bi, uni e zero-dimensionais</li> <li>- Caracterização morfológica e estrutural de nanoestruturas e nanodispositivos por microscopia de varredura de sonda (<i>scanning probe</i>), espalhamento de Raios-X superficial, microscopia de varredura e microscopia de transmissão eletrônica</li> <li>- Modelagem teórica de propriedades eletrônicas óticas e estruturais, teoria de transporte eletrônico e efeitos de muitos corpos em nanoestruturas naturais e artificiais</li> </ul>



*Memória*

Há mais espaços lá embaixo\*

---

*Richard P. Feynman*

Eu imagino que um físico experimental deva frequentemente olhar com inveja para homens como Kamerlingh Onnes, que descobriu o campo das baixas temperaturas, que parece não ter fim e no qual pode-se sempre ir mais e mais fundo. Um homem assim é um líder e tem um certo monopólio temporário na aventura científica. Percy Bridgman, ao projetar um meio de obter altas pressões, abriu outro novo campo e foi capaz de penetrar nele e de orientar-nos nesse novo percurso. O desenvolvimento de vácuos mais e mais perfeitos foi um desenvolvimento contínuo do mesmo tipo. Eu gostaria de descrever um campo no qual pouco tem sido feito, mas no qual, em princípio, uma enormidade pode ser conseguida. Esse campo não é exatamente do mesmo tipo que os outros, no sentido em que não nos dirá muito sobre a física fundamental (na linha de “o que são as partículas estranhas?”), mas assemelha-se mais com a física do estado sólido, no sentido em que pode dizer-nos muitas coisas de grande interesse sobre os estranhos fenômenos que ocorrem em situações complexas; além disso, um aspecto muito importante é que esse campo terá um enorme número de aplicações técnicas.

O que eu quero falar é sobre o problema de manipular e controlar coisas em escala atômica.

Tão logo eu menciono isto, as pessoas me falam sobre miniaturização e o quanto ela tem progredido nos dias de hoje. Elas contam-me sobre motores

---

\* Artigo publicado no Jornal *Comciência*, novembro 2002, edição Especial Nanociência e Nanotecnologia, Revista Eletrônica de Jornalismo Científica, da Unicamp. Texto traduzido por Roberto Belisário e Elizabeth Gigliotti de Sousa.

elétricos com o tamanho de uma unha do seu dedo mindinho. E que há um dispositivo no mercado, dizem elas, com o qual pode-se escrever o *Pai Nosso* na cabeça de um alfinete. Mas isso não é nada: é o passo mais primitivo e hesitante na direção que eu pretendo discutir. É um novo mundo surpreendentemente pequeno. No ano 2000, quando olharem para esta época, elas se perguntarão por que só no ano de 1960 que alguém começou a se movimentar seriamente nessa direção.

### **POR QUE NÃO PODEMOS ESCREVER OS 24 VOLUMES INTEIROS DA ENCICLOPÉDIA BRITÂNICA NA CABEÇA DE UM ALFINETE?**

Vamos ver o que estaria envolvido nisso. A cabeça de um alfinete tem um dezesseis avos de polegada de largura. Se você aumentar seu diâmetro 25 mil vezes, a área da cabeça do alfinete será igual a área de todas as páginas da Enciclopédia Britânica. Assim, tudo o que se precisa fazer é reduzir 25 mil vezes em tamanho todo o texto da Enciclopédia. Isso é possível? O poder de resolução do olho é de cerca de 1/120 de uma polegada – aproximadamente, o diâmetro de um dos pequenos pontos em uma das boas e vetustas edições da Enciclopédia. Isto, quando você diminui em 25 mil vezes, ainda tem 80 angstroms de diâmetro – 32 átomos de largura, em um metal ordinário. Em outras palavras, um daqueles pontos ainda poderá conter em sua área 1.000 átomos. Assim, cada ponto pode ter seu tamanho facilmente ajustado segundo o requerido pela gravação, e não resta dúvida sobre se há espaço suficiente na cabeça de um alfinete para toda a Enciclopédia Britânica.

Além disso, ela poderá ser lida se puder ser escrita dessa forma. Imaginemos que ela seja escrita em letras em alto-relevo de metal; ou seja, onde existe o preto na enciclopédia, fazemos letras de metal em alto-relevo com 1/25.000 do seu tamanho ordinário. Como leríamos isso?

Se tivéssemos algo escrito dessa forma, poderíamos lê-lo usando técnicas hoje comuns. (Eles indubitavelmente encontrarão um meio melhor quando o tivermos de fato escrito, mas, para sermos realistas, vou considerar apenas técnicas conhecidas hoje.) Pressionaríamos o metal sobre um material plástico e faríamos um molde; então, tiraríamos muito cuidadosamente o plástico; vaporizaríamos sílica sobre o plástico para obter um filme bem fino; depois, sombrearíamos a sílica, vaporizando ouro em ângulo contra ela, de forma

que todas as letras apareçam claramente; dissolveríamos o plástico do filme de sílica; e então olharíamos através do filme com um microscópio eletrônico!

Não há dúvida de que, se tudo fosse reduzido 25 mil vezes na forma de letras em alto-relevo no alfinete, hoje seria fácil para nós lermo-las. Além disso, não há dúvida de que acharíamos fácil fazer cópias da matriz; precisaríamos apenas de pensar a mesma placa de metal contra o plástico e teríamos outra cópia.

### **COMO ESCRREVEMOS PEQUENO?**

A próxima questão é: como escrevemos isso? Não temos nenhuma técnica padrão para fazê-lo agora. Mas deixem-me argumentar que não é tão difícil como pode parecer à primeira vista. Podemos inverter as lentes de um microscópio eletrônico, de forma que ele passe a reduzir tão bem quando amplie. Uma fonte de íons, enviada através das lentes de um microscópio invertido, poderia ser focalizada em um ponto muito pequeno. Poderíamos escrever com esse ponto, como escrevemos com um osciloscópio de raios catódicos de TV, caminhando por linhas, e com um ajuste que determinaria a quantidade de material que seria depositada enquanto corremos sobre as linhas.

Este método pode ser muito lento, por causa das limitações de espaço para carga. Haverá métodos mais rápidos. Poderíamos primeiro fazer, talvez através de algum processo fotográfico, um anteparo com orifícios em forma de letras. Então, dispararíamos um arco elétrico atrás dos buracos e faríamos passar íons metálicos através deles; depois, poderíamos novamente usar nosso sistema de lentes e fazer uma imagem pequena na forma de íons, que depositariam o metal no alfinete.

Uma maneira mais simples poderia ser esta (ainda que eu não esteja certo de que funcionaria): através de um microscópio óptico invertido, focalizamos luz sobre uma superfície fotoelétrica muito pequena. Então, os elétrons escapam da superfície, a partir do ponto que a luz está iluminando. Esses elétrons são focalizados pelas lentes de um microscópio eletrônico, para chocar-se diretamente contra a superfície do metal. Tal feixe escavará o metal se funcionar por tempo suficiente? Eu não sei. Se não funcionar para uma superfície metálica, pode ser possível encontrar uma superfície com a

qual se cubra o alfinete original e tal que, quando os elétrons a bombardeiem, ocorra alguma mudança que possamos reconhecer mais tarde.

Não há problema nesses dispositivos com relação à intensidade – ao contrário do que você está acostumado na ampliação, onde você tem que pegar uns poucos elétrons e espalhá-los sobre um anteparo cada vez maior; é justamente o contrário. A luz que obtemos de uma página é concentrada em uma área muito pequena, e por isso é muito intensa. Os poucos elétrons que vêm da superfície fotoelétrica são reduzidos a uma área bem diminuta, de forma que, novamente, são muito intensos. Não sei por que isso não foi feito antes!

Isso quanto à Enciclopédia Britânica na cabeça de um alfinete; mas vamos considerar todos os livros do mundo. A Biblioteca do Congresso (norte-americano) tem aproximadamente 9 milhões de volumes; a Biblioteca do Museu Britânico tem 5 milhões de volumes; há também 5 milhões de volumes na Biblioteca Nacional na França. Indubitavelmente, há duplicações; portanto, digamos que há cerca de 24 milhões de volumes de interesse no mundo.

O que aconteceria se eu imprimisse tudo isso na escala sobre a qual vimos discutindo? Quanto espaço vai ocupar? Ocuparia, claro, a área de cerca de um milhão de alfinetes, porque, em vez de haver apenas os 24 volumes da enciclopédia, haveria 24 milhões de volumes. Um milhão de cabeças de alfinete podem ser postas em um quadrado de mil alfinetes de lado, ou uma área de cerca de três jardas quadradas (cerca de 2,5 metros quadrados). Ou seja, a réplica de sílica com o recobrimento de plástico da espessura de um papel, com a qual fizemos as cópias, com toda essa informação, está em uma área de aproximadamente o tamanho de 35 páginas da enciclopédia. Isto é cerca de metade da quantidade de páginas que há nesta revista. Toda a informação que toda a humanidade já registrou em livros pode ser transferida para um panfleto em sua mão – e não escrita em código, mas uma simples reprodução das imagens e estampas originais e tudo o mais em uma escala pequena, sem perda de resolução.

O que diria nossa bibliotecária no Caltech, enquanto ela circula pelo acervo, se eu lhe disser que daqui a dez anos toda a informação que ela está lutando para não perder de vista – 120 mil volumes, empilhados do chão até o teto, gavetas cheias de fichas, depósitos cheios de livros antigos – poderá

ser armazenada em uma única ficha! Quando a Universidade do Brasil, por exemplo, descobrir que sua biblioteca foi incendiada, podemos enviar-lhes uma cópia de cada livro em nossa biblioteca tirando uma réplica da placa-matriz em umas poucas horas e enviando-a em um envelope não maior nem mais pesado do que qualquer outra carta comum por via aérea.

Agora, o título dessa palestra é “Há mais espaços lá embaixo” – não apenas “Há espaço lá embaixo”. O que eu demonstrei é que há espaço – que você pode diminuir o tamanho das coisas de uma maneira prática. Eu agora quero mostrar que há  *muito*  espaço. Não vou discutir agora como faremos isso, mas somente o que é possível em princípio – em outras palavras, o que é possível de acordo com as leis da física. Não estou inventando a anti-gravidade, que será possível um dia apenas se as leis não sejam as que nós pensamos. Estou dizendo a vocês o que poderíamos fazer se as leis fossem as que pensamos; ainda não o estamos fazendo simplesmente porque ainda não chegamos lá.

## **INFORMAÇÃO EM ESCALA PEQUENA**

Suponha que, ao invés de tentarmos reproduzir as imagens e toda a informação diretamente em sua forma presente, escrevamos apenas o conteúdo de informação em um código de pontos e traços ou algo do tipo, para representar as várias letras. Cada letra representa seis ou sete  *bits*  de informação; isto é, você precisa de apenas cerca de seis ou sete pontos ou traços para cada letra. Agora, em vez de escrever tudo na superfície da cabeça de um alfinete, como fizemos antes, vou usar também o interior do material. Representemos um ponto por uma pequena marca de metal, o próximo traço por uma marca adjacente feita de outro metal, e assim por diante. Suponha, para mantermos os pés no chão, que um  *bit*  de informação necessitará de um pequeno cubo de 5 por 5 por 5 átomos – ou seja, 125 átomos. Talvez precisemos de uns cento e poucos átomos para termos certeza de que a informação não foi perdida por difusão ou algum outro processo.

Eu estimei quantas letras existem na enciclopédia e supus que cada um dos meus 24 milhões de livros é tão grande quanto um de seus volumes, e calculei, então, quantos  *bits*  de informação existem ( $10^{15}$ ). Para cada  *bit* , eu deixo 100 átomos. E o resultado é que toda a informação que o homem

cuidadosamente acumulou em todos os livros do mundo pode ser escrita desta forma em um cubo de material com um ducentésimo de polegada de largura – que é a menor partícula de poeira que pode ser distinguida pelo olho humano. Assim, há muito espaço lá embaixo! Não me falem de microfimes!

Este fato – que quantidades enormes de informação podem ser colocadas em um espaço extraordinariamente pequeno – é, evidentemente, bem conhecido dos biólogos, e resolve o mistério que existia antes de compreendermos tudo isso claramente, ou seja, como podia ser que, na mais diminuta célula, toda a informação para a organização de uma criatura complexa como nós mesmos podia estar armazenada. Toda essa informação – se temos olhos castanhos, se raciocinamos, ou que no embrião o osso da mandíbula deveria se desenvolver inicialmente com um pequeno orifício do lado, de forma que mais tarde um nervo poderia crescer através dele – toda essa informação está contida em uma fração minúscula da célula, em forma de uma longa cadeia de moléculas de DNA, na qual aproximadamente 50 átomos são usados para cada *bit* de informação sobre a célula.

## **MELHORES MICROSCÓPIOS ELETRÔNICOS**

Se eu escrevi em código, usando 5 por 5 por 5 átomos para um *bit*, a pergunta é: como eu poderia ler isso hoje? O microscópio eletrônico não é bom o suficiente; com o maior cuidado e esforço, ele pode resolver apenas até cerca de 10 angstroms. Eu gostaria de tentar e transmitir a vocês, enquanto estou falando de todas essas coisas em escala pequena, a importância de melhorar o microscópio eletrônico cem vezes. Não é impossível; não está contra as leis da difração do elétron. O comprimento de onda do elétron em um tal microscópio é de apenas 1/20 de um angstrom. Assim, deveria ser possível ver os átomos individuais. Que vantagem haveria em distinguir os átomos individuais?

Temos amigos em outros campos – em biologia, por exemplo. Nós, físicos, freqüentemente os vemos e dizemos: “Vocês sabem a razão pela qual seus camaradas estão fazendo tão pouco progresso?” (Na verdade, não conheço nenhum campo onde estão progredindo mais rápido que na biologia hoje.) “Vocês deveriam usar mais matemática, como nós.” Eles poderiam responder – mas eles são educados, então eu vou responder por eles: “O

que vocês poderiam fazer por nós para progredirmos mais rapidamente é fazer um microscópio eletrônico 100 vezes melhor.”

Quais são os problemas mais centrais e fundamentais da biologia hoje? Há perguntas do tipo: qual é a seqüência de bases no DNA? O que acontece quando há uma mutação? Como a ordem das bases no DNA está relacionada com a ordem dos aminoácidos nas proteínas? Qual é a estrutura do RNA; é uma cadeia simples ou dupla, e como a ordem de suas bases está relacionada ao DNA? Qual é a organização dos microssomos? Como as proteínas são sintetizadas? Onde entra o RNA? Como atua? Onde entram as proteínas? Qual o papel dos aminoácidos? Na fotossíntese, onde entra a clorofila; como está disposta; onde estão os carotenóides envolvidos? Qual é o sistema de conversão da luz em energia química?

É fácil responder a muitas dessas questões biológicas fundamentais; você simplesmente olha para a coisa! Você verá a ordem de bases na cadeia; você verá a estrutura do microssomo. Infelizmente, os microscópios atuais vêm em uma escala apenas um pouco tosca demais. Faça-se um microscópio cem vezes mais poderoso e muitos problemas da biologia se tornariam muito mais fáceis. Eu exagero, claro, mas os biólogos estariam certamente muito agradecidos a vocês – e eles prefeririam isso do que a crítica de que deveriam usar mais matemática.

A teoria atual dos processos químicos é baseada na física teórica. Neste sentido, a física provê o fundamento da química. Mas a química também tem análise. Se você tem uma substância estranha e você quer saber o que é, você passa por um longo e complicado processo de análise química. Hoje você pode analisar quase qualquer coisa; então, estou um pouco atrasado com minha idéia. Mas, se os físicos quisessem, eles poderiam também “cutucar” o problema da análise química. Seria muito fácil fazer uma análise de qualquer substância química complexa; tudo o que teria que se fazer seria olhá-la e ver onde os átomos estão. O único problema é que o microscópio eletrônico é cem vezes pobre demais. (Depois, eu gostaria de colocar a questão: poderão os físicos fazer algo a respeito do terceiro problema da química – a síntese? Há algum meio físico para sintetizar uma substância química?)

A razão pela qual o microscópio eletrônico é tão fraco é que o número  $f$  das lentes é apenas de uma parte em 1000; você não tem uma abertura

grande o suficiente. E eu sei que há teoremas que provam que é impossível, com lentes de campo estacionário axialmente simétricas, produzir um número  $f$  maior do que isso; e, portanto, o poder de resolução hoje está no seu máximo teórico. Mas em qualquer teorema há suposições. Por que o campo deveria ser simétrico? Eu coloco isso como um desafio: Não há nenhuma maneira de fazer um microscópio eletrônico mais poderoso?

## **O MARAVILHOSO SISTEMA BIOLÓGICO**

O exemplo biológico de escrever informação em uma escala pequena inspirou-me a pensar em algo que pudesse ser possível. A biologia não é simplesmente escrever informação; é fazer algo com ela. Várias das células são muito pequenas, mas podem ser muito ativas; elas fabricam várias substâncias; deslocam-se; vibram; e fazem todos os tipos de coisas maravilhosas – tudo em uma escala muito pequena. Além disso, armazenam informação. Considerem a possibilidade de que nós também possamos construir algo muito pequeno que faça o que queiramos – que possamos fabricar um objeto que manobra naquele nível!

Pode haver inclusive aspectos econômicos com relação a essa atividade de fazer coisas muito pequenas. Deixem-me lembrá-los de alguns problemas dos computadores. Nessas máquinas, temos que armazenar uma enorme quantidade de informação. O tipo de escrita que eu mencionava antes, na qual eu tinha tudo como uma configuração de metal, é permanente. Muito mais interessante para um computador é uma forma de escrever, apagar e escrever outra coisa. (Isso, em geral porque não queremos desperdiçar o material sobre o qual já escrevemos. Mesmo que pudéssemos escrevê-lo em um espaço muito pequeno, não faria nenhuma diferença; poderia simplesmente ser jogado fora depois que lido. Não custa muito para o material).

## **MINIATURIZANDO O COMPUTADOR**

Eu não sei como fazer isso em uma escala pequena de uma maneira prática, mas eu sei que os computadores são bem grandes; eles preenchem cômodos inteiros. Por que não poderíamos fazê-los muito *pequenos*, fazê-los de pequenos fios, pequenos elementos – e, por pequeno, eu quero dizer

pequeno. Por exemplo, os fios deveriam ter 10 ou 100 átomos de diâmetro, e os circuitos deveriam ter uns poucos milhares de angstroms de largura. Todo mundo que já tenha analisado a teoria lógica dos computadores já chegou à conclusão de que as possibilidades dos computadores são muito interessantes – se eles puderem tornar-se mais complexos em várias ordens de grandeza. Se eles tivessem milhões de vezes mais elementos, poderiam fazer julgamentos. Teriam tempo para calcular qual é o melhor caminho para fazer um cálculo que estejam prestes a executar. Selecionariam o método de análise que, de sua experiência, seja melhor do que o que lhes fornecemos. E, de muitas outras formas, eles teriam muitos aspectos qualitativos novos. Se eu olho para a sua face, eu reconheço imediatamente o que eu havia visto antes. (Na verdade, meus amigos diriam que eu escolhi um exemplo ruim como ilustração. Pelo menos, eu reconheço que é um homem e não uma maçã.) Mas não há nenhuma máquina que, com essa velocidade, possa pegar a imagem de uma face e dizer nem mesmo que é um homem; e muito menos que é o mesmo homem que você mostrou antes – a menos que seja exatamente a mesma imagem. Se a face é alterada; se estou mais perto da face; se estou mais longe; se muda a luz – eu reconheço-a. Agora, este pequeno computador que eu carrego em minha cabeça é facilmente capaz de fazer isso. Já os computadores que construímos não são. O número de elementos nesta minha caixa óssea é enormemente maior do que o número de elementos em nossos computadores “maravilhosos”. Mas nossos computadores mecânicos são muito grandes; os elementos nesta caixa são microscópicos. Eu quero fazer alguns *submicroscópicos*.

Se quiséssemos fazer um computador que tivesse todas essas maravilhosas habilidades qualitativas extras, teríamos que fazê-lo, talvez, do tamanho do Pentágono. Isso tem várias desvantagens. Primeiro, precisa de muito material; pode não haver germânio suficiente no mundo para todos os transistores que teriam que ser colocados nessa coisa enorme. Há também o problema da geração de calor e consumo de potência; seria necessário TVA para fazer o computador funcionar. Mais uma dificuldade ainda mais prática é que o computador seria limitado a uma certa velocidade. Por causa de seu grande tamanho, é requerido um tempo finito para levar a informação de um lugar a outro. A informação não pode viajar mais rápido do que a velocidade da luz – assim, em última análise, à medida que nossos computadores tornam-se mais e mais rápidos e mais e mais elaborados, teremos que fazê-los menores e menores.

Mas há muito espaço para fazê-los menores. Não há nada que eu possa ver nas leis físicas que diga que os elementos dos computadores não possam ser feitos enormemente menores que são atualmente. Na verdade, pode haver certas vantagens.

## **MINIATURIZAÇÃO E EVAPORAÇÃO**

Como faríamos um equipamento assim? Que tipo de processo de fabricação usaríamos? Uma possibilidade que poderíamos considerar, desde que conversamos sobre escrever e colocar átomos em uma certa disposição, seria vaporizar o material, e então vaporizar o isolante ao seu lado. Então, para a próxima camada, vaporizar outro fio em outra posição, outro isolante, e assim por diante. Assim, você simplesmente vaporiza até que você tenha um bloco que contenha os elementos – bobinas e condensadores, transístores etc – com dimensões extraordinariamente minúsculas.

Mas eu gostaria de discutir, só para nos divertirmos, que existem ainda outras possibilidades. Por que não podemos fabricar esses pequenos computadores da mesma forma que fabricamos os grandes? Por que não podemos furar buracos, cortar, soldar ou estampar coisas, modelar diferentes formas, tudo em um nível infinitesimal? Quais as limitações em relação a quão pequeno algo tem de ser antes que você não consiga mais modelá-la? Quantas vezes, quando você está trabalhando em algo tão frustrantemente minúsculo como o relógio de pulso de sua esposa, você disse a si mesmo: “Ah! se eu pudesse treinar uma formiga para fazer isso!” O que eu gostaria de sugerir é a possibilidade de treinar uma formiga para treinar um ácaro para fazer isso. Quais as possibilidades para máquinas diminutas, porém móveis? Elas podem ou não ser úteis, mas certamente seria muito divertido fazê-las.

Considerem qualquer máquina – por exemplo, um automóvel – e perguntem-se sobre os problemas de se replicar uma tal máquina em escala infinitesimal. Suponham, no *design* particular de um automóvel, que nós precisemos de uma certa precisão em relação aos componentes; precisamos de uma exatidão de, digamos, 4/10 mil de polegada. Se as coisas forem mais imprecisas do que isso na forma de um cilindro ou outras formas, não vai funcionar muito bem. Se eu faço muito pequeno, eu tenho de me preocupar

com o tamanho dos átomos; não posso fazer um círculo de “bolas”, por assim dizer, se o círculo é muito pequeno. Assim, se eu cometer um erro correspondente a 4/10 mil de polegada, que corresponderá a um erro de 10 átomos, resulta que eu posso reduzir as dimensões de um automóvel em aproximadamente 4 mil vezes – de forma que ele fica com um milímetro de comprimento. Obviamente, se você redesenha o carro de modo que ele funcione dentro de uma faixa de tolerância muito maior, o que não é de todo impossível, você poderia obter um equipamento muito menor.

É interessante considerar quais seriam os problemas em máquinas tão pequenas. Primeiramente, em componentes tensionadas no mesmo grau, as forças crescem como a área que você está reduzindo, de forma que coisas como peso ou inércia são relativamente sem importância. A resistência do material, em outras palavras, é proporcionalmente muito maior. As tensões e a expansão do volante do motor sob as forças centrífugas, por exemplo, estariam na mesma proporção apenas se a velocidade de rotação aumentasse na mesma proporção em que diminuimos o tamanho. Por outro lado, os metais que usamos têm uma estrutura granular, e isso causaria muitos aborrecimentos em uma escala pequena, já que o material não é homogêneo. Plásticos, vidros e coisas de natureza amorfa semelhante são muito mais homogêneos e, assim, teríamos de fazer nossas máquinas a partir de tais materiais.

Há problemas associados com as partes elétricas do sistema – com os fios de cobre e os componentes magnéticos. As propriedades magnéticas, em uma escala muito pequena, não são as mesmas que em uma escala maior; há o problema do “domínio” envolvido. Um grande magneto feito de milhões de domínios pode ser reproduzido em escala pequena com até um único domínio, apenas. O equipamento elétrico não será só redimensionado; terá de ser redesenhado. Mas eu não vejo razão por que ele não possa ser redesenhado de forma a poder funcionar novamente.

## **PROBLEMAS DE LUBRIFICAÇÃO**

A lubrificação envolve algumas questões interessantes. A viscosidade efetiva do óleo seria cada vez mais alta à medida que diminuimos a escala (e se aumentamos a velocidade tanto quanto possamos). Se não aumentamos tanto a velocidade, e substituímos o óleo por querosene ou outro fluido, o problema

não parece tão ruim. Mas, na verdade, nós talvez não tenhamos de lubrificá-lo! Temos muita força extra. Deixemos os mancais secos; eles não se aquecerão, porque o calor escapa de dispositivos tão pequenos muito, muito rapidamente.

Esta perda rápida de calor impediria que a gasolina explodisse; assim, seria impossível utilizarmos um motor de combustão interna. Outras reações químicas, que liberem energia a frio, poderiam ser usadas. Provavelmente, uma fonte externa de eletricidade seria mais conveniente para máquinas tão pequenas.

Qual seria a utilidade de tais máquinas? Quem sabe? Naturalmente, um pequeno automóvel seria útil apenas para os ácaros passearem, e eu suponho que nossas inclinações de bom samaritano não cheguem a tanto. Entretanto, nós enfatizamos a possibilidade da fabricação de pequenos elementos para computadores em fábricas totalmente automatizadas, contendo tornos e outras ferramentas em escala muito pequena. O pequeno torno não precisaria ser exatamente como o nosso grande torno. Deixo para sua imaginação os aperfeiçoamentos do *design* que possam ser mais vantajosos para as propriedades de objetos em pequena escala, e de forma que fique mais fácil dar conta da necessidade de automatização.

Um amigo meu (Albert R. Hibbs) sugere uma possibilidade muito interessante para máquinas relativamente pequenas. Ele diz que, embora seja uma idéia bastante selvagem, seria interessante se, numa cirurgia, você pudesse engolir o cirurgião. Você coloca o cirurgião mecânico dentro da veia, e ele vai até o coração e “dá uma olhada” em torno. (Naturalmente, a informação tem que ser transmitida para fora.) Ele descobre qual é a válvula defeituosa, saca uma pequena faca e corta-a fora. Outras máquinas pequenas poderiam ser permanentemente incorporadas ao organismo para assistir algum órgão deficiente.

Agora vem a questão interessante: como fazemos um mecanismo tão pequeno? Deixo isso para vocês. Entretanto, deixem-me sugerir uma possibilidade estranha. Você sabe, nas usinas atômicas eles têm materiais e máquinas que não podem ser manuseadas diretamente, porque tornaram-se radioativos. Para desparafusar porcas, colocar parafusos, etc., eles têm um conjunto de mãos mestres e servas, de forma que, operando um conjunto de

alavancas aqui, você controla as “mãos” lá, pode virá-las para lá e para cá, e assim você pode manusear as coisas confortavelmente.

Grande parte desses dispositivos são, na verdade, feitos de modo bastante simples, no sentido de que há um cabo específico, como um cordão de marionete, que vai diretamente dos controles até as “mãos”. Mas, é claro, eles também fizeram isso usando servomotores, de forma que a conexão entre uma coisa e outra fosse mais elétrica que mecânica. Quando você manuseia as alavancas, elas acionam um servomotor, o que altera as correntes elétricas nos fios, que reposicionam um motor na outra extremidade.

Agora, eu quero fazer reproduzir o mesmo dispositivo – um sistema servo-mestre que opera eletricamente. Mas eu quero que os servos sejam feitos de forma particularmente cuidadosa por operadores modernos em escala grande, de forma que eles tenham um quarto do tamanho das “mãos” que você normalmente manobra. Assim, você tem um esquema com o qual você pode produzir coisas numa escala reduzida em quatro vezes – os pequenos servomotores com pequenas mãos operam com pequenas porcas e parafusos; fazem pequenos buracos; eles são quatro vezes menores. Ahá! Assim, eu produzo um torno quatro vezes menor; ferramentas quatro vezes menores; e produzo, em escala quatro vezes menor, ainda outro conjunto de mãos, por sua vez mais quatro vezes menores. Isso dá um dezesseis avos do tamanho, do meu ponto de vista. Depois de acabar isso, eu passo diretamente do meu sistema em escala grande, talvez usando transformadores, para os servomotores 16 vezes menores. Logo, eu posso manipular as mãos 16 vezes menores.

Bem, a partir disso, vocês têm os princípios. É um programa um tanto difícil, mas é uma possibilidade. Você poderia dizer que pode-se ir mais longe em um único estágio do que por etapas. Naturalmente, tudo isso deve ser desenhado de forma muito cuidadosa, e não é necessário fazê-lo apenas como mãos. Se você pensar sobre isso com cuidado, você provavelmente chegaria em um sistema muito melhor.

Se você trabalhar com um pantógrafo, mesmo hoje, você pode conseguir um fator muito melhor do que quatro em um único passo. Mas você não pode trabalhar diretamente com um pantógrafo que faz um pantógrafo menor, que então faz um pantógrafo ainda menor – por causa da imprecisão dos

buracos e irregularidades da construção. A extremidade do pantógrafo oscila de forma relativamente mais irregular do que o movimento de suas mãos. Diminuindo essa escala, eu veria a extremidade do pantógrafo na extremidade do pantógrafo na extremidade do pantógrafo sacudindo tanto que não estaria fazendo nada de aproveitável.

Em cada etapa, é necessário aumentar a precisão do equipamento. Se, por exemplo, tendo feito um pequeno torno com um pantógrafo, constatarmos que seu parafuso está irregular – mais irregular do que o na escala grande – poderíamos pegar o parafuso e uma porca e lapidá-los um contra o outro, virando para a frente e para trás da maneira usual, até que o parafuso esteja, em sua escala, tão preciso quanto nossos parafusos originais na nossa escala.

Podemos fazer superfícies planas esfregando superfícies não-planas três a três, e as superfícies se tornariam mais planas que a original. Assim, não é impossível melhorar a precisão em escala pequena usando as operações adequadas. Desta forma, quando construímos esses dispositivos, é necessário, em cada passo, aumentar a precisão do equipamento, trabalhando por algum tempo em escala pequena, produzindo parafusos precisos, blocos de Johansen e todos os demais materiais que usamos em trabalhos de precisão no nível grande. Temos que parar em cada nível e fabricar todas as peças para chegar ao próximo nível – um programa muito longo e difícil. Talvez você possa imaginar uma maneira melhor para chegar mais depressa à escala pequena.

Ainda assim, depois de tudo isso, você apenas obteve um pequeno torno-bebê quatro mil vezes menor do que o normal. Mas estávamos pensando em fazer um computador enorme, que construiríamos fazendo buracos com esse torno, para fazer pequenas arruelas para o computador. Quantas arruelas você poderia fabricar com esse único torno?

## **MIL PEQUENAS MÃOS**

Quando eu faço meu primeiro conjunto de “mãos” servas na escala quatro vezes menor, vou fazer dez conjuntos. Faço dez conjuntos de “mãos” e eu as conecto às minhas alavancas originais, de forma que cada uma delas faça exatamente a mesma coisa ao mesmo tempo e em paralelo. Agora, quando estou fazendo meus novos dispositivos novamente quatro vezes menores,

deixo cada um deles produzir dez cópias, e assim terei cem “mãos” em uma escala de 1/16. Onde colocarei o milhão de tornos que terei? Por que, não tem nada de mais; o volume é muito menor do que o de um único torno em escala normal. Por exemplo, se eu fiz um bilhão de pequenos tornos, cada um deles em uma escala de 1/4.000 do torno normal, haverá considerável quantidade de materiais e espaço disponíveis, porque, no bilhão de pequenos tornos, há menos do que 2% do material usado no grande.

Não custa nada em termos de materiais, vocês podem ver. Assim, quero construir um bilhão de pequenas fábricas, modelos umas das outras, que estão simultaneamente produzindo, fazendo buracos, juntando componentes, etc.

À medida que diminuímos o tamanho, há um número de problemas interessantes que vão surgindo. As coisas não reduzem a escala simplesmente de forma proporcional. Há o problema de que os materiais unem-se pelas atrações intermoleculares (van der Waals). Seria algo como isso: depois que você fabrica um componente e desparafusa uma porca, ele não cairá, porque a gravidade não é apreciável; seria mesmo mais difícil tirá-lo do parafuso. Seria como aqueles velhos filmes com um homem tentando se livrar de um copo d'água com mãos cheias de melado. Haverá vários problemas dessa natureza com os quais deveremos estar prontos para lidar.

## **REARRANJANDO OS ÁTOMOS**

Mas não tenho medo de considerar a questão final em relação a se, em última análise – no futuro longínquo –, poderemos arranjar os átomos da maneira que queremos; os próprios átomos, no último nível de miniaturização! O que aconteceria se pudéssemos dispor os átomos um por um da forma como desejamos (dentro do razoável, é claro; você não pode dispô-los de forma que, por exemplo, sejam quimicamente instáveis).

Até agora, nós nos contentamos em escavar o chão para encontrar minerais. Nós os aquecemos e fazemos coisas com eles em escala grande, e esperamos obter uma substância pura a partir de tanta impureza, e assim por diante. Mas temos sempre de aceitar alguns arranjos atômicos que a natureza nos dá. Não temos nada como, digamos, um arranjo do tipo “tabuleiro de

damas”, com os átomos de impureza dispostos exatamente 1.000 angstroms uns dos outros, ou em algum outro padrão específico.

O que poderíamos fazer com estruturas em camadas se tivéssemos exatamente as camadas corretas? Quais seriam as propriedades dos materiais se pudéssemos realmente arranjar os átomos como bem entendêssemos? Elas seriam muito interessantes de se investigar teoricamente. Não posso ver exatamente o que aconteceria, mas dificilmente posso duvidar que, quando tivermos algum controle sobre a disposição das coisas na escala pequena, teremos um leque enormemente maior de propriedades possíveis para as substâncias, e de diferentes coisas que poderíamos fazer.

Considere, por exemplo, um pedaço de material no qual fazemos pequenas bobinas e condensadores (ou seus análogos do estado sólido) de 1.000 ou 10.000 angstroms em um circuito, um exatamente ao lado do outro, sobre uma área extensa, com pequenas antenas espetadas na outra extremidade – toda uma série de circuitos. É possível, por exemplo, emitir luz de todo um conjunto de antenas, como emitimos ondas de rádio de um conjunto organizado de antenas para transmitir programas para a Europa? O mesmo aconteceria para transmitir luz de intensidade muito alta em uma direção definida. (Talvez tal transmissão não seja muito útil técnica ou economicamente).

Tenho pensado sobre alguns dos problemas relativos à construção de circuitos elétricos em escala pequena, e o problema da resistência é sério. Se você faz um circuito correspondente em escala pequena, sua frequência natural aumenta, uma vez que o comprimento de onda diminui com a escala; mas a profundidade de penetração do campo eletromagnético decresce só com a raiz quadrada da escala e, assim, os problemas de resistência apresentam dificuldade crescente. Possivelmente, podemos dar conta da resistência usando a supercondutividade, se a frequência não é demasiadamente alta, ou por outros artifícios.

## **ÁTOMOS NO MUNDO PEQUENO**

Quando vamos ao mundo muito, muito pequeno – digamos, circuitos de sete átomos – acontecem uma série de coisas novas que significam

oportunidades completamente novas para *design*. Átomos na escala pequena não se comportam como nada na escala grande, pois eles seguem as leis da mecânica quântica. Assim, à medida em que descemos de escala e brincamos com os átomos, estaremos trabalhando com leis diferentes, e poderemos esperar fazer coisas diferentes. Podemos produzir de formas diferentes. Podemos usar não apenas circuitos, mas algum sistema envolvendo os níveis quantizados de energia, ou as interações entre spins quantizados, etc.

Outra coisa que constataremos é que, se formos longe o bastante, todos os nossos dispositivos poderão ser produzidos em massa, de forma que serão réplicas absolutamente perfeitas uns dos outros. Não podemos fazer duas máquinas grandes de forma a que as dimensões sejam exatamente as mesmas. Mas, se a sua máquina tem apenas 100 átomos de altura, você tem de torná-la precisa em apenas meio por cento para ter certeza de que a outra máquina tenha exatamente o mesmo tamanho – ou seja, 100 átomos de altura!

No nível atômico, temos novos tipos de forças e novos tipos de possibilidades, novos tipos de efeitos. Os problemas de fabricação e reprodução de materiais serão bem diferentes. Minha inspiração, como eu disse, vem de fenômenos biológicos, nos quais as forças químicas são usadas de uma forma repetitiva para produzir todo tipo de efeitos estranhos (um dos quais é este autor).

Os princípios da física, tanto quanto podemos perceber, não implicam na impossibilidade de manipular coisas átomo por átomo. Não se trata de uma tentativa de violar quaisquer leis; é algo que, em princípio, pode ser feito, mas, na prática, ainda não o foi, porque nós somos grandes demais.

Em última análise, podemos fazer sínteses químicas. Um químico vem e nos diz: “Olhe, eu quero uma molécula que tenha os átomos dispostos assim e assim; faça-me essa molécula.” O químico faz uma coisa misteriosa quando ele quer obter uma molécula. Ele vê que ela tem tal forma; então ele mistura isso e aquilo, chacoalha e brinca um pouco com aquilo. E, no final de um processo difícil, em geral ele obtém sucesso em sintetizar o que quer. Na altura em que eu conseguir meus dispositivos funcionando, de modo a podermos fazer isso com a física, ele terá descoberto como sintetizar absolutamente qualquer coisa, de forma que isso será completamente inútil.

Mas é interessante que seria possível, em princípio (eu acho), para um físico, sintetizar qualquer substância química que o químico escreva. Dê as ordens e o físico sintetiza. Como? Coloque os átomos ali onde o químico diz; assim, você faz a substância. Os problemas de química e biologia poderão ser bastante reduzidos se nossa habilidade de ver o que estamos fazendo, e de fazer as coisas em nível atômico, for finalmente desenvolvida – um avanço que, penso, não pode ser evitado.

Agora, você pode dizer: “Quem deveria fazer isso e por que deveriam fazê-lo?” Bem, eu mostrei algumas das aplicações econômicas, mas eu sei que a razão pela qual você o faria seria por pura diversão. Mas divirta-se! Vamos fazer uma competição entre laboratórios. Um laboratório faz um pequeno motor, que manda para um outro laboratório, que manda-o de volta com uma coisa que se encaixa no eixo do primeiro motor.

### **COMPETIÇÃO ESCOLAR**

Apenas por diversão, e para provocar interesse por esse campo nas crianças, eu proporia que alguém que tenha algum contato com escolas de ensino médio pensasse em fazer algum tipo de competição escolar. Afinal, nós ainda nem começamos nesse campo, e até mesmo as crianças podem escrever menor do que jamais foi escrito antes. Elas poderiam fazer concursos nas escolas. A escola de Los Angeles poderia enviar um alfinete para uma escola de Veneza, onde estaria escrito: “Como vão as coisas?” Eles recebem de volta o alfinete e, no pingo do “i” está escrito: “Não muito quente”.

Talvez isso não o motive a fazer isso, e apenas a economia poderia fazê-lo. Então, eu gostaria de fazer alguma coisa; mas eu não posso fazê-la agora, pois ainda não preparei o terreno. Pretendo então oferecer um prêmio de US\$ 1 mil para a primeira pessoa que possa pegar a informação na página de um livro e colocá-la em uma área 25 mil vezes menor, em escala linear, de tal forma que ela possa ser lida com um microscópio eletrônico.

E eu gostaria de oferecer um outro prêmio – se eu puder encontrar um jeito de enunciar isso de forma a não me meter em uma confusão de discussões

sobre definições – de outros US\$ 1 mil para a primeira pessoa que fizer um motor elétrico funcional – um motor elétrico rotativo que possa ser controlado de fora e, sem contar os cabos de entrada, tenha 1/64 de polegada cúbica.

Eu não acho que esses prêmios tenham que esperar muito para os candidatos aparecerem.

*Nota do editor da Journal of Microelectromechanical Systems: O prêmio acima foi apresentado pelo Dr. Feynman em 28 de novembro de 1960 para William McLellan, que construiu um motor elétrico com o tamanho de um grão de poeira. O outro prêmio ainda está em aberto.*

## **O Autor**

RICHARD FEYNMAN (1918-1988). Prêmio Nobel de Física em 1965, Feynman tornou-se um ícone para a física no final do século XX – o primeiro norte-americano a alcançar essa posição. Nascido em Nova York, as contribuições principais de Feynman à física têm a ver com a teoria das interações eletromagnéticas (*Luz*) e a formulação de um princípio variacional da mecânica quântica (*Açã*o).



### **1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO PLANEJAMENTO NO BRASIL**

O Brasil acumulou, sobretudo entre os anos 40 e 70 do século passado, uma experiência razoável em matéria de planejamento governamental. Desde os primeiros exercícios, no imediato pós-Segunda Guerra, por meio, entre outros, do Plano Salte (saúde, alimentação, transportes e energia), e, mais adiante, do Plano de Metas de Juscelino Kubitschek, até os mais recentes planos plurianuais, determinados constitucionalmente, o Estado brasileiro empreendeu, ao longo destas últimas cinco ou seis décadas, diversas tentativas de planejamento do futuro e de organização do processo de desenvolvimento econômico.

Estruturadas mais freqüentemente em torno de grandes objetivos econômicos e, em alguns casos, formuladas para atender necessidades de estabilização econômica ou de desenvolvimento regional (como a Sudene), essas experiências de planejamento governamental – das quais as mais conhecidas e ambiciosas foram, no auge do regime militar, os dois planos nacionais de desenvolvimento – conseguiram atingir algumas das metas propostas, mas tiveram pouco impacto na situação social da nação. O país tornou-se maduro do ponto de vista industrial e avançou no plano tecnológico ao longo desses planos, mas, não obstante progressos setoriais, a sociedade permaneceu inaceitavelmente desigual, ou continuou a padecer de diversas iniquidades, em especial nos terrenos da educação, da saúde e das demais condições de vida para os setores mais desfavorecidos da população.

Como indicou um dos principais formuladores e atores da experiência brasileira nessa área, Roberto Campos, o conceito de planejamento sempre padeceu de uma grande imprecisão terminológica, tendo sido utilizado tanto para o microplanejamento setorial como para o planejamento macroeconômico mais integrado. Num esforço de precisão semântica, ele propunha distinguir “entre simples declarações de política, programas de desenvolvimento e planos de desenvolvimento. No primeiro caso, ter-se-ia uma simples enunciação de uma estratégia e metas de desenvolvimento. Um programa de desenvolvimento compreenderia, além da definição de metas, a atribuição de prioridades setoriais e regionais e a formulação de incentivos e desincentivos relacionados com essas prioridades. Um plano de desenvolvimento avançaria ainda mais pela especificação de um cronograma de implementação, pela designação do agente econômico (público ou privado) e pela alocação de recursos financeiros e materiais. A palavra ‘projeto’ seria reservada para o detalhamento operacional de planos ou programas.”<sup>1</sup>

Embora hoje plenamente integrada ao processo de ação governamental, sobretudo a partir da criação, em 1964, do Ministério de Planejamento e Coordenação Geral – que unificou encargos e atribuições que estavam dispersos em núcleos de assessoria governamental, comissões, conselhos e coordenações –, a idéia de planejamento emerge de modo global e integrado a partir dessa época, mas já tinha experimentado, antes, alguns esforços políticos de âmbito variado e de alcance desigual. Em trabalho ainda inédito, o professor de economia, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, José Truda Palazzo traçou uma cronologia desse itinerário até o regime militar, dividindo o período pós-1930 em quatro segmentos: o primeiro, iria de 1934 a 1945, abrangendo o Estado Novo e tendo como órgão central o Departamento Administrativo do Serviço Público (Dasp), ademais de algumas comissões criadas, sobretudo, durante a Segunda Guerra Mundial; o segundo, iria de 1946 a 1956, e representaria, de certa forma, uma transição entre tentativas de implantação de um órgão central de planejamento e uma intensa fase de reorganização administrativa; o terceiro, situou-se entre 1956 e 1963, “caracterizando-se pela criação de órgãos centrais estabelecidos em função de planos, mais do que de

---

<sup>1</sup> Cf. Roberto Campos, “A experiência brasileira de planejamento”, in Mario Henrique Simonsen e Roberto de Oliveira Campos, *A Nova Economia Brasileira*, Rio de Janeiro: Livraria José Olympio Editora, 1974, p. 47.

planejamento”; e, finalmente, o quarto período, que tem início em 1964, com os governos militares, representando um esforço inédito de planejamento global, com o Plano de Ação Econômica do Governo (Paeg), depois continuado por meio dos PND I e II.<sup>2</sup>

Depois de vários planos tentativos de estabilização econômica, ao longo dos anos 80 e 90, pode-se, a título de complementação cronológica, estabelecer um quinto período na história do planejamento governamental no Brasil, agora marcado pela determinação da Constituição de 1988, no sentido de serem implementados planos plurianuais como forma de balizar a alocação de gastos públicos no decorrer de um prazo maior – neste caso, ao longo de quatro anos, entre o segundo ano de uma administração e o início da seguinte – do que o permitido pela execução orçamentária em bases anuais.

Pode-se, igualmente, para dar uma idéia das dificuldades e dos problemas técnicos com que se debatiam os primeiros planejadores governamentais do Brasil, nas décadas imediatamente subseqüentes à Segunda Guerra Mundial, transcrever os fatores que Roberto Campos listava, no início dos anos 70, como indicativos daqueles obstáculos institucionais e estruturais: “(1) deficiências estatísticas no tocante a dados fundamentais como o emprego de mão-de-obra, o investimento do setor privado e as relações inter-industriais; (2) a escassez de planejadores experimentados; (3) o importante peso do setor agrícola, no qual o planejamento é difícil pela proliferação de pequenas unidades decisórias, para não falar em fatores climáticos; (4) a importância do setor externo (exportações e ingresso de capitais), sujeito a agudas flutuações, particularmente no caso do comércio exterior, dependente até pouco tempo de uma pequena faixa de produtos de exportação sujeitos a grande instabilidade de preços.”<sup>3</sup>

Uma comparação perfunctória com nossa própria época revelaria as seguintes características em relação àquelas dificuldades enunciadas por Roberto Campos: 1) abundância de estatísticas para os dados fundamentais

---

<sup>2</sup> Utilizei-me, nesta seção e nas seguintes (até os anos 1970), do trabalho inédito do professor José Truda Palazzo, “O Planejamento do Desenvolvimento Econômico – o caso brasileiro”, Porto Alegre: Faculdade de Ciências Econômicas e Contábeis da UFRGS, 1977, manuscrito datilografado.

<sup>3</sup> Cf. Roberto Campos, “A experiência brasileira de planejamento”, op. cit., p. 50-51.

da economia e da área social, com certo refinamento metodológico para pesquisas setoriais, diversificação excessiva ou indesejável para séries relativas ao custo de vida e ao desemprego, esforços ainda inacabados para a mensuração adequada de grandes agregados macroeconômicos; 2) provimento relativamente satisfatório de planejadores governamentais, a despeito da deterioração da tecnocracia de Estado, comparativamente ao que tinha sido alcançado até o início dos anos 80; 3) importante desenvolvimento material nos três setores básicos da economia, seguido de deterioração parcial da infraestrutura física e da crise fiscal do Estado, convertido em “despoupador” líquido e regulador excessivo da atividade empresarial privada; 4) caráter ainda estratégico do setor externo (acesso a mercados, captação de investimentos diretos e financiamento compensatório), mas diversificação ainda insuficiente da pauta exportadora, com concentração em produtos de baixo dinamismo exportador e pequena elasticidade-renda, a despeito de uma faixa de produtos de alta tecnologia (aviões).

Entretanto, a diferença mais notória entre as condições atuais de elaboração e execução de qualquer exercício de planejamento econômico governamental em relação à época coberta pelo ministro do planejamento da era militar parece ser a dos meios operacionais (e legais) à disposição do Estado em cada época, uma ampla flexibilidade e liberdade de ação naqueles idos, notadamente através dos decretos-lei, e a necessária negociação com o poder legislativo, assim como com a própria sociedade civil, característica indissociável da democracia contemporânea.

## **2. PRIMEIRAS EXPERIÊNCIAS DE PLANEJAMENTO GOVERNAMENTAL NO BRASIL**

No contexto do conflito militar da Segunda Guerra Mundial, o Estado brasileiro organizou-se para administrar recursos e suprir contingenciamentos, notadamente mediante o Plano Quinquenal de Obras e Reparcelhamento da Defesa Nacional (1942) e do Plano de Obras (1943), ou através de órgãos como o Conselho Federal de Comércio Exterior, criado ainda nos anos 30. O regime Vargas recebeu apoio do governo americano para efetuar um levantamento das disponibilidades existentes em recursos naquela conjuntura militar (Missão Cooke, 1942-1943). Os esforços para se lograr obter ajuda financeira americana ao desenvolvimento redundaram na criação da Companhia Siderúrgica Nacional e, no plano institucional, no estabelecimento de uma Comissão Mista que, de

1951 a 1953, formulou, com base em novo esforço de cooperação técnica americana (missão Abbink), um diagnóstico sobre os chamados “pontos de estrangulamento” da economia brasileira – sobretudo de infra-estrutura –, com algumas sugestões e recomendações para seu encaminhamento, entre elas uma relativa ao estabelecimento de um banco central.

Antes disso, entretanto, foi formulado, durante o governo Eurico Gaspar Dutra (1946-1950), o Plano Salte, mais orientado, com base em trabalhos técnicos do Dasp, a resolver essas questões setoriais, mediante adequado ordenamento orçamentário, do que voltado para uma concepção abrangente de planejamento estratégico de governo. Como salientado pelo Professor Palazzo, “o plano Salte era modesto em suas pretensões, embora tivesse objetivos de grande alcance para a época”.<sup>4</sup> Das fontes de recursos previstas, 60% viriam do orçamento da União e 40% do financiamento externo, o que explica, talvez, a insistência da diplomacia brasileira nessa época com o estabelecimento de um “plano Marshall” para a América Latina, evidenciada, por exemplo, por ocasião da conferência americana que constituiu a Organização dos Estados Americanos, em março de 1948 em Bogotá.<sup>5</sup>

De fato, no caso do Salte, não se tratava de um plano econômico completo, mas de uma organização dos gastos públicos, que tampouco pôde ser implementado integralmente, em função de dificuldades financeiras, não apenas de natureza orçamentária mas, igualmente, devido à relativa carência de financiamento externo. Como indicou um estudioso, “A natureza do Plano Salte não era realmente global, pois não dispunha de metas para o setor privado ou de programas que o influenciassem. Tratava-se, basicamente, de um programa de gastos públicos que cobria um período de cinco anos. Ele conseguiu, entretanto, chamar a atenção para outros setores da economia defasados em relação à indústria e que poderiam, conseqüentemente, impedir um futuro desenvolvimento.”<sup>6</sup>

---

<sup>4</sup> Cf. José T. Palazzo, “O Planejamento do Desenvolvimento Econômico – o caso brasileiro”, op. cit., p. 4.

<sup>5</sup> Cf. Paulo Roberto de Almeida, “A Diplomacia do Liberalismo Econômico: as relações econômicas internacionais do Brasil durante a Presidência Dutra”, in José Augusto Guilhon de Albuquerque (org.), *Sessenta Anos de Política Externa Brasileira (1930-1990)*, vol. I: *Crescimento, modernização e política externa*, São Paulo: Cultura Editores associados, 1996, p. 173-210.

<sup>6</sup> Cf. Werner Baer, *A Economia Brasileira*, São Paulo: Nobel, 1996, p. 75.

Na mesma época, a busca de uma solução ao problema da escassez de petróleo, vinculado ao da dependência externa, acabaram resultando num maior envolvimento do Estado no domínio econômico, ao ser determinado, mais adiante, o estabelecimento do monopólio da União nessa área e a criação de uma empresa estatal, a Petrobras (1953). Ao mesmo tempo ocorria a fundação do órgão fundamental para a consecução dos esquemas de financiamento dos novos projetos, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico (BNDE), aliás uma das recomendações da Comissão Mista Brasil-Estados Unidos. Deve-se ressaltar, contudo, que a instabilidade política brasileira, típica da República de 1946, constituiu-se em notável entrave, não apenas para iniciativas de planejamento econômico, como também para o próprio processo de administração governamental corrente.<sup>7</sup>

O debate econômico em curso, polarizado entre os adeptos de uma administração tradicional, ou ortodoxa, da economia – entre os quais se destacavam seguidores do economista Eugenio Gudín –, e os partidários do planejamento estatal, ainda que indicativo – corrente em grande medida identificada com os chamados “desenvolvimentistas” –, contribuiu para certa descontinuidade da ação governativa, quando não para a superposição de medidas contraditórias em matéria de políticas macroeconômicas e setoriais. Cabe igualmente colocar o processo de desenvolvimento brasileiro na segunda metade do século XX, com suas tendências de expansão (como durante a fase do “milagre”, entre 1968 e 1974) e de declínio relativo (nas duas décadas seguintes), no contexto do grande crescimento do comércio mundial e da intensificação dos fluxos financeiros internacionais, tanto sob a forma dos investimentos diretos como na modalidade dos empréstimos comerciais. Ainda que as taxas de crescimento no Brasil tenham sido significativas nos anos 50, a expansão demográfica contribuiu em grande medida para reduzir o ritmo do crescimento per capita, como evidenciado pela comparação com a experiência de outros países que também estavam crescendo rapidamente nesse período, como a Alemanha e o Japão, por exemplo.

---

<sup>7</sup> Ver, a propósito, Robert T. Daland, *Brazilian Planning: development, politics and administration*, Chapel Hill: The University of North Carolina Press, 1967.

### Taxas médias de crescimento do PIB per capita

Países	1950-1960	1960-1967
<i>Brasil</i>	2,9	1,1
República Federal da Alemanha	6,8	3,1
Coréia do Sul	2,5	5,1
Espanha	2,6	7,2
Estados Unidos	1,1	3,6
Taiwan	3,8	7,1
Japão	7,2	8,6

Fonte: Paul Singer, *A crise do milagre* (1982)

### 3. O PLANO DE METAS DE JK: A MÍSTICA DO DESENVOLVIMENTISMO

A proposta de um “Programa de Metas” (ou Plano, como ficou mais conhecido), antes mesmo de ser inaugurado o governo Juscelino Kubitschek de Oliveira (1956-1960), constituiu notável avanço na noção de uma coordenação racional da ação do Estado no estímulo a setores inteiros da economia, em geral na área industrial, mas com grande ênfase naqueles “pontos de estrangulamento” já detectados em relação à infra-estrutura.<sup>8</sup> As limitações à capacidade de importar já constituíam preocupação essencial da equipe de planejadores, sobretudo no âmbito do BNDE e do Conselho de Desenvolvimento da Presidência da República. O setor de educação também recebeu precoce atenção nesse Plano, embora mais voltado para a formação de pessoal técnico destinado a operar as indústrias básicas e outros setores de infra-estrutura. A construção de Brasília, ao contrário do que se poderia pensar, não fazia parte da concepção original do Plano de Metas, mas dele constava a expansão da rede rodoviária para a interiorização do processo de desenvolvimento.

<sup>8</sup> A literatura registra a existência de dois trabalhos, ambos clássicos, de análise detalhada do Plano de Metas de JK, efetuados cada um em sua vertente específica, respectivamente, no campo econômico, por Carlos Lessa, *15 Anos de Política Econômica*, 3ª edição, São Paulo: Brasiliense, 1982, e, no campo da ciência política, por Celso Lafer, *JK e o programa de metas (1956-1961): processo de planejamento e sistema político no Brasil*, Rio de Janeiro: Editora FGV, 2002, este originalmente uma tese de doutorado apresentada na Universidade de Cornell em 1970.

Como bem ressaltado pelo professor Palazzo, “apesar de muitos identificarem o Plano de Metas como o primeiro plano brasileiro de programação global da economia, em realidade ele apenas correspondeu a uma seleção de projetos prioritários, mas evidentemente, desta vez, com visão mais ampla e objetivos mais audaciosos que os do Plano Salte, buscando inclusive uma cooperação mais estreita entre os setores público e privado. A sua ênfase recaía, fundamentalmente, no desenvolvimento da infra-estrutura e da indústria de base; não estava, no entanto, caracterizando um planejamento global, tanto que por falta de um esquema racional e adequado de financiamento, acabou por provocar um pesado surto inflacionário.”<sup>9</sup>

O Plano de Metas, elaborado sob a orientação de Lucas Lopes e de Roberto Campos, por meio de trabalho conjunto do BNDE e de um Conselho Nacional de Desenvolvimento, criado no dia seguinte à posse de JK, dedicou-se a identificar os setores carentes de investimentos – pelo Estado, pela iniciativa privada ou pelo capital estrangeiro – e, dentro de cada setor, as metas, cuidando ainda de se ter um objetivo para cada meta. “A quantificação desse objetivo, em regra geral, foi feita da seguinte maneira: foram elaborados estudos das tendências recentes da demanda e da oferta do setor e, com base neles, projetou-se, por extrapolação, a composição provável da demanda nos próximos anos, na qual também se considerou o impacto do próprio plano de metas. Os resultados dessa extrapolação é que permitiram a fixação de objetivos quantitativos a serem atingidos durante o quinquênio. Esses objetivos foram testados e revistos durante a aplicação do plano, por meio do método de aproximações sucessivas que constituiu, por assim dizer, o mecanismo de *feedback* do plano de metas, conferindo-lhe as características de um planejamento contínuo.”<sup>10</sup>

Com grande incidência sobre a produção nacional – cerca de um quarto do produto global – e uma grande abertura para o exterior – 44% dos recursos previstos para a implementação do plano estavam dedicados à importação de bens e serviços –, o Plano de Metas revelou, pela primeira vez, a possibilidade de cooperação entre o setor privado – mobilizado por meio de grupos executivos – e o setor público – organizado em torno do BNDE. A taxa de

---

<sup>9</sup> Cf. Palazzo, “O Planejamento...”, op. cit., p. 4.

<sup>10</sup> Cf. Celso Lafer, “O Planejamento no Brasil: observações sobre o Plano de Metas (1956-1961)” in Betty Mindlin Lafer, org., *Planejamento no Brasil*, 3ª ed.; São Palo: Perspectiva, 1975, p. 29-50; p. 37.

crescimento da economia ultrapassou as médias dos dois quinquênios anteriores – 7% ao ano entre 1957 e 1962, contra apenas 5,2% nos períodos precedentes, sendo as taxas per capita de 3,9 e 2,1% –, contra expectativas pessimistas em relação às possibilidades de serem vencidos aqueles “gargalos”, apontados como obstáculos fundamentais, em especial na área externa. Setorialmente, o produto industrial cresceu 11,3% ao ano, ao passo que o agrícola à taxa mais modesta de 5,8%. A tabela a seguir sumaria as taxas setoriais de crescimento.

<b>Ano</b>	<b>PIB</b>	<b>Indústria</b>	<b>Agricultura</b>	<b>Serviços</b>
1955	8,8	11,1	7,7	9,2
1956	2,9	5,5	-2,4	0
1957	7,7	5,4	9,3	10,5
1958	10,8	16,8	2	10,6
1959	9,8	12,9	5,3	10,7
1960	9,4	10,6	4,9	9,1
1961	8,6	11,1	7,6	8,1

Fonte: IBGE

O Plano compreendia um conjunto de 30 metas organizadas nos seguintes setores: 1) Energia (com 43,4% do investimento total): elétrica; nuclear; carvão mineral; produção e refinação de petróleo; 2) Transportes (29,6% dos recursos previstos): reaparelhamento e construção de ferrovias; pavimentação e construção de rodovias; serviços portuários e de dragagens; marinha mercante; transportes aeroviários; 3) Alimentação (com apenas 3,2% dos investimentos previstos): trigo; armazéns e silos; armazéns frigoríficos; matadouros industriais; mecanização da agricultura; fertilizantes; 4) Indústrias de base (com 20,4% dos investimentos previstos): siderurgia; alumínio; metais não-ferrosos; cimento; álcalis; celulose e papel; borracha; exportação de minérios de ferro; indústria automobilística; construção naval; mecânica e material elétrico pesado; 5) Educação (3,4% dos recursos): formação de pessoal técnico.

Entre os setores industriais, o automobilístico foi o que mais recebeu incentivos, especialmente por meio da Instrução 113 da Superintendência da

Moeda e do Crédito (antecessora do Banco Central), que proporcionou facilidades para a entrada de equipamentos importados sem cobertura cambial. Para compensar os efeitos concentradores do crescimento industrial no Centro-Sul, foram estabelecidos incentivos fiscais para o Nordeste, tendo Celso Furtado assumido a Superintendência do Desenvolvimento dessa região (Sudene), criada nesse período. Brasília, também parte desse esforço de dinamização do *heartland* brasileiro, parece ter consumido cerca de 2 a 3% do PIB durante todo o processo de sua construção, o que não estaria alheio à aceleração do processo inflacionário que foi registrado desde então.<sup>11</sup> O Plano logrou, em todo caso, cumprir seus objetivos básicos, que poderiam ser resumidos na arrancada ou aceleração da industrialização e na interiorização do desenvolvimento.

Uma análise mais crítica desse plano, por Werner Baer, indica que “ não se tratava de um programa de desenvolvimento global, pois não abrangia todas as áreas de investimento público ou as indústrias básicas e, durante um período de cinco anos, não tentou conciliar as necessidades de recursos de trinta setores básicos atingidos pelo plano com as dos setores não-incluídos. As metas deveriam ter sido estabelecidas tanto para o governo quanto para o setor privado. (...) O investimento de infra-estrutura preocupava-se essencialmente com a eliminação de gargalos, tarefa para a qual a comissão conjunta já havia lançado as bases. Em muitos casos, foram redigidas metas detalhadas, incluindo muitos projetos individuais, enquanto outras metas foram formuladas somente em termos gerais.”<sup>12</sup>

Entre as heranças menos desejadas do Plano de Metas situou-se o surgimento de um surto inflacionário que se deveu, na análise do professor Palazzo, a dois fatores: a) a emissão destinada a cobrir os investimentos governamentais; b) a falta de contrapartida fiscal, unida ao fato de que nenhum esquema especial de sustentação financeira do Plano havia sido formulado. “Para contrabalançar os efeitos da inflação que se implantava, o governo Kubitschek lançou uma programação especial, conhecida como Programa de Estabilização Monetária, que deveria cobrir o período 1958-1959, mas este se mostrou insuficiente em função da estratégia traçada: a elevação espetacular dos meios de pagamentos e os pesados déficits orçamentários. O Programa

---

<sup>11</sup> Cf. Celso Lafer, *JK e o programa de metas (1956-1961)*, op. cit., p. 147 e 150.

<sup>12</sup> Cf. Baer, op. cit., p. 77.

de Estabilização tentou a redução das despesas públicas e o aumento da receita, bem como certa limitação ao crescimento do PIB. Não alcançou, no entanto, o seu objetivo e o governo preferiu o caminho da política desenvolvimentista, mesmo em prejuízo das boas relações com entidades financeiras internacionais, em especial com o FMI, que pretendia uma disciplina dos investimentos internos nos programas, como condição para recomendar financiamentos do exterior.”<sup>13</sup>

#### **4. O PLANO TRIENAL DE CELSO FURTADO: A ECONOMIA VITIMADA PELA POLÍTICA**

Em contraste com o nítido sucesso do Plano de Metas, o Plano Trienal de Desenvolvimento Econômico e Social, elaborado em apenas três meses por uma equipe liderada por Celso Furtado no final de 1962, para já subsidiar a ação econômica do governo João Goulart no seu período presidencialista (em princípio de 1963 a 1965), sofreu o impacto da conjuntura turbulenta em que o Brasil viveu então, tanto no plano econômico como, em especial, no âmbito político. O processo inflacionário e as crises políticas com que se defrontou o governo Jango, combinaram-se para frustrar os objetivos desenvolvimentistas do plano, que buscava retomar o ritmo de crescimento do PIB da fase anterior (em torno de 7% ao ano), ao mesmo tempo em que pretendia, pela primeira vez, contemplar alguns objetivos distributivistas. Estavam previstos, em seu âmbito, a realização das chamadas “reformas de base” (administrativa, bancária, fiscal e agrária), ademais do reescalonamento da dívida externa.<sup>14</sup>

Era um plano de transição econômica, não de planejamento macrossetorial, e sua interrupção, antes mesmo da derrocada do governo Goulart, torna difícil uma avaliação ponderada sobre seus méritos e defeitos intrínsecos (como o problema das economias de escala no caso da indústria de bens de capital). Ele partia, em todo caso, do modelo de “substituição de importações” e da noção de que os “desequilíbrios estruturais” da economia brasileira poderiam justificar uma elevação persistente no nível de preços, de conformidade com alguns dos pressupostos da teoria estruturalista que

<sup>13</sup> Cf. Palazzo, op. cit., p. 5.

<sup>14</sup> Cf. Roberto B. M. Macedo, “Plano Trienal de Desenvolvimento Econômico e Social (1963-1965)” in Mindlin Lafer, org., *Planejamento no Brasil*, op. cit., p. 51-68.

disputava, então, a primazia conceitual e política com a teoria monetarista, que era aquela preconizada pelo FMI e seus aliados nacionais (já objeto de notória controvérsia no anterior governo JK). O processo inflacionário era, em parte, atribuído a “causas estruturais” do setor externo (esquecendo o efeito do ágio cambial sobre os preços internos) e, em parte, ao déficit do Tesouro como decorrência dos altos investimentos realizados (mas a unificação cambial também privou o Estado de uma fonte de receita substancial, sem considerar a questão salarial, tratada de modo pouco responsável).

Em qualquer hipótese, os objetivos contraditórios do Plano Trienal (reforma fiscal para elevação das receitas tributárias, mas inibição do investimento privado; redução do dispêndio público via diminuição dos subsídios ao trigo e ao petróleo, mas política de recuperação salarial; captação de recursos no mercado de capitais, sem regulação adequada e sem remuneração compensatória da inflação; mobilização de recursos externos num ambiente de crescente nacionalismo e hostilidade ao capital estrangeiro), ademais da aceleração do processo inflacionário (73% em 1963, contra 25% previstos no Plano), condenaram-no ao fracasso antes mesmo que o governo Goulart fosse derrubado numa conspiração militar. A economia cresceu apenas 0,6% em 1963, como reflexo do baixo nível de investimentos realizado no período: na verdade, os investimentos privados cresceram 14% nesse ano, mas eles tinham caído 10% no ano anterior, contra um decréscimo de 18% nos investimentos públicos em 1963. Em síntese, o plano falhou em seu duplo objetivo de vencer a inflação e promover o desenvolvimento, mas as causas se situam acima e além de sua modesta capacidade em ordenar a atuação do Estado num contexto político que tornava inócua a própria noção de ação governamental.

#### **Produto e inflação (1961-1965)**

<b>Ano</b>	<b>Crescimento do PIB (%)</b>	<b>Crescimento da produção industrial (%)</b>	<b>Taxa de inflação (%)</b>
1961	8,6	11,1	33,2
1962	6,6	8,1	49,4
1963	0,6	-0,2	72,8
1964	3,4	5,0	91,8
1965	2,4	-4,7	65,7

Fonte: IBGE

No plano institucional, no final do governo Goulart, foi fundada a Associação Nacional de Programação Econômica e Social (Anpes), com o objetivo de “realizar estudos para o desenvolvimento de planos para governos futuros”<sup>15</sup> e que abriria o caminho, a partir de 1964, para o desenvolvimento crescente (e também consciente) de estruturas de planejamento governamental no Brasil. O Estado estava se preparando para “guiar” e “promover” o crescimento econômico no Brasil, o que seria efetivado plenamente no contexto do regime militar que encerrou a breve experiência democrática da República de 1946 e deu início a uma série de ambiciosos planos nacionais de desenvolvimento.

Do ponto de vista constitucional, as condições foram dadas para que os processos de planejamento e de gestão administrativa e de intervenção do Estado no terreno econômico pudessem se dar da maneira mais rápida possível, com a adoção de alguns instrumentos legais que facilitaram esses processos. Em primeiro lugar, o Ato Institucional de abril de 1964 estabeleceu prazos fatais para a tramitação no Legislativo de projetos de iniciativa do poder Executivo, ao passo que o Ato Institucional nº 2, de 27 de outubro de 1965, deu ao presidente da República a faculdade de baixar decretos-leis sobre matéria de segurança nacional, o que incluía igualmente, a maior parte das intervenções do Estado no campo econômico.<sup>16</sup>

## **5. O PAEG DO GOVERNO MILITAR: O ESTADO INTERVENTOR**

O regime inaugurado em abril de 1964 começou a atuar em clima de estagnação econômica e de aceleração inflacionária, justificando preocupações sobretudo no campo da estabilização e da correção de rumos. O Plano de Ação Econômica do Governo, na gestão do general Castelo Branco (1964-67), atuou basicamente no nível da política econômica e seus instrumentos básicos, como a política monetária, mas ele também atacou as causas estruturais da inflação (custos da política substitutiva, inelasticidades setoriais). “O Paeg optou por um combate progressivo ou gradual à inflação” e postulou “a manutenção da participação do trabalho (cerca de 65% em 1960) no produto

---

<sup>15</sup> Conforme depoimento de Mario Henrique Simonsen por ocasião das comemorações dos 25 anos do Ipea, citado por Maria Rita Loureiro (org.), *50 Anos de Ciência Econômica no Brasil: pensamento, instituições, depoimentos*, Petrópolis: Vozes, 1997, p. 213.

<sup>16</sup> Cf. Alberto Venâncio Filho, *A Intervenção do Estado no Domínio Econômico*, op. cit., p. 35.

a custo de fatores, meta que seria cumprida por meio de uma adequada política salarial”, ademais de objetivar “atenuar as desigualdades regionais de renda através da concessão de caráter prioritário aos investimentos no Norte e Nordeste.”<sup>17</sup> Ele procurou, por outro lado, incentivar as exportações, via política cambial, e os investimentos estrangeiros.

O Paeg reduziu de fato a inflação, embora em proporções inferiores às que ele próprio tinha estabelecido como limites anuais (25% em 1965 e 10% em 1966) e tampouco conseguiu realizar altas metas de crescimento.

### Produto e inflação (1964-1968)

Ano	Crescimento do PIB (%)	Crescimento da produção industrial (%)	Taxa de inflação (%)
1964	3,4	5,0	91,8
1965	2,4	-4,7	65,7
1966	6,7	11,7	41,3
1967	4,2	2,2	30,4
1968	9,8	14,2	22,0

Fonte: IBGE

Seus efeitos foram basicamente institucionais, consistindo numa ampla reorganização da ação do Estado e preparando-o para as próximas etapas de alto intervencionismo governamental na economia – contra a própria filosofia econômica do regime em vigor –, a começar por um sensível aumento da carga tributária. De fato, “apesar de todo o seu compromisso aberto com o capitalismo como fonte de acumulação de capital, o modelo nunca correspondeu a um protótipo de livre-iniciativa. A estratégia econômica brasileira foi mais pragmática, enraizando-se em uma tradição intervencionista. A participação do governo na economia, que fora objeto de crítica em 1963..., aumentou após a intervenção militar. O investimento público, seja diretamente na infra-estrutura, seja por meio de empreendimentos estatais, teve aumentada a sua porcentagem na formação de capital. A regulação da atividade econômica

<sup>17</sup> Cf. Celso L. Martone, “Análise do Plano de Ação Econômica do Governo, PAEG (1964-1966)” in Mindlin Lafer, op. cit., p. 69-89; p. 75-76.

não se abateu. (...) Expandiu-se o controle público sobre os recursos, por meio tanto dos impostos quanto da poupança forçada acumulada pelo sistema de previdência social. (...) O modelo foi louvado pelo extraordinário crescimento que propiciou entre 1968 e 1973: uma taxa de expansão agregada de mais de 10% ao ano não é pouca coisa. Também foi criticado por seu fracasso em distribuir renda e oportunidades de forma mais eqüitativa.”<sup>18</sup>

Talvez até mais importante do que suas realizações econômicas, o Paeg permitiu a implementação de amplo programa de reformas institucionais, nos planos fiscal (tributário-orçamentário), monetário-financeiro, trabalhista, habitacional e de comércio exterior. No campo tributário, as mudanças atingiram quase todos os impostos (inclusive tarifas aduaneiras), operando-se a substituição dos velhos tributos sobre a produção e o consumo (como Selo e Vendas e Consignações) pelo IPI e pelo ICM. De modo geral, o Paeg, mesmo não alcançando suas metas, logrou um nível razoável de estabilização econômica, efetuou uma importante reforma do Estado nas áreas gerencial e orçamentária, preparando, portanto, as bases para o crescimento do país no período subsequente. No lado menos brilhante da herança deixada, do ponto de vista dos instrumentos macroeconômicos, deve ser registrado o instituto da correção monetária, que permeou as reformas realizadas naquela conjuntura e que sustentou a tolerância inflacionária em que o Brasil passou a viver a partir de então.

No plano das instituições, essa época consolida a formação de uma espécie de aliança tácita entre militares e tecnocratas (que envolveu diplomatas, igualmente) e que se prolongaria durante todo o período autoritário e mais além, deixando marcas no funcionamento ulterior do Estado brasileiro, em especial no plano da carga fiscal e no das suas responsabilidades indutoras, reguladoras e promotoras do desenvolvimento. Na área polêmica das chamadas “reformas de base”, o governo lançou, em novembro de 1964, o que denominou o “Estatuto da Terra”, prevendo a desapropriação e o acesso à propriedade rural improdutiva, a colonização de terras livres e uma série de modalidades de assistência às atividades agrícolas pela formação de cooperativas, garantia de preços mínimos e disseminação de novas técnicas de produção.

---

<sup>18</sup> Cf. Albert Fishlow, *Desenvolvimento no Brasil e na América Latina: uma perspectiva histórica*, São Paulo: Editora Paz e Terra, 2004, p. 21.

Ainda no plano institucional, o Estado brasileiro tinha avançado na experiência de planejamento: foi criado, em 1964, por inspiração do ministro Roberto Campos, do Planejamento, um Escritório de Pesquisa Econômica Aplicada, que se ocupou do sistema de acompanhamento das medidas propostas no plano do governo e que logo depois se converteu no Ipea.<sup>19</sup> De fato, a partir desse período e até o final da era militar se assiste à consolidação de um modelo de gestão pública que passa a atribuir às instituições de planejamento uma grande parte de responsabilidade pela condução, de forma relativamente autônoma, das atividades econômicas, tendo sempre como objetivo o aprofundamento do processo de industrialização. Peça chave no processo de reforma administrativa e de modernização do Estado brasileiro foi o decreto-lei nº 200, de 1967, que efetuou uma reforma gerencial nos modos de gestão do setor público.

No que se refere especificamente ao planejamento econômico, o Ministério do Planejamento e Coordenação Geral “passou a dispor, potencialmente, de maior autoridade do que qualquer outro. Isso deveu-se ao fato de esse órgão desempenhar o papel de agência central no que concerne ao sistema de planejamento e ao sistema de contabilidade e auditoria interna (anteriormente uma atribuição do Ministério da Fazenda), e, mais tarde, ao sistema de controle das empresas estatais e das autarquias e fundações, sobrepondo-se ao controle setorial exercido até então apenas pelos diversos ministérios.”<sup>20</sup>

## **6. O PLANEJAMENTO SE CONSOLIDA: O PLANO DECENAL E O PED**

O governo do marechal Costa e Silva (1967-1969) recebeu em herança um Plano Decenal de Desenvolvimento Econômico e Social, elaborado nos últimos dias do governo Castelo Branco pelo Ipea, que seria um roteiro de desempenho para o período 1967-1976 (que não chegou, contudo, a ser posto em execução). Já com o Paeg bem avançado, o ministro Roberto Campos

---

<sup>19</sup> Para um depoimento pessoal sobre o surgimento do Ipea e as fases iniciais do planejamento na era militar, ver a entrevista com João Paulo dos Reis Velloso in Maria Rita Loureiro (org.), *50 Anos de Ciência Econômica no Brasil*, op. cit., p. 331-344.

<sup>20</sup> Cf. Luiz Carlos Bresser Pereira, “Do Estado patrimonial ao gerencial”, in Ignacy Sachs, Jorge Wilhelm e Paulo Sérgio Pinheiro (orgs.), *Brasil: um século de transformações*, São Paulo: Companhia das Letras, 2001, p. 239.

encomendou ao presidente do Ipea, João Paulo dos Reis Velloso, a elaboração de um plano estratégico decenal que comportou, na verdade, duas partes: um documento de análise global, que era um modelo macroeconômico para o desenvolvimento do Brasil num espaço de dez anos (redigido pelo economista Mario Henrique Simonsen), e um conjunto de diagnósticos setoriais, sob responsabilidade do próprio Ipea, que servia de base para as ações propriamente programáticas, inclusive na área cultural, num período de cinco anos.<sup>21</sup>

Em sua despedida (em março de 1967), ao transmitir o cargo ao ministro Hélio Beltrão, o ministro Roberto Campos indicou que “buscou-se nele formular uma estratégia de desenvolvimento a longo prazo, para escapar ao hábito constante da improvisação imediatista, que sacrifica o futuro ao presente, por não compreender o passado; uma programação quinquenal de investimentos, para racionalizar e melhor coordenar a ação dos diversos órgãos governamentais; um conjunto de indicações sobre as políticas gerais – de crédito, de orçamento e de câmbio – necessárias para compatibilizar a promoção do desenvolvimento com o combate à inflação. (...) O planejamento que concebemos para uma sociedade democrática é um planejamento de moldura e de contexto econômico para o conjunto de decisões de economia. É *executivo*, no tocante à ação do Estado, e *indicativo* no tocante ao setor privado. (...) Mas o plano não é um episódio, é um processo. Não é um decálogo, é um roteiro; não é uma mordaca e sim uma inspiração; não é um exercício matemático e sim uma aventura calculada. (...) Planejar é disciplinar prioridades, e prioridade significa postergar uma coisa em favor de outra”.<sup>22</sup>

Segundo Roberto Campos, o Plano Decenal compreendia um “plano de perspectiva”, no qual se estabeleciam metas e se formulava uma “estratégia decenal de desenvolvimento”, preparando-se também um “programa quinquenal de investimentos”, no qual se incluíam orçamentos de formação de capital em três níveis: a) orçamentos regulares, cobrindo a administração central do governo federal, agências autônomas e sociedades de economia

---

<sup>21</sup> Conforme depoimento telefônico de João Paulo dos Reis Velloso a Paulo Roberto de Almeida, em 9 de junho de 2004. Cf. também Octavio Ianni, *Estado e Planejamento Econômico no Brasil (1930-1970)*, 2ª ed.; Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1977, p. 233-239.

<sup>22</sup> Cf. Roberto Campos, “A mudança da guarda (discurso pronunciado ao deixar a pasta do Planejamento, em 16 de março de 1967)” in Roberto de Oliveira Campos, *Do Outro Lado da Cerca*, 3ª edição, Rio de Janeiro: Apec, 1968, p. 286-288.

mista, com previsões de todos os investimentos dessas entidades; b) orçamentos específicos para os governos estaduais e municipais dentro dos setores especialmente examinados no Plano, os quais representavam entre 80 a 90% da formação de capital dos estados e municípios; (c) projeções estimadas dos investimentos de empresas privadas no setores especificamente mencionados no plano (habitação, aço, metais não ferrosos, indústria mecânica e elétrica, produtos químicos de base, infra-estrutura, construção, comunicações, energia elétrica e mineração).<sup>23</sup>

Como indica ainda o professor Palazzo, “o Plano Decenal não apresentava uma programação rígida para a década, mas abrangia o estudo prospectivo do consumo e orientava os investimentos federais acima de outros programas que viessem a ser elaborados pelas administrações do período”. Ele “estabeleceu uma série de disciplinas quanto à utilização dos recursos ao longo da década e criou um estilo normativo inteiramente novo no país, com os orçamentos básicos setoriais sob controle do governo central e a indicação das providências institucionais a serem adotadas por meio de orçamento programa. Como programação global, estabeleceu prioridades estruturais: a consolidação da infra-estrutura e das indústrias de base, a revolução da tecnologia no campo e a atualização do sistema de abastecimento. Como medidas sociais, definiu a revolução pela educação e a consolidação da política habitacional lançada pelo Paeg. Previa, ainda, a reforma administrativa e um sistema de proteção à empresa privada nacional.”<sup>24</sup>

Como documento de trabalho a prazo médio, o governo elaborou, já sob orientação do novo ministro do Planejamento, Hélio Beltrão, um Programa Estratégico de Desenvolvimento para o período 1968-1970, enfatizando as metas setoriais definidas no Plano Decenal. Apresentado em julho de 1967, ele consistia, numa primeira fase, de diretrizes de política econômica e de diretrizes setoriais, com alguns vetores de desenvolvimento regional. O governo reconhecia a existência de um processo inflacionário e se propunha a estimular adequadamente o setor privado.<sup>25</sup> Estava expresso o objetivo de se ter um “projeto nacional de desenvolvimento”, que se utilizaria da noção de planejamento para lograr alcançar suas metas explícitas. A orientação

---

<sup>23</sup> Cf. Roberto Campos, “A Experiência Brasileira de Planejamento”, op. cit., p. 63-64.

<sup>24</sup> Cf. Palazzo, op. cit., p. 10.

<sup>25</sup> Cf. Ianni, *Estado e Planejamento Econômico*, op. cit., p. 243.

metodológica adotada reconhecia o esgotamento do ciclo anterior de substituição de importações e admitia a crescente participação do setor estatal na economia brasileira, via concentração de investimentos em áreas ditas estratégicas, em geral na infra-estrutura.<sup>26</sup> A elevada taxa de crescimento do produto em 1968 e a redução do nível de preços criaram uma boa base de transição para a fase de crescimento acelerado que se seguiu.

### **Taxas de crescimento do produto e setores (1968-1973)**

<b>Ano</b>	<b>PIB</b>	<b>Indústria</b>	<b>Agricultura</b>	<b>Serviços</b>
1968	9,8	14,2	1,4	9,9
1969	9,5	11,2	6,0	9,5
1970	10,4	11,9	5,6	10,5
1971	11,3	11,9	10,2	11,5
1972	12,1	14,0	4,0	12,1
1973	14,0	16,6	0,0	13,4

Fonte: IBGE

Embora não hostil ao ingresso de investimentos diretos estrangeiros no setor produtivo brasileiro, o PED tinha como um dos seus diagnósticos centrais a constatação da necessidade da participação do setor estatal no preenchimento dos chamados “espaços vazios” da economia, de modo a não permitir a consolidação do capital estrangeiro em áreas consideradas estratégicas para o desenvolvimento, inclusive com uma avaliação setorial de novas oportunidades de substituição de importações. Ele foi complementado por uma série de planos setoriais ou regionais, como o Programa de Integração Nacional, voltado para o Nordeste e a Amazônia; o Proterra, visando dar exequibilidade à reforma agrária; o Provale, programação de infra-estrutura para o vale do rio São Francisco; o Prodoeste, incentivos para o Centro-Oeste; o Prorural, estendendo aos trabalhadores do campo os benefícios da previdência social, e o Programa de Integração Social, que visa à participação dos trabalhadores do setor privado no valor agregado pela atividade empresarial.<sup>27</sup>

<sup>26</sup> Cf. Denysard O. Alves e João Sayad, “O Plano Estratégico de Desenvolvimento 1968-1970” in Mindlin Lafer, op. cit., p. 91-109.

<sup>27</sup> Cf. Palazzo, op. cit., p. 11.

No plano macroeconômico e das políticas econômicas setoriais, o governo deu grande estímulo às exportações, instituindo o regime de câmbio flexível (criado em agosto de 1968) e uma série de isenções de impostos indiretos (IPI, ICM) e diretos (renda), direitos de *drawback* e créditos fiscais para as empresas que destinassem sua produção, no todo ou em parte, aos mercados externos. Como sintetizou Roberto Campos, o PED acentuou mais objetivos gerais e diretrizes de política do que compromissos com metas quantitativas, exceto no tocante à programação plurianual de investimentos, em que aproveitou essencialmente o programa de investimentos anteriormente formulado para os primeiros três anos de execução do Plano Decenal.<sup>28</sup>

## **7. O PLANEJAMENTO NA ERA MILITAR: O I E O II PND E A “FUGA PARA A FRENTE”**

No governo do general Emílio Médici, o debate econômico e político, já de ordinário restrito, comportou algum grau de ceticismo quanto às eventuais virtudes do planejamento governamental de longo prazo. O ministro da Fazenda, Antonio Delfim Netto, chegou a considerar algumas dessas tentativas de planejamento estatal “como uma espécie de futurologia”, considerando que a “ação do governo, no campo econômico, tem que ser meramente instrumental”.<sup>29</sup> Ele preconizava “libertar o empresário das regulamentações sibilinas, da política econômica contraditória e da prepotência do burocrata despreparado”, pedindo ainda para que se deixasse “funcionar o mercado, estimulando a concorrência e criando as condições para que o sistema de preços reflita, efetivamente, a escassez relativa dos fatores de produção.”<sup>30</sup>

Em todo caso, o ministério do Planejamento divulgou, em 1º de outubro de 1970, o chamado Programa de Metas e Bases para a Ação do Governo para o período 1970-1973, esclarecendo que não se tratava de um novo plano global e que o trabalho de diretrizes governamentais, tal como explicitado pelo ministro Reis Velloso, deveria complementar-se com dois outros documentos: o novo orçamento plurianual, com vigência para o período 1971-

<sup>28</sup> Cf. Campos, op. cit., p. 67.

<sup>29</sup> Cf. Antonio Delfim Netto, “Dêem-me um ano e não se preocupem com décadas”, *Jornal do Brasil*, Rio de Janeiro, 20 de março de 1970, p. 3, citado por Octavio Ianni in *Estado e Planejamento Econômico no Brasil*, op. cit., p. 248.

<sup>30</sup> Idem, *ibidem*, p. 249.

1973; e um primeiro plano nacional de desenvolvimento, previsto para ser implementado entre 1972 e 1974.

O objetivo básico do Programa de Metas e Bases para a Ação do Governo era o ingresso do Brasil no mundo desenvolvido até o final do século, estando nele definidas quatro áreas prioritárias: a) educação, saúde e saneamento; b) agricultura e abastecimento; c) desenvolvimento científico e tecnológico; d) fortalecimento do poder de competição da indústria nacional. Como metas econômicas, ele pretendia: a) assegurar uma taxa de crescimento entre 7 e 9% ao ano, em termos reais, evoluindo para 10% ao fim do período; b) a expansão crescente do emprego, da ordem de 2,8 a 3,3% até 1973; c) inflação decrescente, em nível não superior a 10% em 1973; d) elevação do investimento, da média de 15 a 16%, para mais de 18% até 1975.<sup>31</sup> O plano previa ainda a expansão, considerada necessária, da receita das exportações pelo menos à taxa média de 7 a 10% ao ano, de maneira a evitar o aumento rápido do endividamento externo e problemas futuros de balanço de pagamentos.

O primeiro Plano Nacional de Desenvolvimento (1972-1974), elaborado, como o segundo, sob a orientação do ministro do Planejamento Reis Velloso, esteve mais voltado para grandes projetos de integração nacional (transportes, inclusive corredores de exportação, telecomunicações), ao passo que o segundo, na presidência Geisel (1974-1979), foi dedicado ao investimento em indústrias de base (em especial siderúrgica e petroquímica). Ele buscava alcançar a autonomia em insumos básicos, mas já num contexto de crise energética (daí sua ênfase na energia, com destaque para a indústria nuclear e a pesquisa do petróleo, ademais do programa do álcool e a construção de hidrelétricas, a exemplo de Itaipu). O desenvolvimento científico-tecnológico tampouco foi deixado de lado, como revelam planos especiais feitos nessa área, com volumosos recursos alocados à formação de recursos humanos, mas também ao desenvolvimento de novas tecnologias.

O primeiro plano, segundo Roberto Campos, oficializou ambiciosamente o conceito de “modelo brasileiro”, definindo-o como o “modo brasileiro de organizar o Estado e moldar as instituições para, no espaço de uma geração, transformar o Brasil em nação desenvolvida”. Esse

---

<sup>31</sup> Idem, p. 68-69.

modelo nacional deveria, “por um lado, criar uma economia moderna, competitiva e dinâmica, e por outro lado, realizar democracia econômica, social, racial e política”. Entre seus pontos essenciais estava a “influência crescente do governo, mediante expansão dos investimentos e uso da capacidade regulatória”, que era considerada como uma “incorporação dos modernos instrumentos de evolução das economias desenvolvidas”.<sup>32</sup>

Esse período correspondeu, portanto, ao “ponto alto” do planejamento governamental no Brasil e o papel do Estado, não restrito à elaboração de planos e à regulação geral da economia, foi muito mais extenso e intrusivo do que em qualquer outra época da história econômica passada e contemporânea. Instituições públicas e agências diretas controlavam amplos setores da vida nacional, a começar pelas mais diversas políticas setoriais, não apenas comercial, aduaneira e industrial, mas também no plano financeiro e creditício (bancos de desenvolvimento, de habitação e regionais, financiamentos a setores privilegiados), no campo diretamente produtivo e no de controle de preços, sem mencionar o desenvolvimento regional e vários projetos de grande porte. As empresas públicas eram “consideradas como parte do arsenal de políticas do governo”.<sup>33</sup>

Foi no âmbito do I PND que foram elaborados os planos ou empreendidas as obras para grandes projetos na área de infra-estrutura, como a ponte Rio-Niterói, a rodovia Transamazônica, a hidrelétrica de Três Marias, a barragem de Itaipu, entre outras. O apoio financeiro viria não apenas das agências financeiras da União (BNDE, Banco do Brasil, Caixa Econômica Federal), como das instituições financeiras multilaterais e do mercado de capitais internacional. Outros programas compreendiam a expansão da siderurgia, o petroquímico, os corredores de exportação, construção naval, a primeira central nuclear em Angra dos Reis, ademais de um conjunto de hidrelétricas, programas de mineração e de comunicações.<sup>34</sup>

Com duração mais longa do que o primeiro, o II PND (1974-1979) ia além do Plano Decenal, que estava previsto terminar em 1976. Ele traçou o

---

<sup>32</sup> Cf. Campos, *idem*, p. 69.

<sup>33</sup> Cf. Werner Baer, *A Industrialização e o Desenvolvimento Econômico do Brasil*, 6ª ed.; Rio de Janeiro: Editora da FGV, 1985, p. 327.

<sup>34</sup> Cf. Palazzo, *op. cit.*, p. 12.

perfil do Brasil como uma grande potência emergente e fixava a renda per capita acima de mil dólares em 1979, ou seja, o dobro da renda média nos primeiros anos da década anterior. Já em 1977 previa um PIB superior a 100 bilhões de dólares, conferindo ao Brasil a posição de oitavo mercado mundial, ao passo que o comércio exterior, previsto alcançar nas duas direções a cifra de 40 bilhões de dólares, seria quinze vezes o registrado em 1963. Em seu âmbito seriam desenvolvidos dois planos básicos de desenvolvimento científico e tecnológico e o primeiro plano nacional de pós-graduação. Como pontos frágeis, num momento de crise do petróleo, registre-se que o Brasil importava mais de dois terços do combustível consumido, correspondendo esse produto a 48% da energia utilizada.<sup>35</sup>

Segundo uma obra de síntese, o II PND “foi a mais ampla e articulada experiência brasileira de planejamento após o Plano de Metas. Partindo da avaliação de que a crise e os transtornos da economia mundial eram passageiros e de que as condições de financiamento eram favoráveis (taxas de juros *ex-ante* reduzidas e longo prazo para a amortização), o II PND propunha uma ‘fuga para a frente’, assumindo os riscos de aumentar provisoriamente os déficits comerciais e a dívida externa, mas construindo uma estrutura industrial avançada que permitiria superar a crise e o subdesenvolvimento. Ao invés de um ajuste econômico recessivo, conforme aconselharia a sabedoria econômica convencional, o II PND propunha uma transformação estrutural.”<sup>36</sup> Grande parte do financiamento para os empreendimentos produtivos deveria vir de fontes externas, aumentando em consequência o volume da dívida externa. As empresas estatais ocuparam o centro do palco desse espetáculo de industrialização substitutiva. “Os gigantescos investimentos a cargo de Eletrobras, Petrobras, Siderbras, Embratel e outras empresas públicas eram o sustentáculo do programa”<sup>37</sup>.

O Brasil ainda manteve, a despeito da estagflação na maior parte dos países da OCDE, altas taxas de crescimento do PIB, a partir de um pico de 14% em 1973 e de quase 10% em 1976, mas às custas de um desequilíbrio crescente nas transações correntes e de uma multiplicação por três da dívida

---

<sup>35</sup> Idem, p. 13.

<sup>36</sup> Cf. Antonio Barros de Castro e Francisco E. P. de Souza, *A economia brasileira em marcha forçada*, Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1985, citado por Antonio Corrêa de Lacerda et al, *Economia Brasileira*, São Paulo: Editora Saraiva, 2000, p. 122.

<sup>37</sup> Idem, p. 123.

externa líquida entre 1974 e 1979. A própria decisão pela implementação do II PND nesse quadro recessivo significou a “subordinação dos objetivos de estabilização às metas de longo prazo”.<sup>38</sup>

### **Taxas de crescimento do produto e setores (1974-1979)**

<b>Ano</b>	<b>PIB</b>	<b>Indústria</b>	<b>Agricultura</b>	<b>Serviços</b>
1974	9,0	7,8	1,0	9,7
1975	5,2	3,8	7,2	2,9
1976	9,8	12,1	2,4	8,9
1977	4,6	2,3	12,1	2,6
1978	4,8	6,1	-3,0	4,3
1979	7,2	6,9	4,9	6,7

Fonte: IBGE

O II PND, caracterizado por uma alteração nos rumos da industrialização brasileira, até então centrada na indústria de bens de consumo duráveis, contemplava pesados investimentos nas seguintes áreas: a) insumos básicos: metais não-ferrosos, exploração de minérios, petroquímica, fertilizantes e defensivos agrícolas, papel e celulose; b) infra-estrutura e energia: ampliação da prospecção e produção de petróleo, energia nuclear, ampliação da capacidade hidrelétrica (Itaipu) e substituição dos derivados de petróleo por energia elétrica e pelo álcool (Proalcool), expansão das ferrovias e a utilização de carvão; c) bens de capital: mediante garantias de demanda, incentivos fiscais e creditícios, reservas de mercado (lei de informática) e política de preços. Os investimentos estatais adquiriram inclusive uma dimensão regional, com a distribuição espacial dos principais projetos.

Os efeitos positivos do II PND só se fariam sentir em meados da década seguinte, sobretudo no setor de bens intermediários, mas já a partir de 1976 ele começou a enfrentar problemas operacionais. Outras insuficiências se revelariam no não fechamento da dependência tecnológica e no não tratamento da questão social, ou distributiva. O segundo choque do petróleo, em 1979,

<sup>38</sup> Cf. Dionísio Dias Carneiro, “Crise e esperança, 1974-1980” in Marcelo de Paiva Abreu (org.), *A Ordem do Progresso: cem anos de política econômica republicana, 1889-1989*, Rio de Janeiro: Editora Campus, 1989, p. 306.

acarretou a regressão do alto desempenho econômico observado até então, bem como o declínio da própria noção de planejamento econômico, antes mesmo que a crise da dívida externa mergulhasse o Brasil numa longa fase de baixo crescimento e inflação elevada a partir daí e até a introdução do Plano Real, em 1994.

A fase final do regime militar, cujo início data da crise da dívida externa em 1982, desenvolve-se numa atmosfera de graves turbulências econômicas e políticas, marcada entre outros elementos pelo movimento em prol de eleições diretas para a presidência da República. Naquele período, era nítido o contraste entre os principais indicadores macroeconômicos (crescimento, taxa de inflação, contas externas) dessa fase com aqueles que tinham caracterizado o período do “milagre econômico”, como a tabela abaixo pode demonstrar.

Indicadores econômicos do período militar, 1970-1984

Ano	Crescimento do PIB (%)		Balanço de pagamentos*	Dívida externa*	Dívida/ PIB	Taxa de inflação
	Nominal	<i>por habit.</i>				
1970	10,4	7,2	-562	5.295	12,5	19,5
1971	11,3	8,6	-1.307	6.622	13,3	20,3
1972	12,1	9,4	-1.489	9.521	16,3	17,3
1973	14,0	11,3	-1.688	12.572	15,9	14,9
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
1981	-3,1	-5,3	-11.734	61.411	23,3	109,9
1982	1,1	-1,2	-16.310	70.198	25,8	95,5
1983	-2,8	-5,0	-6.837	81.319	39,4	154,5
1984	5,7	3,4	45	91.091	43,1	220,6

Fonte: IBGE; \* = US\$ milhões

De fato, uma agregação desses dados por médias decenais revela uma flagrante inversão de tendências entre os anos 1970, caracterizados por altas taxas de crescimento real do produto, a despeito mesmo da crise do petróleo, e a década seguinte, não sem motivo chamada de “perdida”, tanto em virtude do medíocre desempenho econômico, sobretudo no crescimento real por habitante, como em razão da aceleração inflacionária.

### Indicadores econômicos agregados para os anos 1970 e 1980

(PIB: taxa média anual; inflação: variação mediana)	1971-80	1981-90
Crescimento do PIB real	8,5	1,5
Crescimento do PIB real por habitante	5,9	-0,4
Inflação (deflatores do PIB)	40,9	562,9

Fonte: Banco Mundial

## 8. INSTABILIDADE MACROECONÔMICA E PLANOS TENTATIVOS DE ESTABILIZAÇÃO

A economia brasileira atravessou um longo período de estagnação com inflação alta durante a fase final do regime militar e durante o processo de redemocratização: a renda per capita encontrava-se, em 1994, no mesmo patamar conhecido em 1980. O planejamento governamental, tal como conhecido na fase anterior, encontra-se desarticulado e tanto o III PND como o I Plano Nacional de Desenvolvimento da Nova República permanecem no papel. Nesse ínterim, o Brasil conheceu, apenas e tão somente, planos de estabilização, seis no total, com uma duração média de 18 meses cada um e uma nítida aceleração inflacionária após cada um deles.

A primeira tentativa de controle da inflação, no governo José Sarney (1985-1990) deu-se mediante um tratamento de choque, o Plano Cruzado (fevereiro de 1986), caracterizado pelo congelamento de preços, tarifas e câmbio e pela troca de moeda. Ele foi seguido, oito meses depois, pelo plano Cruzado 2, já num contexto de aumento de tarifas e de reajuste generalizado de preços, com a conseqüente reindexação da economia e a criação de um gatilho salarial (cada vez que a inflação superasse 20%, o que passou a ser freqüente). O plano Bresser (junho de 1987) traz novo choque cambial e tarifário, com congelamento de preços, salários e aluguéis.

A Constituição de 1988, numa demonstração da preservação dos instintos de planejamento na sociedade, institui o Plano Plurianual como o principal instrumento de planejamento de médio prazo no sistema governamental brasileiro. O PPA deveria estabelecer, “de forma regionalizada, as diretrizes, objetivos e metas da administração pública federal

para as despesas de capital e outras dela decorrentes e para as relativas aos programas de duração continuada”. Cada PPA deve conter diretrizes para a organização e execução dos orçamentos anuais e, consoante uma prática já iniciada pelos governos militares, a vigência de um plano deve começar no segundo ano de um governo e findar no primeiro ano do mandato seguinte, com o objetivo explícito de permitir a continuidade do planejamento governamental e das ações públicas.

Poucos meses depois de promulgada a nova constituição, o Brasil conhecia nova tentativa de estabilização, o plano Verão (janeiro de 1989), também marcado pelo congelamento de salários e tarifas e novamente caracterizado por uma reforma monetária que, ao cortar três zeros do cruzado, converteu-o em cruzado novo. Seus efeitos foram igualmente efêmeros, pois a inflação já chegava a 10% no quarto mês de vigência. Doravante, o governo Sarney não mais conseguirá, a despeito de diferentes tentativas de contenção dos preços e outras medidas emergenciais, estabilizar a economia e fazer retroceder a inflação: esta, que no início do mandato presidencial se situava em torno de 250% ao ano (mas com tendência a 1000%) e que tinha conhecido o curto retrocesso do Plano Cruzado, acelera-se pouco a pouco, até aproximar-se da hiperinflação no final do governo, em março de 1990. Os dados da tabela abaixo são eloqüentes a esse respeito.

Indicadores econômicos, governo Sarney: 1985-1989

Ano	PIB, valor e crescimento		Poupança % PIB	Taxa inflação	Taxa desemprego
	US\$ milhões	% real			
1985	211,1	7,9	20,3	235	5,3
1986	257,8	8,0	18,0	65	3,6
1987	282,4	3,6	22,7	416	3,7
1988	305,7	-0,1	25,7	1.038	3,8
1989	415,9	3,3	27,1	1.783	3,3

Fonte: IBGE

O sucessor de Sarney, Fernando Collor de Mello, o primeiro a ser eleito por voto direto após o longo interregno ditatorial, começa o seu mandato, em 15 de março de 1990, em uma atmosfera política sobrecarregada pela conjuntura de crise econômica e de aceleração inflacionária (ritmo anual de

2.750%). Os numerosos mecanismos de indexação e de correção de valores contratuais, estabelecidos desde meados dos anos 1960 (e que davam certa margem de manobra aos agentes econômicos), evitavam que a economia submergisse na voragem da hiperinflação, a despeito de taxas inaceitáveis para outras economias.

O Plano Collor, lançado imediatamente após a inauguração do seu mandato, representou, provavelmente, o choque mais brutal já conhecido na história econômica do Brasil: uma nova reforma monetária se faz ao custo de um confisco de todas as aplicações financeiras e um limite aos saques das contas à vista. A inflação cai a 3% ao mês, mas volta a subir para 20% em seis meses, o que determina a preparação de novo plano de tabelamento e congelamento (o Collor 2, de fevereiro de 1991), com novo surto inflacionário poucos meses depois.

Um programa de reforma tarifária, iniciado em outubro de 1990 e finalizado em julho de 1993, traz os direitos aduaneiros aplicados na importação de uma média de 43% em 1989 (mas com picos tarifários de 105%, ou até mesmo de 200% para alguns bens) a 14% aproximadamente, em 1994, o que obriga os industriais a se preocupar com a competitividade interna de seus produtos, algo impensável até então. A abertura da economia brasileira, condenada pelos antigos beneficiários do protecionismo, permite abaixar os preços relativos dos produtos industriais e, também, eliminar várias fontes de fricção comercial (e política) com o principal parceiro individual do Brasil, os Estados Unidos, ao mesmo tempo em que facilitava as negociações comerciais multilaterais no âmbito da rodada Uruguai do GATT.

Realizado o *impeachment* do presidente Collor, em setembro de 1992, o vice-presidente Itamar Franco demonstra sua impaciência com o alto nível das taxas de juros por meio da troca sucessiva, no início de sua administração, de vários ministros das finanças e de presidentes do Banco Central. A despeito das diversas tentativas conduzidas na segunda fase do governo Collor e a partir de então, a inflação permanece elevada durante toda a primeira metade dos anos 1990, atingindo um ritmo (cerca de 40% ao mês) que em outros países significaria hiperinflação.

## Indicadores econômicos, governos F. Collor e I. Franco: 1990-1994

Ano	PIB, valor e crescimento		Poupança % PIB	Taxa inflação	Taxa desemprego
	US\$ milhões	% real			
1990	469,3	-4,3	18,0	1.477	4,3
1991	405,7	1,3	11,4	480	4,8
1992	387,3	-0,5	12,9	1.158	5,8
1993	429,7	4,9	14,6	2.708	5,3
1994	543,1	5,9	16,6	1.094	5,1

Fonte: IBGE

O terceiro (mas não o último) ministro da Fazenda de Itamar Franco, Fernando Henrique Cardoso, que tinha começado pelas Relações Exteriores (até maio de 1993), dá início a um plano de estabilização em três etapas, visando não apenas conter mas eliminar as fontes e as pressões inflacionistas na economia. Pela primeira vez em muitos anos, atacou-se previamente as causas da inflação – o déficit público, principalmente – em lugar de se tentar, pelos mecanismos conhecidos (controle de preços e salários, por exemplo), simplesmente minimizar os seus efeitos.

O Plano Real, implementado progressivamente a partir de dezembro de 1993 e finalizado mediante troca do meio circulante em julho seguinte, trouxe, finalmente, estabilidade econômica e condições para a retomada do planejamento governamental. Um primeiro PPA, elaborado para o período 1991-1995, teve como objetivo tão simplesmente cumprir a determinação constitucional, sem qualquer efeito no estabelecimento de metas econômicas de governo. Já o PPA 1996-1999 trouxe novos conceitos no ordenamento econômico-espacial do Brasil, com a definição de “eixos nacionais de integração e desenvolvimento”, e os “projetos estruturantes”, ao passo que o Programa “Brasil em Ação” agregou ao plano o gerenciamento de grandes empreendimentos estratégicos. Entre os eixos estratégicos de integração, definidos no início do segundo governo Fernando Henrique Cardoso (1999-2002), estavam os transportes, a energia, as telecomunicações, bem como novas tecnologias.

O PPA seguinte, válido para o período 2000-2003, inovou ao introduzir na administração pública federal a gestão por resultados, com a adoção de

programas como unidade de gestão, a integração entre o plano, o orçamento e a gestão, e o fortalecimento do conteúdo estratégico por meio do estudo dos eixos. Em todo caso, ambos PPAs foram fortemente perturbados em sua implementação pelo ciclo de crises financeiras internacionais que, iniciadas no México no final de 1994, prolongaram-se pela Ásia e na Rússia em 1997 e 1998 e terminaram por atingir igualmente o Brasil em setembro desse ano, obrigando a um plano de sustentação com o FMI e países credores por um valor de 41,5 bilhões de dólares.

Indicadores econômicos dos dois governos  
Fernando Henrique Cardoso: 1995-1998 e 1999-2002

Ano	PIB, valor e crescimento		Poupança	Taxa	Taxa
	US\$ milhões	% real	% PIB	inflação	desemprego
1995	705,4	4,2	20,3	21,9	4,4
1996	775,5	2,6	18,0	9,1	5,2
1997	807,8	3,2	17,7	4,3	5,1
1998	787,5	0,1	17,2	2,5	7,2
1999	529,4	0,8	16,0	8,4	7,3
2000	588,0	4,3	17,7	5,2	7,6
2001	510,4	1,3	18,1	7,7	6,8
2002	456,2	1,9	18,3	12,5	10,5

Fonte: IBGE

Um intenso processo de reformas marcou a primeira administração Cardoso, tanto no âmbito do Estado (reformas administrativa, da previdência social etc.), como no ambiente regulatório de vários setores da economia, infra-estrutura e comunicações, em especial. Mudanças organizacionais importantes ocorreram no plano das funções do Estado. O antigo Dasp, que tinha sido extinto em 1986 para dar lugar a uma Secretaria de Administração Pública da Presidência da República, foi reconstituído em 1990, com a criação da Secretaria de Administração Federal da Presidência da República. A SAF foi transformada em Ministério da Administração e da Reforma do Estado no início da primeira presidência Fernando Henrique Cardoso, em 1995, que por sua vez será fundido com o Ministério do Planejamento no início da segunda presidência FHC,

passando a ser chamado de Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão.<sup>39</sup>

Uma Lei de Responsabilidade Fiscal veio completar, no ano 2000, o novo sistema de controle das despesas públicas, estabelecendo limites para os pagamentos de pessoal, para a dívida pública, para os gastos correntes (monitorados de perto nos períodos eleitorais), bem como no que se refere aos investimentos e despesas extraordinárias, que não podem ser programados sem uma indicação precisa quanto à fonte de financiamento. Trata-se, em grande medida, de um código de conduta que, bem mais do que operar a harmonização orçamentária na administração, contribuiu para mudar radicalmente os métodos de gestão pública no Brasil.

## 9. A EXPERIÊNCIA DO “BRASIL 2020”

A experiência mais recente de planejamento governamental integrado no Brasil, ainda que não com o sentido de efetuar-se uma orientação precisa para os investimentos públicos ou para organização orçamentária das atividades do Estado, deu-se no período da presidência Fernando Henrique Cardoso, no quadro da antiga Secretaria de Assuntos Estratégicos (SAE) da Presidência da República (sob a gestão do Embaixador Ronaldo Mota Sardenberg). O projeto “Brasil 2020”, elaborado em 1998, consistiu num exercício de reflexão, com o objetivo de traçar *visões sobre o futuro do Brasil e, com isso, orientar a elaboração de alguns cenários exploratórios para guiar o itinerário brasileiro de desenvolvimento.*

Para sua melhor consecução, a tarefa foi dividida em três fases: a) elaboração de cenários prospectivos sobre o país, com horizonte no ano 2020; b) elaboração de um cenário desejado (normativo) com base nos anseios e expectativas da nação brasileira; e c) definição das linhas referenciais e delineamento de um projeto estratégico de desenvolvimento de longo prazo para o Brasil.<sup>40</sup> Consultas a especialistas e diversas reuniões de trabalho permitiram ao corpo técnico da SAE montar três cenários ditos “exploratórios”, de longo prazo (designados pelos nomes indígenas de Abatiapé, Baboré e Caaeté). Esses cenários procuraram analisar possíveis

<sup>39</sup> Cf. Bresser Pereira, “Do Estado patrimonial ao gerencial”, op. cit., p. 245, 247 e 253.

<sup>40</sup> Cf. Secretaria de Assuntos Estratégicos, *Brasil 2020: cenários exploratórios*, Brasília: SAE, texto para reflexão sobre o Brasil do Futuro, julho de 1998, p. 5.

futuros alternativos, com base numa montagem técnica de combinações plausíveis de condicionantes e variáveis e não embutiram desejos ou preferências dos formuladores. Eles indicaram, sobretudo, as diferentes alternativas de evolução futura da realidade dentro de limites de conhecimento antecipáveis.<sup>41</sup>

Segundo o cenário Abatiapé, por exemplo, “em 2020, o Brasil é uma potência econômica sólida e moderna, mas ainda apresenta níveis de desequilíbrio social”. Tem-se a aceleração do crescimento econômico, mas “registram-se ainda graves problemas sociais e regionais, por força da persistência da má distribuição de renda e da concentração espacial da economia”. No cenário Baboré, em contrapartida, o Brasil de 2020 “apresenta-se como uma sociedade mais justa. O papel do Estado concentra-se na redução da pobreza absoluta e do hiato entre ricos e pobres (mas) a participação do país no comércio exterior permanece em menos de 1%.” No cenário Caaeté, finalmente, o mais pessimista, em 2020, “o Brasil enfrenta crises de instabilidade política e econômica, cujo prolongamento leva ao agravamento dos problemas sociais. O quadro de instabilidade é, em larga medida, decorrente da não concretização das reformas estruturais. (...) A vulnerabilidade do país é agravada diante da prevalência de um cenário internacional de fragmentação, com recrudescimento do protecionismo. O Brasil perde espaços no mercado mundial, fechando-se em si mesmo, sem possibilidade de contar com fatores externos capazes de impulsionar o crescimento econômico”.<sup>42</sup>

---

<sup>41</sup> Cf. Secretaria de Assuntos Estratégicos, *Brasil 2020: Cenário Diadorim, esboço de um cenário desejável para o Brasil*, Brasília: SAE, seminário nacional, novembro de 1998, p. 2.

<sup>42</sup> Cf. SAE, *Brasil 2020: cenários exploratórios*, op. cit., p. 19-32. Incidentalmente, esse cenário mais pessimista parece ter sido refletido em estudo do National Intelligence Council, entidade filiada à CIA que traçou no quadro de um “Projeto 2020”, perspectivas para o Brasil e a América Latina, nas quais tenta visualizar algumas linhas tendenciais da evolução brasileira e regional. Segundo esse estudo de caráter prospectivo, “o Brasil vai provavelmente falhar em sua tentativa de liderança na América do Sul, devido tanto ao ceticismo de seus vizinhos quanto à sua ênfase frequentemente determinante em seus próprios interesses. Ele vai continuar, entretanto, a ser a voz dominante no continente e o mercado principal para seus parceiros do Mercosul. O Brasil ainda não terá ganho a sua cadeira permanente no Conselho de Segurança, mas continuará a se considerar um ator global. A despeito de que o desempenho econômico brasileiro não será espetacular, as dimensões de sua economia ao lado de sua vibrante democracia continuarão a desempenhar um papel estabilizador na região. Esquemas comerciais com a Europa, os Estados Unidos e grandes economias em desenvolvimento, principalmente China e Índia, ajudarão a manter o crescimento de suas exportações o suficiente para compensar a falta geral de dinamismo de sua economia. Mesmo após 20 anos, os esforços para implementar reformas vitais nas instituições brasileiras estarão ainda em curso. Apesar de que a situação tenderá a apresentar alguma melhoria, o assim chamado ‘custo-Brasil’, um problema de governança, continuará a dificultar

A partir dos cenários exploratórios foi possível traçar um cenário “desejado”, dito Diadorim. A esse cenário atribuiu-se a expressão da vontade e das aspirações da coletividade, refletindo seus anseios e delineando o que se esperaria alcançar num horizonte dado de tempo (2020). Os insumos para o projeto “desejado” foram gerados por meio de consultas a especialistas brasileiros, que redigiram estudos em diversos campos de interesse para o desenvolvimento nacional (sistema político, federação, educação, reforma do Estado, inserção social e racial, inserção internacional).

O cenário Diadorim foi descrito como uma “imagem-objetivo”, para a definição das ações necessárias e adequadas para desatar o processo de mudança na realidade brasileira que, ao longo de mais de duas décadas (a partir de 1996, ano base a partir da qual se traçou uma “cena de partida”), deveria aproximar o Brasil e sua sociedade daquele futuro almejado.

Qual seria esse futuro? Segundo a síntese oferecida em seminário nacional, em novembro de 1998, no ano de 2020, “o Brasil deverá ser uma nação desenvolvida com equidade social, alta qualidade de vida e elevado nível educacional. Apresentará uma inserção competitiva no contexto internacional de modo a ocupar posição de destaque na economia mundial, com a conservação de sua soberania e desfrutando uma economia sólida e dinâmica. Deverá ter uma cidadania forte, uma sociedade organizada e participativa, alicerçada em elevada consciência política. O sistema político será estável e desenvolvido, com democracia profundamente enraizada. O Brasil deverá contar com um Estado regulador que promova o desenvolvimento econômico e social, proteja o meio ambiente e garanta os direitos humanos. A identidade cultural deverá estar reforçada como síntese de múltiplas civilizações, com a valorização das diversidades de etnias, gêneros, credos e regiões. Os ecossistemas estarão conservados, com os recursos naturais e a biodiversidade aproveitados de forma sustentável, graças à capacitação nas tecnologias relevantes. O espaço nacional estará distribuído

---

os esforços para modernizar inteiramente sua economia. O sistema tributário complexo e pesado do Brasil, guerras fiscais entre os estados e limites à infra-estrutura interna de transportes persistirão. Tirando vantagem da fome na Ásia e de seus vínculos reforçados com a Europa, o Brasil conseguirá compensar suas debilidades estruturais graças a seu robusto setor do agribusiness. A grande dívida e sua vulnerabilidade à inflação também continuarão a ser matérias de preocupação.” Cf. “Latin America in 2020: Two Steps Forward, One and a Half Back” (sem atribuição de autoria), texto disponível no link: [http://www.cia.gov/nic/PDF\\_GIF\\_2020\\_Support/2003\\_12\\_08\\_papers/dec8\\_latinafrica.doc](http://www.cia.gov/nic/PDF_GIF_2020_Support/2003_12_08_papers/dec8_latinafrica.doc).

de forma equilibrada, com a redução dos desníveis regionais e sociais, bem como o equacionamento da questão agrária.”<sup>43</sup>

Os principais vetores do projeto “desejado” estavam articulados em torno de aspirações mais usualmente citadas nas pesquisas conduzidas pelo projeto: equidade e justiça social, com qualidade de vida, seguindo-se “desenvolvimento econômico” e depois desenvolvimento político-institucional. Cultura e democracia também eram aspirações valorizadas, mas com uma incidência média, logo seguida pela inserção mundial soberana.

### **O Autor**

PAULO ROBERTO DE ALMEIDA. Doutor em Ciências Sociais pela Universidade de Bruxelas, mestre em Planejamento Econômico pela Universidade de Antuérpia, é diplomata.

---

<sup>43</sup> Cf. SAE, *Cenário Diadorim*, op. cit., p. 4; ver igualmente Ronaldo Mota Sardenberg, “Brasil 2020”, revista *Parcerias Estratégicas*, n° 6, março de 1999, assim como artigo homônimo, na mesma revista, n° 10, março 2001, p. 18-35.

# Prospecção em ciência, tecnologia e inovação: a abordagem conceitual e metodológica do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos e sua aplicação para os setores de recursos hídricos e energia

---

*Marcio de Miranda Santos  
Dalci Maria dos Santos  
Gilda Massari Coelho  
Mauro Zackiewicz  
Lélio Fellows Filho  
Carlos Eduardo Morelli Tucci  
Oscar Cordeiro Neto  
Gilberto De Martino Jannuzzi  
Isaías de Carvalho Macedo*

## **1. INTRODUÇÃO**

*“Há duas motivações básicas para se olhar para o futuro.  
A primeira é evitar ameaças.  
A segunda é estabelecer metas, sonhar sonhos, criar visões,  
fazer projetos, em suma, projetos para o futuro em  
um amplo espectro de propósitos e intenções. Ambas são tão antigas  
quanto a espécie humana e estão em ação desde  
o início dos tempos” (Slaughter, 2004)*

Conhecimento e inovação desempenham papel estratégico e insubstituível no processo de desenvolvimento econômico e social. Capital, trabalho e recursos naturais não são mais suficientes para assegurar o progresso das nações. A capacidade de utilizar o conhecimento de forma criativa e produtiva para inovar ou, ainda, aplicar o conhecimento na solução das demandas concretas da sociedade constitui o principal componente do sucesso na geração de produtos, processos e serviços inovadores, geradores de novas oportunidades econômicas, riqueza e bem-estar social. (World Bank Report, 1998/1999)<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> World Bank Report 1998/99 ‘Knowledge for Development’ disponível em: <http://www.worldbank.org/wdr/wdr98/contents.htm>

Muitas nações estão sendo levadas a rever e avaliar suas estratégias de promoção do desenvolvimento econômico e social de forma a aproveitar as novas oportunidades e demandas que se apresentam. Nesse processo, aceitar o fato de que inovação e conhecimento são fatores-chave para o desenvolvimento sustentável e de inserção em uma economia globalizada parece ser um padrão internacionalmente adotado.

Adicionalmente, parece consolidar-se o reconhecimento de que apenas o aumento dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento não garante os resultados em termos de produtividade e desenvolvimento econômico. Investimentos em ciência e tecnologia voltados para produtos e processos inovadores precisam ser planejados, ligados a visões estratégicas que incorporem as condições para a promoção da inovação, de modo a transformar seus resultados em processos, produtos e serviços.

Conseqüentemente, atividades de planejamento estratégico em ciência e tecnologia e o desenvolvimento de políticas vêm evoluindo e ganhando importância tanto pela conscientização do papel central da ciência e tecnologia no desenvolvimento econômico e social, o que requer investimentos de longo prazo, quanto pela necessidade de gerenciar recursos escassos e obter bons resultados ao longo do tempo. Nesse sentido, as atividades prospectivas representam um processo que avalia o potencial da tecnologia, tanto do ponto de vista técnico quanto de suas implicações sociais, econômicas e ambientais. (Yuthavong, Y. & Sripaipan, C., 1998)

Entre os argumentos que fortalecem esta tendência, destaca-se a natureza pervasiva e estruturante da tecnologia em relação ao crescimento econômico e à prosperidade das nações. A globalização e a crescente importância da competitividade direcionam a escolha de investimentos em ciência e tecnologia em questões cruciais para o desenvolvimento, concentrando recursos disponíveis em poucas opções estratégicas, de conteúdo necessariamente inovador.

Por outro lado, o aumento da complexidade, custos e riscos da pesquisa e desenvolvimento, bem como da velocidade de substituição tecnológica, torna crítica a tomada de decisão descentralizada, a formação de alianças estratégicas, o estabelecimento de redes de comunicação efetivas, o trabalho cooperativo

e o desenvolvimento de visões compartilhadas, no conjunto de ações relacionadas com a promoção da inovação (Gavigan, 1999).

Estudos prospectivos, métodos e técnicas de previsão e predição e outras formas de auscultar o futuro não estavam presentes na agenda das áreas de planejamento e administração nas últimas décadas, razão pela qual os termos “estudos do futuro”, “*foresight*” e “*forecast*” eram pouco conhecidos e utilizados, ou eram deliberadamente evitados.

Somente nos últimos anos é que se passou a utilizar amplamente o termo *foresight*, que, no sentido amplo de pensamento antecipativo, não é novo nem sequer misterioso. Trata-se, apenas, de um processo que é, hoje, característico das atividades de planejamento estratégico e de formulação de políticas nos ambientes público e privado. *Foresight* diferencia-se por ser uma forma mais explícita e organizada de estruturar e facilitar o processo de pensamento antecipativo nas dimensões do planejamento. (Gavigan, 1999)

Levando em conta os aspectos mencionados é que estudiosos do assunto e formuladores de políticas reposicionam a área de planejamento estratégico como um campo que está se deslocando da abordagem tradicional para enfoques mais dinâmicos, que incorporam as possibilidades trazidas pelos estudos de futuro.

Na União Européia, por exemplo, há uma grande diversidade de estudos prospectivos sendo conduzidos sob a denominação de *foresight*. Nesse conjunto de estudos, essa abordagem é colocada no espaço onde o planejamento estratégico, os estudos de futuro e as análises de políticas encontram-se intersectados ou sobrepostos. É na intersecção destes três campos que o *foresight* se situa. *Foresight*, portanto, não se caracteriza como planejamento, não define políticas e não ocupa os espaços da tomada de decisão e do processo de planejamento. Ao contrário, complementa estas atividades e aumenta sua efetividade na medida em que gera subsídios úteis para as mesmas, com visão de futuro. (Foren, 2001).

Nas últimas duas décadas, sistemas de ciência, tecnologia e inovação (CT&I) em várias partes do mundo passaram a requerer a institucionalização de estruturas aptas ao desenvolvimento sistemático de estudos do futuro, à identificação de tendências e oportunidades, e à articulação e construção de

canais de diálogo e reflexão junto aos diversos agentes que compõem estes sistemas, até por reconhecer que inovação é um processo social complexo, fortemente dependente de ferramentas de gestão do conhecimento e mobilização de competências, ambos aspectos altamente fragmentados nas sociedades contemporâneas.

No Brasil, seguindo essas tendências mundiais, foi criado, em 2001, o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), como uma instituição voltada para a promoção e realização de estudos e pesquisas prospectivas de alto nível e suas relações com setores produtivos, bem como a condução de atividades de avaliação dos impactos econômicos e sociais de estratégias, políticas, programas e projetos em ciência, tecnologia e inovação. Sua atuação é, também, caracterizada pela permanente difusão de informações, experiências e projetos de interesse para a sociedade, e pela capacidade de promover a interlocução, articulação e interação entre a academia, governo e o setor produtivo.

Este artigo apresenta o referencial teórico e conceitual utilizado pelo CGEE para realizar suas atividades prospectivas, elaborado com o objetivo de agregar valor à informação, transformando-a em conhecimento útil e utilizável na definição de políticas públicas, programas e projetos focados na promoção da inovação tecnológica. Descreve a aplicação deste modelo em duas atividades prospectivas recentes para os setores de energia e recursos hídricos.

Além disso, busca refletir sobre os desafios que se colocam ao Brasil em termos do entendimento desse novo campo de estudo e do aprofundamento da capacidade brasileira para conduzir estudos de futuro e prospecção em CT&I.

## ***FORESIGHT, ESTUDOS DO FUTURO E GOVERNANÇA***

A partir da década de 90, países desenvolvidos e em desenvolvimento intensificaram o uso de abordagens metodológicas para estudar o futuro objetivando o estabelecimento de prioridades em CT&I e, também, para legitimar as escolhas e fortalecer os processos de comunicação e comprometimento entre os principais atores envolvidos, com importantes

desdobramentos no processo de reorganização institucional e de governança.

Destaca-se, neste contexto, o uso crescente de abordagens participativas que refletem o crescimento da democracia e a legitimação dos processos políticos. Por outro lado, há também a conscientização de que os altos níveis de incerteza com os quais as sociedades modernas se defrontam são a norma, não a exceção, uma vez que o progresso econômico parece estar mais associado aos impactos de inovações disruptivas do que aos estados de equilíbrio.

O *foresight* é considerado uma abordagem participativa importante para habilitar os governos e empresas a serem capazes de responder aos novos desafios e oportunidades, de forma rápida e eficiente, analisando a ciência e tecnologia como principais fatores de mudança e capazes de impactar substancialmente os cenários futuros. Destaca-se, ainda, o papel deste processo em promover a estruturação de redes, por meio de uma abordagem multidisciplinar, a aproximação entre o setor acadêmico, o setor privado e os governos. O ponto-chave trata da sensibilização dos formuladores de políticas e tomadores de decisão sobre as principais ações a serem iniciadas no presente como forma de influenciar e modelar o futuro e a evitar riscos e ameaças.

Exemplos interessantes são os casos da Austrália<sup>2</sup> (Slaughter, 1999; Tegart, 2001) e da Coreia do Sul<sup>3</sup>, onde, atualmente, essas atividades já se

---

<sup>2</sup> O principal exercício prospectivo na Austrália foi realizado pelo *Australian Science and Technology Council (Astec)*, entre 1994 e 1996, intitulado *Matching Science and Technology with the Future Needs: 2010*. Atualmente, tais atividades estão dispersas no âmbito governamental, mas podem ser citadas iniciativas interessantes no *Department of Education, Science and Training (Dest)*, tais como: *Backing Australia's Ability - Building Our Future Through Science and Innovation; Mapping Australia's Science and Innovation System e National Research Priorities*, todas voltadas à busca de horizontes futuros para alinhar os esforços em áreas chave para o desenvolvimento. ([www.dest.gov.au/](http://www.dest.gov.au/))

<sup>3</sup> A Coreia do Sul iniciou suas atividades de *foresight* em meados da década de 80, no âmbito do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), sendo o *Highly Advanced National Project (HAN Project)* um dos exemplos mais interessantes. A partir disso, a atividade foi internalizada em quase todo o corpo ministerial envolvendo ações em vários outros ministérios. Outro movimento apoiado pelo MCT foi a realização de dois grandes exercícios nacionais envolvendo a aplicação da técnica Delphi, o primeiro destes, em 1993, em três rodadas, visando um horizonte de 20 anos (1995 a 2015) e, posteriormente, em 1998, um segundo exercício, seguindo a mesma metodologia anterior, desta vez, olhando para o período de 2000 a 2025. Em 2002, um terceiro tipo de atividade de *foresight* foi ressaltado e, em nível empresarial, surgiu um forte interesse na técnica de *technology roadmapping*. No âmbito governamental, dois institutos são responsáveis por estas atividades, o *The Science and Technology Institute (Stepi)*.

encontram internalizadas no âmbito governamental e empresarial, especialmente com o uso da técnica de *roadmapping* (Choi, 2003). Nos dois casos, a competência instalada no país em prospecção em ciência, tecnologia e inovação e estudos do futuro encontra-se bem estabelecida nas universidades e centros de pesquisa, além de um número crescente de empresas de consultoria.

Destacam-se, também, as ações em curso na União Européia, e o papel desempenhado pelo *Institute for Prospective Technological Studies* (IPTS)<sup>4</sup>. O desenvolvimento da chamada 'Estratégia de Lisboa' ([http://europa.eu.int/comm/lisbon\\_strategy/index\\_en.html](http://europa.eu.int/comm/lisbon_strategy/index_en.html)) está inserido neste contexto e propõe transformar a União Européia em uma economia baseada no conhecimento e a mais competitiva e dinâmica do mundo, até 2010. Ciência, tecnologia e inovação são consideradas questões-chave para o atingimento das metas propostas.

Os desafios advindos do processo de integração de novos países ao bloco europeu (*enlargement*) ([http://europa.eu.int/comm/enlargement/index\\_en.html](http://europa.eu.int/comm/enlargement/index_en.html)) e a emergência de novos padrões sociais foram determinantes para o surgimento de padrões inovadores de governança e definição de objetivos estratégicos. Neste sentido, o "*White Paper on European Governance*", publicado em 2001, propõe a abertura do processo de formulação de políticas para envolver atores-chave, pessoas e organizações, no processo de planejamento e na promoção de formas de gestão inclusivas e socialmente responsáveis. ([http://europa.eu.int/comm/governance/white\\_paper/index\\_en.htm](http://europa.eu.int/comm/governance/white_paper/index_en.htm))

Todas essas iniciativas, no seu conjunto, tratam do estabelecimento de novos modelos de gestão e de novas institucionalidades voltadas para a geração de subsídios para a formulação de políticas e para a identificação de perspectivas

---

organização membro do *Korea Council of Economic and Social Research Institutes* (KCESRI), desde maio de 99, vinculada ao Gabinete do Primeiro Ministro, objetiva a pesquisa e o desenvolvimento de políticas de ciência e tecnologia e de estudos em inovação. O segundo é o *Korea Institute of Science & Technology Evaluation and Planning* (Kistec), fundado em 1999, responsável por assistir ao Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia (NSTC) na condução de pesquisas de futuro, análises e avaliações dos programas de C&T coreanos implementados por vários ministérios, inclusive o MCT; apoiar o MCT no planejamento, gestão e avaliação dos programas em andamento, e, apoiar a implementação dos programas de cooperação internacional. ([www.stepi.re.kr/](http://www.stepi.re.kr/); [www.kistep.re.kr/english/](http://www.kistep.re.kr/english/); [www.most.re.kr](http://www.most.re.kr)).

<sup>4</sup> O IPTS foi estabelecido em Sevilha, em 1994, a partir do reconhecimento do papel estratégico dos desenvolvimentos científicos e tecnológicos para o processo de formulação de políticas e de tomada de decisão buscando transpor as distâncias entre ciência, tecnologia e sociedade. Mais informações disponíveis em <http://www.jrc.es>.

tecnológicas e socioeconômicas de médio e longo prazos, como forma de reduzir as incertezas inerentes ao processo de promoção da inovação e de minimizar os riscos de investimentos em setores e áreas estratégicas.

*Foresight*, para a Comunidade Européia, é também definido como uma atividade que conjuga três diferentes dimensões de um mesmo processo: o pensar, o debater e o moldar o futuro para orientar a tomada de decisão<sup>5</sup> (Santos & Santos, 2003), conforme resumido a seguir:

- **Pensar o futuro:** os possíveis eventos futuros são examinados a partir de tendências de longo prazo e especulações sobre fatos novos e inesperados. São monitoradas especialmente as tendências da ciência e da tecnologia, porém mudanças na economia, na sociedade, na geopolítica e na cultura são também variáveis consideradas;
- **Debater o futuro:** em geral o processo de pensar o futuro no *foresight* é de natureza participativa e requer o envolvimento de diferentes grupos de interesse, incluindo autoridades públicas, empresas e organizações de pesquisa. Tal processo pode ocorrer em diferentes níveis: transnacional, nacional, regional ou local.
- **Modelar o futuro:** a identificação de futuros possíveis e desejáveis e a interação e o aprendizado provocado nos participantes levam paulatinamente a decisões em diferentes níveis. Dessas decisões se espera sentido e coordenação dos esforços de materialização das visões de futuro construídas.

Na condução de exercícios de prospecção em CT&I, conforme a abordagem *foresight*, o governo assume, conjuntamente, os papéis de parceiro e de loco de convergência de opiniões e de articulação de atores. São críticas, neste processo, suas responsabilidades na promoção e sistematização dos fluxos de informação e de conhecimento entre os diversos parceiros e os participantes do sistema de CT&I e, obviamente, na tomada de decisão acerca das prioridades de investimentos públicos a partir de opiniões e conhecimentos captados e sistematizados nesse processo. São, certamente, as interações entre as mais diversas visões de futuro que definem as mudanças do presente.

No Brasil, iniciativas voltadas para a modernização do sistema de ciência, tecnologia e inovação, discutidas e implementadas ao longo dos últimos quatro anos (2000-2004), identificaram a necessidade da existência

---

<sup>5</sup> Ver em <http://www.cordis.lu/foresight/definition.htm>

no sistema de um organismo capacitado para conduzir estudos prospectivos e atividades de avaliação de impacto de estratégias, programas e projetos estratégicos, de forma a inserir CT&I como preocupação permanente em todas as esferas de governo, com ampla mobilização de competências nos âmbitos governamental, empresarial e acadêmico.

Esses esforços de modernização incluíram, também, a ampliação e diversificação de mecanismos e fontes de financiamento, que incluem a criação de 14 fundos setoriais em ciência, tecnologia e inovação, voltados essencialmente para o desenvolvimento tecnológico e que requerem a efetiva implementação de novos modelos de gestão capazes de garantir a efetividade e sustentabilidade desta iniciativa.

A criação do CGEE e o aumento da demanda governamental para a realização de estudos prospectivos e de avaliação de impactos, são, portanto, sinais claros na direção da construção da institucionalidade associada à geração de subsídios técnicos para planejamento de médio e longo prazos para o sistema de CT&I brasileiro, obtidos com ampla participação de atores oriundos dos meios acadêmico, governamental e empresarial.

## **PROSPECÇÃO EM CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO**

Pensar o futuro do desenvolvimento econômico e social e da tecnologia em setores importantes da economia brasileira devem ser estratégias conscientes. É importante observar que estratégias conscientes não são simples agregação de interesses específicos. O ponto a considerar é de que maneira o Brasil pretende manter sua posição em um mundo de alta turbulência e competitividade, ou seja, de que maneira e com que intensidade o Estado irá atuar na promoção do desenvolvimento econômico e social com apoio da ciência, tecnologia e inovação, e em que medida estudos prospectivos ou estudos do futuro podem auxiliar o país nessa empreitada.

Por outro lado, a ação difusora e penetrante da incerteza sugere que as nações devem resistir à tentação de se tornarem campeãs no uso da tecnologia em um único setor de aplicação, sendo mais prudente gerenciar deliberadamente um conjunto diversificado de ações ou um leque maior de alternativas, adequadamente selecionadas e priorizadas.

Pensar o futuro é, pois, uma forma de se iniciar o debate sobre ele. Para se desenhar o futuro é preciso ter portas abertas, ou seja, é preciso saber muito mais, ir para além daquilo que é conhecido, permitir a entrada de novas idéias e posicionamentos, compartilhar questões inquietantes e provocativas e, ainda, encontrar a linguagem e a crença comuns para se estabelecer um padrão mental que permita construir o caminho da mudança.

No Brasil, o termo prospecção tecnológica parece ter sido, inicialmente, o mais adotado para designar as atividades de pensar, debater e modelar o futuro. No entanto, parece ser mais adequado denominar esta atividade como 'prospecção em ciência, tecnologia e inovação' buscando ressaltar a tendência atual de ampliar o alcance deste tipo de estudo, de modo a incorporar elementos sociais, culturais, estratégicos, fortalecendo o seu caráter abrangente que inclui, necessariamente, as interações entre tecnologia e sociedade.

Mais ainda, a clara indicação de que estes estudos devem impactar o processo de inovação ressalta a importância da construção de visões de país que levem em conta as já usualmente consideradas em outras modalidades de estudos de futuro, às quais serão adicionadas outras, tais como a natureza política e institucional das questões em foco, as suas particularidades regionais, aspectos associados ao crescimento demográfico e à sustentabilidade econômica, ambiental e social das alternativas em estudo.

Tendo em vista a quantidade de interpretações possíveis, os termos prospecção, prospectiva, exercícios prospectivos ou estudos do futuro se tornaram denominações genéricas – e não isentas de controvérsias – para as diversas abordagens e metodologias que procuram responder às questões colocadas pela problemática do futuro, seja no que se refere às tecnologias e seus impactos ou às questões sociais importantes da atualidade.

A lista de campos de estudo relacionados com a temática de explorar o futuro é, portanto, grande e tende a crescer ainda mais. Uma simples revisão de termos na literatura identifica diferentes denominações para grupos ou estruturas conceituais, tais como *technological forecasting*, *technological foresight*, *social foresight*, *inclusive foresight*, *technology assessment*, *monitoring (environmental scanning, technology watch)*, *prospective networks*, *roadmapping*, *scenarios studies*, *multicriteria decision analysis etc.* Isso tem gerado considerável confusão na terminologia, o que tem dificultado a elaboração de definições simples e diretas, não estabelecendo diferentes níveis de abrangência e de uso de tais métodos, técnicas, metodologias e abordagens.

Por isso, é comum encontrar técnicas desenvolvidas para objetivos específicos sendo utilizadas para responder a questões de natureza ampla e complexa, o que, em certos casos, leva a resultados contestáveis e confirma a grande dificuldade existente para se tratar as incertezas do futuro.

A reflexão sobre as diferentes abordagens precisa ser vista como um meio para aperfeiçoar a atividade prospectiva e seus resultados, ou seja, responder adequadamente às indagações quanto ao futuro, em seus diversos níveis e interesses. Assim, o desenvolvimento de novos modelos e ferramentas para análises prospectivas e estudos de horizontes futuros é atualmente considerado crucial para fazer face aos desafios colocados para instituições, países e regiões. (Porter et al., 2004)

A ótica pela qual o CGEE se orientou para construir a sua abordagem conceitual foi embasada na percepção de que a tomada de decisão emerge de uma negociação entre múltiplos atores, ponto chave da abordagem conhecida como *foresight*, que pode ser definida como “um processo pelo qual se pode obter um entendimento mais completo das forças que moldam o futuro e que devem ser levadas em consideração na formulação de políticas, no planejamento e na tomada de decisão” (Martin, apud Cuhls and Grupp, 2001).

Adicionalmente, a opção institucional do CGEE deveria recair em um processo que incluísse meios qualitativos e quantitativos para monitorar sinais e indicadores das tendências em ciência, tecnologia e inovação e produz resultados melhores e mais úteis quando está diretamente associado à análise de políticas públicas e suas implicações.

Em última análise, buscava-se uma abordagem que tivesse como objetivo central dotar o presente de perspectiva estratégica, com conhecimento sobre as possibilidades do futuro para a construção de compromissos e coordenação acerca das prioridades em ciência, tecnologia e inovação, associadas às grandes vocações nacionais. Considerados os aspectos descritos anteriormente, a escolha por uma abordagem conceitual embasada no conceito de *foresight* parecia natural.

Estudos de futuro estruturados no âmbito do governo de acordo com os conceitos de *foresight* não devem ter como objetivo principal substituir a tomada de decisão na formulação de políticas, estratégias e programas, mas, ao contrário, gerar subsídios para que estes sejam formulados de modo a

serem mais apropriados, flexíveis e robustos em sua implementação, consideradas as condições políticas e o fator temporal necessário para as suas consolidações.

O modelo teórico elaborado no CGEE para orientar as ações de prospecção em ciência, tecnologia e inovação é apresentado na figura 1, e foi concebido a partir de elementos constantes na estrutura metodológica proposta por Horton (1999), à qual foram agregadas idéias e orientações obtidas a partir dos trabalhos de Conway e Voros (2002), Keenam (2002), do *Handbook of Knowledge Society Foresight* (2002), do Foren (2001), entre outros. Cabe também ressaltar a incorporação de elementos advindos de relatos de experiências conduzidas ao redor do mundo com grande diversidade de aplicações e usos de diferentes abordagens e metodologias. (Karube, 2001; Slaughter, 2002; Mjwara, 2001; Jeradechakul, 2003)



**Figura 1:** Modelo teórico do CGEE

## **COMPREENDENDO O PROCESSO**

A prospecção em ciência, tecnologia e inovação é um poderoso auxiliar do planejamento e do gerenciamento dos altos níveis de incerteza associados ao processo de tomada de decisão, porém precisa estar inserida em um contexto planejado, isto é, estar embasada em diretrizes e necessidades pré-estabelecidas.

Sua efetividade está intrinsecamente ligada a um desenho metodológico adequado, o qual só pode ser obtido a partir de uma delimitação precisa das questões a serem respondidas, do tipo de resposta desejada, da orientação espacial, do escopo do tema, bem como da estruturação de uma rede de atores capazes de se articularem de forma a buscarem consensos e comprometimentos necessários à implementação das linhas de ação identificadas.

A condução desta atividade pelo CGEE busca seguir o modelo teórico apresentado acima, considerando quatro grandes conjuntos para sua execução:

### **I. Definição de objetivos**

A correta definição de objetivos gerais da atividade de prospecção, etapa óbvia mas freqüentemente pouco discutida, é de grande importância na delimitação do escopo do estudo a ser conduzido e na orientação da sua condução. As atividades conduzidas pelo CGEE têm sido pautadas por objetivos gerais traçados pela União, a partir de diretrizes estratégicas emanadas do governo federal.

### **II. Seleção de temas**

Uma vez definidos os objetivos gerais para o estudo de prospecção, são identificados e selecionados os temas considerados prioritários, a partir do reconhecimento das questões críticas a serem respondidas.

De modo geral, os exercícios prospectivos realizados pelo CGEE estão ancorados em planos e programas governamentais, como, por exemplo, os estudos realizados em energia e recursos hídricos, conduzidos para a geração de subsídios técnicos para a tomada de decisão no âmbito dos Fundos Setoriais de Ciência, Tecnologia e Inovação.

Para cada tema selecionado, é realizada uma rigorosa análise para fins de planejamento, que leva em conta o foco estratégico, o horizonte temporal,

a abrangência espacial, a mobilização institucional e de especialistas (considerando sua extensão, frequência e alcance), duração e custos, a escolha dos métodos e técnicas que comporão a metodologia, o público-alvo da pesquisa, possíveis parceiros da iniciativa, a infra-estrutura disponível, o relacionamento com as iniciativas em andamento e a estratégia de disseminação.

### **III. Implementação da prospecção em ciência, tecnologia e inovação**

O modelo utilizado pelo CGEE divide o processo de prospecção em três fases, conduzidas de forma a agregar valor às informações obtidas nas fases iniciais, transformando-as em conhecimento e este em estratégia. Visam, também, diminuir o nível de incerteza inicial de forma a identificar alternativas que já contem com certo grau de consenso entre os principais grupos de interesse ou, não menos importante, caracterizar contenciosos e mapear conflitos a serem considerados no processo de tomada de decisão. As três fases são: 1) Fase Inicial; 2) Fase Principal; e, 3) Fase de Comprometimento.

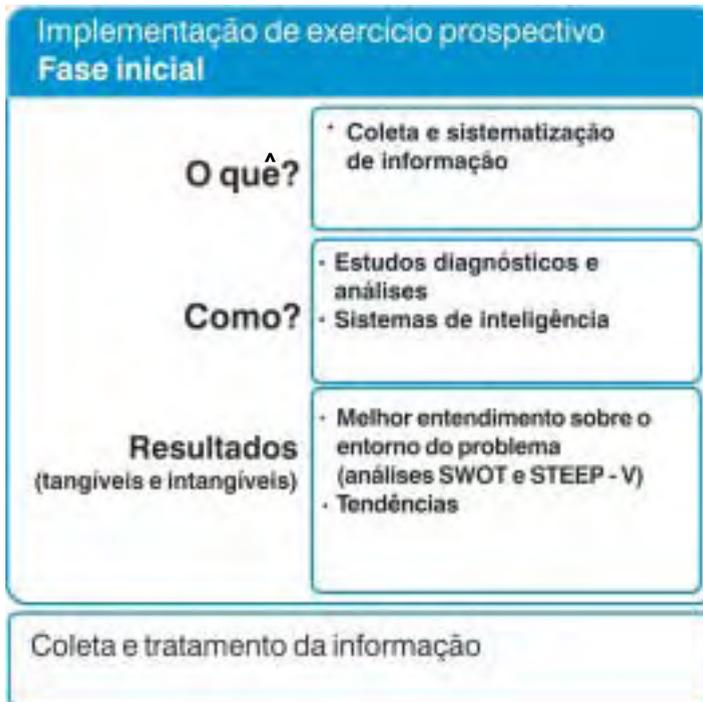
#### **FASE INICIAL**

O que se pretende alcançar nesta fase é um aumento da percepção coletiva em relação aos temas considerados prioritários, procurando-se responder à seguinte pergunta: *O que está acontecendo?*

A Fase Inicial implica, portanto, em se obter, da forma mais rápida possível, o melhor diagnóstico sobre o tema em estudo, com base no reconhecimento do que já existe e buscando delimitar os contornos do mesmo, de forma a se obter um primeiro mosaico do objeto em questão.

Corresponde, assim, à coleta, organização e resumo das informações disponíveis sobre o tema, utilizando-se, para isto, estudos, diagnósticos, análises e sistemas de inteligência. Nesta fase, já são mapeadas as oportunidades e ameaças, forças e fraquezas bem como são delimitados os fatores sociais, tecnológicos, econômicos, ambientais, políticos e os valores culturais que potencialmente impactam o tema em estudo.

As atividades conduzidas nesta fase permitem, também, que já seja identificado um primeiro conjunto de atores, especialistas e instituições, a serem mobilizados ao longo do processo. A Figura 2 apresenta o diagrama esquemático que orienta a Fase Inicial.



**Figura 2** – Diagrama esquemático da Fase Inicial

## FASE PRINCIPAL

As etapas e atividades que, tipicamente, são desenvolvidas nesta fase, são planejadas de forma a responder às seguintes questões: (1) O que parece estar acontecendo? (2) O que realmente está acontecendo? e (3) O que deveria acontecer?

A natureza das três questões é indicativa de que, após o tratamento da informação coletada na fase anterior, dá-se início a uma fase de: interpretação (o que parece estar acontecendo?); análise e confirmação das observações feitas (o que realmente está acontecendo?) e; especulação e debate sobre alternativas futuras de ação (o que deveria acontecer?).

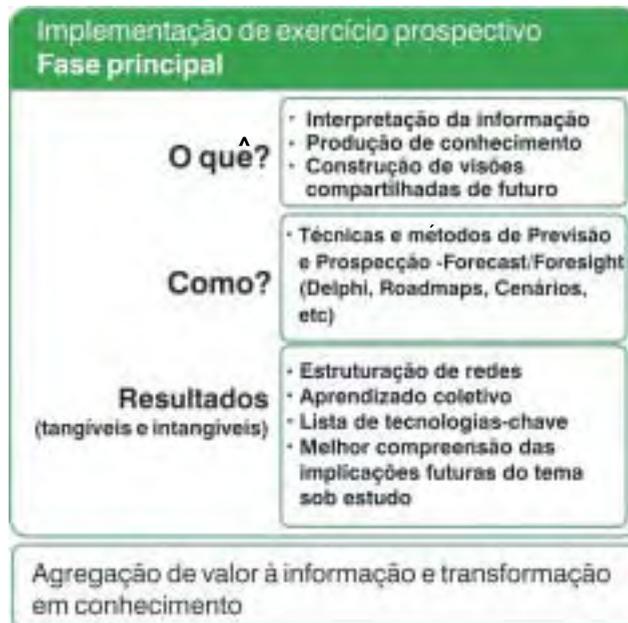
Durante a fase principal, ocorrem processos de tradução e interpretação acerca das tendências correntes e das possibilidades futuras, que utilizam um conjunto flexível de técnicas e ferramentas de previsão e de prospecção, como os painéis de especialistas, a técnica Delphi, entre muitas outras possibilidades.

Nessa fase, é crítica a seleção e mobilização de especialistas e instituições-chave, portadores da mais ampla representatividade espacial, disciplinar e temática possível, observados o escopo e os objetivos gerais da atividade de prospecção e tomando-se por base a informação obtida na fase anterior.

Na condução de exercícios de *foresight*, a importância do processo é igual senão maior do que os resultados obtidos, pelas possibilidades que oferece para o aprendizado coletivo, para a sensação de envolvimento e participação, troca de experiências e dissipação de parte considerável de conflitos gerados por falta de diálogo e comunicação entre atores-chave.

Não menos importantes são as possibilidades oferecidas ao longo desta fase para a explicitação e o registro do conhecimento tácito e para um melhor entendimento dos condicionantes envolvidos e das possibilidades apresentadas para o futuro.

A Figura 3 apresenta o diagrama esquemático que orienta a Fase Principal.



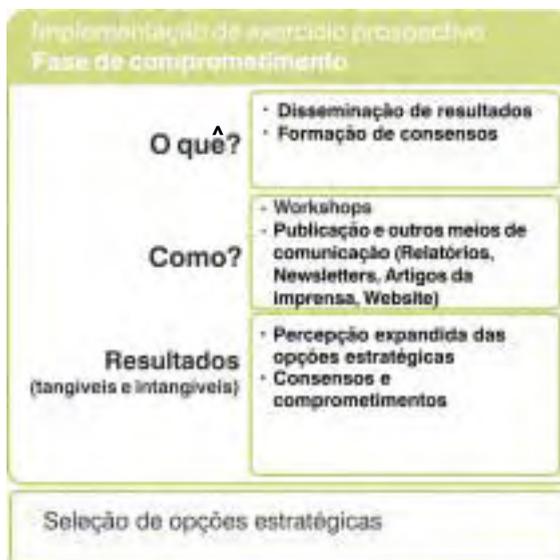
**Figura 3** – Diagrama esquemático da Fase Principal

## FASE DE COMPROMETIMENTO

Nessa fase, todo esforço é despendido na explicitação e, especialmente, no fortalecimento de consensos e comprometimentos que vieram sendo formados ao longo do exercício. Adicionalmente, procura-se refinar e consolidar o mapeamento das questões envolvidas, sobretudo aquelas de natureza institucional, contenciosos, elementos críticos para a tomada de decisão, com vistas a obter respostas para a seguinte questão: O que se pode fazer?

Desta forma, a coordenação do exercício busca, nesta fase, expandir a compreensão coletiva sobre as questões resultantes das fases anteriores, buscando ampliar e intensificar a participação de decisores nas atividades em curso.

Reuniões com audiências compostas por aqueles que estarão envolvidos com a implementação de ações e produção de relatórios sintéticos, enfocando alternativas para a ação, são atividades típicas desta fase. O resultado esperado é a transformação do conhecimento acumulado em estratégias e propostas passíveis de serem apropriadas pelos tomadores de decisão, buscando a expansão da percepção sobre opções estratégicas a serem incorporadas em planos, programas e projetos. A Figura 4 apresenta o diagrama esquemático que orienta a Fase de Comprometimento.



**Figura 4** – Diagrama esquemático da Fase de Comprometimento

#### **IV. Tomada de decisão**

Do ponto de vista da coordenação do exercício prospectivo, o que se pretende é auxiliar o processo decisório com elementos que possibilitem, ao tomador de decisão, responder às seguintes perguntas: *O que será feito? Como será feito?*

Os resultados obtidos do exercício são formalmente apresentados e validados pelos tomadores de decisão. As alternativas de ação, portadoras de graus diferenciados de consenso e comprometimento, são então debatidas e selecionadas. É muito importante mencionar que a incorporação mais intensa, nesta fase, dos aspectos econômicos e políticos pode suscitar esclarecimentos sobre aspectos não necessariamente explicitados nos relatórios e apresentações de resultados. Distanciar a tomada de decisão da coordenação do exercício de prospecção pode representar um risco para a não consideração das complexidades tratadas ao longo do processo na seleção de opções estratégicas. Por isso é fundamental que os decisores sejam envolvidos desde o início do processo.

Tipicamente, a coordenação do exercício deverá estar preparada para oferecer, nesta fase, subsídios técnicos para perguntas detalhadas sobre o quê e como poderão ser implementadas as ações. Os resultados esperados envolvem a seleção e definição de mecanismos e instrumentos para implementação das opções selecionadas, bem como a identificação de outros temas para aprofundamento e análise futura.

A figura 5 apresenta a expansão do modelo atualmente em uso pelo CGEE. A idéia central dessa abordagem é proporcionar flexibilidade ao planejamento das ações, tendo em vista o alto nível de incerteza associado aos ambientes complexos e hipercompetitivos da atualidade.

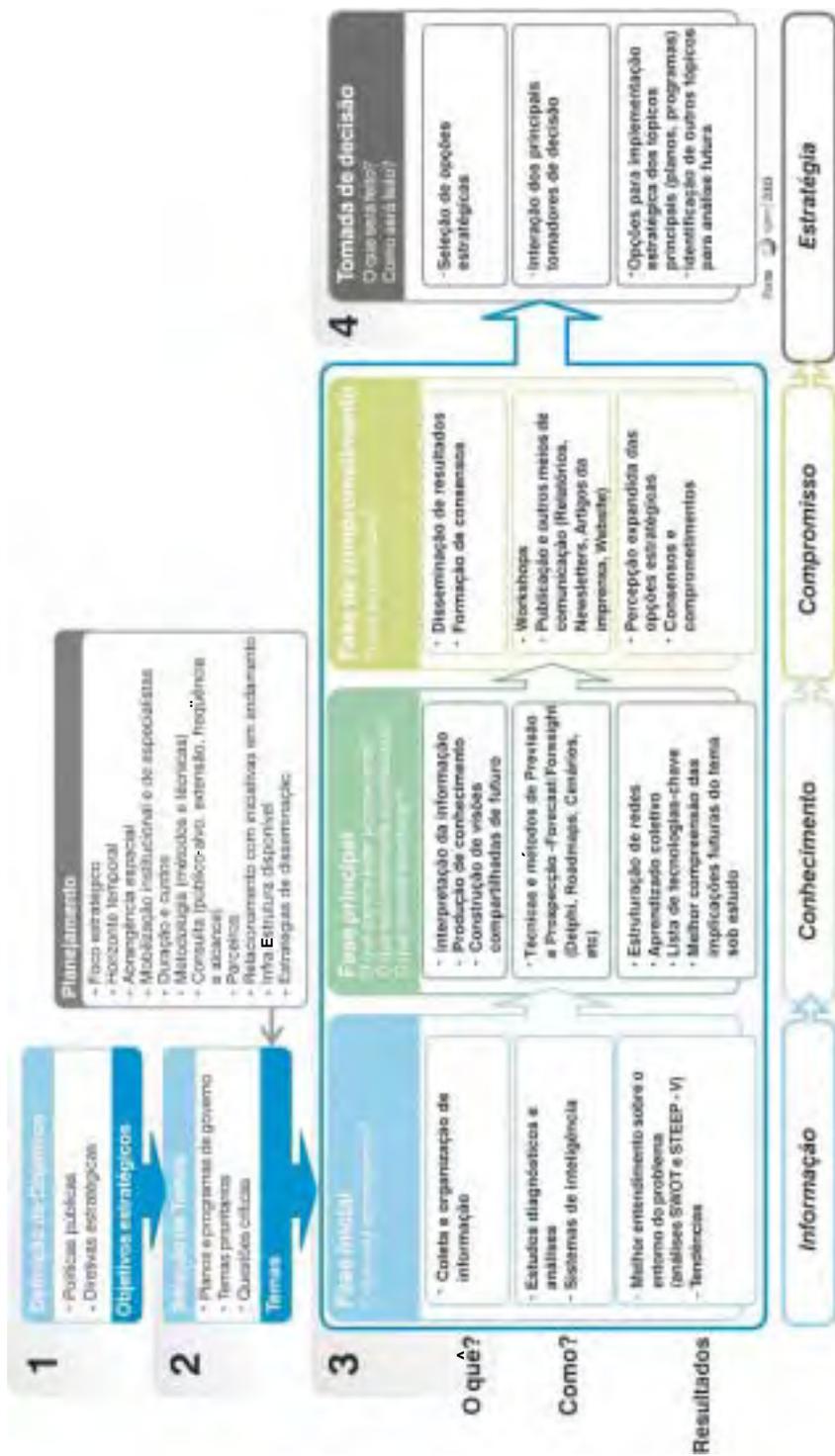


Figura 5 – Modelo expandido utilizado como referência para a condução de exercícios prospectivos coordenados pelo CGEE

## **OS CASOS DOS EXERCÍCIOS DE PROSPECÇÃO EM ENERGIA E RECURSOS HÍDRICOS, COORDENADOS PELO CGEE**

A abordagem metodológica apresentada acima foi empregada na condução de dois exercícios de prospecção em ciência, tecnologia e inovação, planejados para identificar um conjunto priorizado de tópicos tecnológicos, componentes de uma agenda de pesquisa e desenvolvimento capaz de fazer frente aos desafios futuros dos setores de energia e recursos hídricos do país. Os exercícios de prospecção em questão foram encomendados ao CGEE pelos Comitês Gestores dos Fundos de Energia (CT-Energ) e de Recursos Hídricos (CT-Hidro), sendo ambos financiados com recursos do FNDCT.

### **PROSPECÇÃO EM CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS**

Na montagem deste exercício foram consideradas questões estratégicas identificadas pelo CT-Hidro em relação à problemática do uso sustentável dos recursos hídricos, que apontavam para:

- a deterioração da água no meio urbano e a necessidade de desenvolvimento do conhecimento integrado voltado para a busca da sustentabilidade hídrica nesse meio, considerando que mais de 80% da população brasileira já se concentram nos centros urbanos;
- a necessidade de embasamento técnico para a gestão integrada dos recursos hídricos, em suporte às entidades estaduais e federais responsáveis pela regulação do uso da água no país;
- o risco climático de curto, médio e longo prazos associado à sustentabilidade do fornecimento de água para as populações, com a qualidade e na quantidade requeridas;
- a melhoria da capacitação técnica e científica no país, com ênfase na redução das desigualdades regionais;
- o desenvolvimento de empresas de produtos e serviços para dar suporte ao desenvolvimento tecnológico do país nessa área.

Assim, o planejamento deste exercício de prospecção foi orientado para o aprofundamento do papel da ciência, tecnologia e inovação em relação às questões estratégicas acima mencionadas, sendo estruturado de forma a priorizar estudos e análises em torno de seis áreas temáticas prioritárias, a saber: qualidade da água superficial; qualidade da água subterrânea; racionalização do uso da água no meio rural; produtos e equipamentos; saneamento; e, clima e recursos hídricos.

Do ponto de vista metodológico a abordagem desenhada foi do tipo “orientada a problemas”, aproximando-a dos chamados *roadmaps*<sup>6</sup> tecnológicos, ou seja, voltadas para identificar tópicos tecnológicos mais relevantes para solucionar ou mitigar problemas relacionados aos recursos hídricos no país, em um horizonte de dez anos.

A Fase Inicial deste exercício envolveu a realização de estudos para o diagnóstico da situação dos recursos hídricos no Brasil e no mundo em relação a estas seis áreas temáticas selecionadas, bem como resgatar as informações contidas na base de dados do Programa Prospectar em relação aos mesmos, atividades que foram conduzidas sob a orientação técnica e científica dos consultores Carlos Eduardo Morelli Tucci e Oscar de Moraes Cordeiro Neto e sob a supervisão geral de um grupo consultivo<sup>7</sup>.

Adicionalmente, seis estudos foram contratados para responder à pergunta ‘o que está acontecendo?’ em relação às seis áreas temáticas definidas. Tais estudos foram conduzidos sob a responsabilidade de um conjunto de 10 especialistas de renome internacional.

De posse dos estudos mencionados, deu-se início à Fase Principal, na qual foram conduzidos seis painéis de especialistas para que fosse possível

---

<sup>6</sup> *Roadmapping* pode ser definido como um método voltado ao planejamento tecnológico cooperativo, orientado à solução de problemas, o que inclui desde a identificação do produto que será objeto do estudo, aos requisitos críticos do sistema e suas metas, à especificação das áreas tecnológicas, às tecnologias alternativas, condicionantes e objetivos. (Garcia, M.L.; Bray, O.H., 2004. Disponível em <http://www.sandia.gov/roadmap/home.htm>. Acesso em: 28/01/2004.)

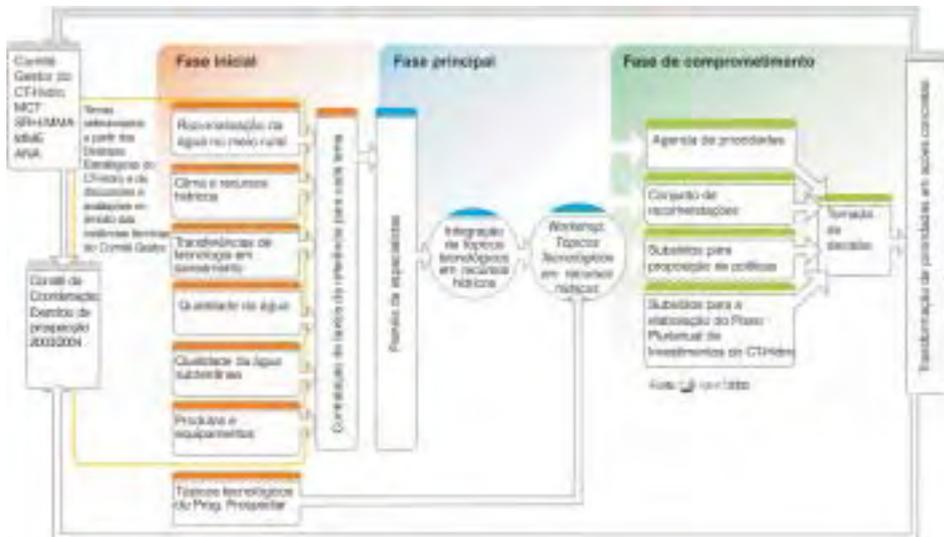
<sup>7</sup> Composição do Grupo Consultivo: Marcio de Miranda Santos (CGEE); Dalci Maria dos Santos (CGEE); José Galizia Tundisi (IIE); Oscar de Moraes Cordeiro Netto (UnB); Carlos Eduardo Morelli Tucci (IPH-UFRGS); Benedito Braga (ANA); Maria Manuela Martins Alves Moreira (SRH-MMA); Paulo Canedo de Magalhães (UFRJ-Finep); Mauro Zackiewicz (Unicamp); e Gilberto De Martino Jannuzzi (Unicamp).

responder às perguntas “o que parece estar acontecendo?”, “o que está realmente acontecendo?” e “o que deveria acontecer?”. A condução dos seis painéis ensejou um processo participativo e o envolvimento de 53 especialistas na área de recursos hídricos, oriundos de 29 instituições de pesquisa, órgãos governamentais e empresas do setor.

Ao longo dos debates, uma agenda de CT&I composta por 69 tópicos foi elaborada, de forma a possibilitar o emprego de um conjunto de critérios de priorização, com visão de futuro, em oficina de trabalho estruturada com este propósito, que contou com a participação de 31 especialistas do setor de recursos hídricos do Brasil.

Na Fase de Comprometimento, uma lista de 69 tópicos tecnológicos harmonizados e priorizados, foi apresentada em reunião com decisores ligados às agências de fomento do MCT (CNPq e Finep) e membros do Comitê Gestor do CT-Hidro para disseminação de resultados de forma a auxiliar o processo de seleção de áreas estratégicas para realização de investimentos em CT&I.

A Figura 6 resume a abordagem metodológica utilizada pelo CGEE na realização do exercício de prospecção em recursos hídricos.



**Figura 6** – Diagrama esquemático das ações conduzidas no âmbito da prospecção em ciência, tecnologia e inovação em recursos hídricos.

## RESULTADOS ALCANÇADOS

Dadas as expressivas interfaces existentes entre as seis áreas temáticas selecionadas, os tópicos foram agrupados, conforme descrito abaixo.

**Grupo I:** Tópicos de *Qualidade da Água Superficial*, *Qualidade da Água Subterrânea* e *Saneamento* (temas que guardam forte interface, uma vez que o objetivo primordial do saneamento é melhorar a qualidade da água efluente dos ambientes urbanos em direção aos sistemas hídricos superficiais e subterrâneos).

**Grupo II:** Tópicos de *Clima e Recursos Hídricos* e *Produtos e Equipamentos* (temas que, igualmente, possuem interações fortes, especialmente porque foi dada ênfase para o monitoramento hidrológico no tema *Produtos e Equipamentos*).

**Grupo III:** Tópicos de *Racionalização do uso da Água no Meio Rural*.

## PRIORIZAÇÃO DOS TÓPICOS

Com base na lista preliminar de tópicos e sua divisão por três grupos afins, pôde-se então realizar a avaliação da relevância de cada tópico mediante um conjunto de três critérios pré-definidos. Os critérios, abaixo descritos, foram avaliados por meio de um questionário utilizando uma escala qualitativa, em três níveis (baixa - média - alta) aplicado aos participantes do workshop.

**Adequação socioambiental:** medida dos impactos esperados a partir do desenvolvimento do tópico para a melhoria da qualidade de vida da população e das variáveis ambientais;

**Factibilidade técnico-científica:** medida da possibilidade de realizar rapidamente o desenvolvimento previsto dadas as competências nacionais e as dificuldades técnicas envolvidas;

**Atratividade de mercado:** medida do interesse que o mercado teria no tópico, considerando a viabilidade econômica das soluções depois de desenvolvidas.

Os resultados dessa avaliação foram analisados estatisticamente considerando a escala qualitativa e valores de referência (alto=3, médio=2, e baixo=1) de modo a garantir um ordenamento de tais tópicos conforme sua pontuação. Este ordenamento foi realizado levando-se em consideração a média aritmética dos valores médios obtidos pela pontuação individual dos três critérios, conforme avaliação feita pelos especialistas presentes no workshop.

As tabelas 1, 2 e 3 abaixo apresentam os tópicos tecnológicos por grupo, ordenados a partir de sua pontuação final.

**Tabela 1** - Grupo I – Qualidade da água superficial, qualidade da água subterrânea e saneamento

Tópicos	Agregado	Adequação socioambiental	Factibilidade técnico-científica	Atratividade de mercado
P&D em controle de perdas em sistemas de abastecimento de água	2,72	2,75	2,75	2,67
P&D em reuso da água	2,61	2,67	2,58	2,58
P&D de sistemas de informação de bacias hidrográficas, incluindo qualidade da água (integrados à sistemas mais abrangentes)	2,57	2,67	2,67	2,36
Pesquisa e avaliação de eutrofização e contaminação química e biológica e seu impacto na saúde pública em áreas urbanas e rurais e suas formas de tratamento	2,56	2,92	2,50	2,27
Aprimoramento de metodologias de avaliação de qualidade/quantidade de água em meios urbanos e riscos associados à saúde humana e à qualidade ambiental para fins de planejamento	2,56	3,00	2,50	2,17
Desenvolvimento de materiais para sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário e de drenagem urbana	2,55	2,25	2,50	2,91
P&D em técnicas de infiltração e armazenamento para compensação dos efeitos da urbanização no escoamento superficial	2,54	2,58	2,67	2,36
P&D em equipamentos para uso eficiente da água em habitações, indústrias e edificações diversas	2,53	2,58	2,58	2,42
P&D em técnicas de aproveitamento de água subterrânea em áreas de risco sanitário	2,49	2,75	2,50	2,22
Desenvolvimento de arranjos institucionais e de instrumentos de planejamento urbano e sua integração com o planejamento do saneamento ambiental com controle social	2,49	2,83	2,55	2,09
P&D de redes, métodos, padrões e índices para sistemas de monitoramento da qualidade da água subterrânea e superficial, incluindo bioindicadores, bioacumuladores e potenciais riscos à saúde humana adaptados às especificidades regionais	2,47	2,67	2,33	2,42
Desenvolvimento de instrumentos técnicos, legais e institucionais para a gestão de áreas de mananciais	2,45	2,83	2,42	2,10
P&D e avaliação de efetividade do desempenho de sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário, incluindo a disposição dos resíduos dos processos de tratamento	2,45	2,58	2,45	2,30
P&D em técnicas inovadoras de tratamento de esgotos sanitários em centros urbanos	2,42	2,58	2,42	2,27
P&D em hidrogeologia de aquíferos fraturados com vistas à otimização para localização de poços/captação e para a determinação de recarga	2,38	2,50	2,45	2,18
Desenvolvimento de sistemas de suporte à decisão em saneamento ambiental, incluindo águas subterrâneas	2,37	2,50	2,50	2,10
Metodologias de avaliação de impactos de espécies invasoras e de desenvolvimento de técnicas de controle	2,34	2,58	2,33	2,10
Avaliação da capacidade instalada de laboratórios de qualidade da água e desenvolvimento de procedimentos de integração (inter calibração e padronização)	2,34	2,42	2,50	2,09

P&D de tecnologias inovadoras para o monitoramento hidrológico e da qualidade de água no meio urbano	2,32	2,64	2,33	2,00
P&D em aproveitamento da água de chuva	2,31	2,42	2,67	1,83
Pesquisa e desenvolvimento de produtos químicos para o saneamento	2,28	1,92	2,42	2,50
Pesquisa e avaliação de comportamento de aquíferos costeiros, do Semi-árido e do Cerrado	2,26	2,42	2,36	2,00
P&D em gestão de aquíferos, com prioridade para os de grande exploração	2,26	2,45	2,20	2,11
Aperfeiçoamento de técnicas de saneamento ambiental em áreas especiais (rurais, indígenas e de urbanização precária)	2,25	2,67	2,36	1,73
P&D em instrumentos técnicos e indicadores para a gestão das águas	2,22	2,33	2,33	2,00
Avaliação da super-exploração de aquíferos (vazão total x recarga, recarga induzida e interferência entre captações) e fluxo de base em rios	2,22	2,50	2,25	1,91
Pesquisa e desenvolvimento em técnicas de tratamento de chorume	2,21	2,18	2,45	2,00
Desenvolvimento de instrumentos técnicos e institucionais para redução de poluição urbana difusa, incluindo resíduos sólidos urbanos	2,17	2,75	2,17	1,60
P&D em técnicas de valoração econômica de bens e serviços ambientais	2,11	2,25	2,33	1,75
P&D nas áreas de remediação de aquíferos e atenuação natural dos contaminantes	2,08	2,33	1,92	2,00
Pesquisa e avaliação sobre comportamento de contaminantes em meios saturado e não-saturado, com desenvolvimento de metodologias para avaliação de descontaminação	2,08	2,42	2,00	1,82
Avaliação de mudanças hídricas em aquíferos causadas pela urbanização	2,02	2,33	2,00	1,73
Desenvolvimento de métodos de mapeamento hidrogeológico em situação de baixa densidade de dados a partir de informes pontuais para abrangência regional	1,99	2,08	2,27	1,60
Pesquisa e avaliação em recargas induzida e artificial de aquíferos	1,98	2,08	2,17	1,70
Pesquisa e avaliação de características geoquímicas das águas subterrâneas (As, Cr, F, Fe, Mn, Ba)	1,92	2,08	2,08	1,58

Respondentes do questionário: 12 - tópicos por tema: saneamento: 12 tópicos; qualidade da água superficial: 3 tópicos; qualidade da água subterrânea: 20 tópicos - total de tópicos no grupo: 35 (escala utilizada: baixo=1; médio=2; alto=3)

**Tabela 2** - Grupo II: clima e recursos hídricos e produtos e equipamentos

Tópicos	Agregado	Adequação socioambiental	Factibilidade técnico-científica	Atratividade de mercado
Monitoramento de bacias hidrográficas, em diferentes escalas espaciais e temporais, das variáveis hidroclimáticas e ambientais representativas dos biomas nacionais	2,62	2,73	2,73	2,40
Desenvolvimento de sistemas para transmissão de dados adequados à realidade nacional	2,58	2,73	2,45	2,55
Projetos piloto para aumento da produtividade e da qualidade das informações produzidas por redes de monitoramento e disseminação do uso	2,57	2,80	2,80	2,11
Integração de dados hidroclimáticos e ambientais de diferentes sistemas de aquisição em sistemas de informação georeferenciados de acesso público	2,49	2,82	2,55	2,10
Avaliação dos efeitos da alteração hidrometeorológica em ambientes urbanos	2,45	2,82	2,55	2,00
Desenvolvimento de sensores, instrumentos e sistemas para monitoramento hidrometeorológico, sedimentológico e qualidade de água para atender mercados que viabilizem a industrialização local	2,41	2,18	2,45	2,60
Previsão e predição da variabilidade climática natural e antrópica sobre os sistemas hídricos e seus efeitos no desenvolvimento econômico e social, incluindo potenciais medidas de mitigação	2,39	2,91	2,27	2,00
Desenvolvimento e aprimoramento do conhecimento da inter-relação entre as variáveis ambientais e as hidrológicas, para o prognóstico de impactos antrópicos e climáticos	2,33	2,73	2,27	2,00
Desenvolvimento de normas para projeto de itens de infra-estrutura (ex. bóias e torres submersas) e normas para procedimentos e padrões ligados à medição (ex. transmissão de dados e procedimentos de calibração)	2,28	2,00	2,55	2,30
Desenvolvimento do conhecimento dos processos hidroclimáticos em diferentes escalas temporais e espaciais	2,20	2,55	2,55	1,50
Desenvolvimento de métodos para tratamento das séries não estacionárias visando o planejamento do desenvolvimento sócio-econômico	2,14	2,36	2,36	1,70
Desenvolvimento de sistemas de informação para melhoria da consistência e da assimilação de grandes massas de dados climáticos e hidrológicos, através do desenvolvimento de novos modelos	2,08	2,20	2,45	1,60
Desenvolvimento de novos sistemas e métodos de medição tais como vazão por radar e evapotranspiração	2,06	2,00	2,09	2,10
Desenvolvimento e aprimoramento de métodos para estimar a evapotranspiração nas condições de clima tropical	2,05	2,09	2,36	1,70
Ampliação das observações da camada superior do Atlântico Sul que permitam melhorar a estimativa de modelos climáticos	2,02	2,36	2,00	1,70

Respondentes do questionário: 11 participantes - tópicos por tema: clima e recursos hídricos: 9 tópicos; produtos e equipamentos: 6 tópicos - total de tópicos no grupo: 15 (escala: baixo=1; médio=2; alto=3)

**Tabela 3** - Grupo III – Racionalização do uso da água no meio rural

Tópicos	Agregado	Adequação socioambiental	Factibilidade técnico-científica	Atratividade de mercado
Desenvolvimento e aperfeiçoamento de tecnologias de irrigação e métodos de certificação, para o aumento das eficiências técnica e econômica para o uso da água	2,56	2,50	2,50	2,67
Desenvolvimento de sistemas de plantio direto para recuperação de pastagens degradadas com vistas à conservação dos recursos hídricos	2,44	2,50	2,33	2,50
Desenvolvimento de técnicas alternativas de armazenamento, conservação e manejo da água para a regularização da disponibilidade hídrica	2,39	2,50	2,67	2,00
Zoneamento agroecológico em escala regional	2,33	2,33	2,83	1,83
Previsão climática e da disponibilidade hídrica como subsídio para a avaliação de risco e seguro agrícola	2,33	2,50	2,17	2,33
Técnicas de captação e armazenamento de água “in situ”, em pequenas propriedades do semi-árido	2,33	2,83	2,33	1,83
Estabelecimento de necessidades hídricas de culturas irrigadas	2,33	2,33	2,50	2,17
Técnicas alternativas de manejo e conservação do solo que promovam o aumento da infiltração da água	2,33	2,50	2,67	1,83
Desenvolvimento e adaptação de cultivares eficientes no uso da água, com ênfase para ambientes com deficiência hídrica	2,28	1,83	2,33	2,67
Sistemas de suporte à decisão para o aumento das eficiências técnica e econômica do uso da água no meio rural	2,28	2,00	2,50	2,33
Alternativas de manejo da água em lavouras de arroz irrigado por inundações	2,28	2,33	2,17	2,33
Tratamento e reuso de efluentes da produção agropecuária e avaliação do seu impacto na bacia hidrográfica	2,17	2,50	1,83	2,17
Instrumentos econômicos, legais e gerenciais promotores do uso eficiente da água no meio rural	2,17	2,33	2,17	2,00
Estabelecimento das relações água e sistemas agro-silvo-pastoris, como elemento para a gestão da água	2,11	2,33	2,50	1,50
Tratamento e reuso de águas residuárias urbanas e industriais na agropecuária	2,11	2,50	1,83	2,00
Sistemas de caracterização, monitoramento e gestão de riscos (hidrológicos, econômicos, ambientais e gerenciais)	2,11	2,33	1,83	2,17
Processos de dessalinização de águas no semi-árido nordestino, e disposição e aproveitamento de resíduos	2,06	2,17	2,00	2,00
Metodologias para monitoramento e avaliação dos impactos de sistemas e práticas agrícolas na quantidade e qualidade de água, em nível de bacias hidrográficas	2,00	2,33	2,17	1,50
Desenvolvimento de metodologias e instrumentos para o monitoramento e avaliação de sistemas agrícolas irrigados	1,89	2,00	2,33	1,33

Respondentes do questionário: 6 participantes - tópicos por classificação?  
 : demanda por água na atividade de irrigação: 6 tópicos; oferta de água na irrigação: 5 tópicos; qualidade da água na irrigação: 3 tópicos; gestão: 5 tópicos  
 - total de tópicos no grupo: 19 (escala: baixo=1; médio=2; alto=3)

Os resultados completos deste exercício podem ser acessados em: <http://www.cgee.org.br/prospeccao/>.

## **PROSPECÇÃO EM CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO EM ENERGIA**

De forma análoga ao descrito para o exercício de recursos hídricos, o exercício de prospecção em energia teve como principal objetivo gerar subsídios técnicos para a montagem de uma agenda de pesquisa e desenvolvimento em energia, considerando o sistema energético como um todo e as várias formas de energia primária e suas conversões e usos finais. Na sua estruturação, foram consideradas algumas premissas e orientações gerais relacionadas com a matriz energética nacional, oriundas do CT-Energ ou constantes de documentos setoriais consultados, conforme apresentado abaixo:

- a participação da hidroeletricidade na matriz energética nacional é significativamente maior no Brasil do que na grande maioria dos países e deverá continuar a ser a mais importante fonte de eletricidade no país nas próximas décadas;
- a produção de petróleo nacional deverá atingir níveis de auto-suficiência nos próximos anos, sendo resultante de significativos investimentos em P&D, prospecção e exploração;
- o gás natural representa cerca de 3% da energia primária produzida no país, em torno de 10 vezes menor que o petróleo. As diretrizes da política energética nacional estabelecem que esse combustível deverá responder por 12% da energia primária em 2010;
- o carvão mineral é o combustível fóssil mais abundante no país, mas apresenta dificuldades para competir com outras energias alternativas seja para geração de eletricidade ou para outros fins térmicos, devido a sua baixa qualidade;
- o carvão vegetal tem sido um componente importante da matriz energética nacional, sendo grande parte de seu consumo realizado na indústria de ferro e aço;

- a energia nuclear defende uma proposta de desenvolver, até 2010, os conceitos de sistemas nucleoeletrônicos mais promissores e mapear as tecnologias mais relevantes e viáveis para o país;
- os usos de biomassa para fins de geração de energia são estratégicos para o país, especialmente para usos finais com maior conteúdo tecnológico como geração de eletricidade, produção de vapor e combustíveis para transporte;
- a produção de biogás, com formação e adaptação adequada de aterros sanitários está sendo promovida, em larga escala, inclusive para evitar a emissão de metano (estimada hoje em 20-60 milhões t/ano, no mundo);
- o etanol da cana-de-açúcar representa um caso de sucesso tecnológico para o país. A indústria da cana mantém o maior sistema de energia comercial de biomassa no mundo por meio da produção de etanol e do uso quase total de bagaço para geração de eletricidade;
- a tecnologia de produção de metanol a partir de biomassa evoluiu muito nos últimos anos, apresentando maior eficiência de conversão e menores custos, mas o conceito de integração completa da gaseificação, limpeza do gás e síntese do metanol não é ainda comercial;
- o uso de óleos vegetais em motores diesel (biodiesel) tem sido testado desde o surgimento desse tipo de motor no século 19. Atualmente, a iniciativa de elaboração do programa Probiodiesel pelo MCT prevê o desenvolvimento tecnológico em especificações técnicas, qualidade e aspectos legais, viabilidade socioambiental, competitividade técnica e viabilidade econômica;
- a geração de energia por meio da conversão fotovoltaica tem sido preferível à alternativa via térmica. A sua modularidade, favorecendo sistemas distribuídos, já demonstra aplicações importantes para regiões isoladas e poderá ser crescentemente importante para aplicações de maior porte, em 10-20 anos, interconectadas à rede elétrica;
- a energia solar termelétrica, embora não tenha apresentado grandes aplicações, merece atenção e seu conhecimento deve estar sempre atualizado, sobretudo em tecnologias mais promissoras e em início de operação na Europa e nos Estados Unidos;

- o uso de energia solar para aquecimento a baixas temperaturas é feito com tecnologias comerciais em todo o mundo, especialmente para o aquecimento de água. É também utilizado para processos de secagem e refrigeração (sistemas de absorção);
- a energia eólica apresenta um panorama bastante diferente da energia solar, já possui maturidade tecnológica e escala de produção industrial. Hoje, essa tecnologia está para se tornar economicamente viável para competir com as fontes tradicionais de geração de eletricidade, além de existir um grande potencial eólico a ser explorado em diversos países;
- as áreas de transmissão e distribuição de energia elétrica indicam uma tendência de aumento na complexidade do gerenciamento, principalmente como resultado do avanço das demandas de “economia digital” (qualidade, confiabilidade e precisão), da entrada em larga escala de geração distribuída “moderna” e autogeração e saturação dos sistemas de transmissão e distribuição existentes;
- a implementação de “novos sistemas” permanece de certa forma atrasada em parte por falta de definição dos papéis dos setores público/privado e dono/operador e, além disso, há o agravante de o país ser fortemente dependente dos avanços tecnológicos do exterior;
- as tecnologias para armazenamento de energia estão merecendo interesse crescente. Começam a surgir “nichos” de mercado para várias escalas de armazenamento decorrentes da desregulamentação do setor de eletricidade, como por exemplo, sistemas de armazenamento para larga escala, deslocando carga diurna através de bombeamento de água ou ar comprimido;
- o uso do hidrogênio como vetor energético é crescentemente estudado e existe um razoável consenso sobre suas vantagens em sistemas de energia do futuro. A visão é de uma grande complementaridade entre o sistema elétrico e hidrogênio, mas ainda é difícil prever as formas de transporte e armazenamento a serem adotadas. Isso implica em desenvolver sistemas competitivos, capazes de produzir hidrogênio em escalas compatíveis com as opções de geração de energia elétrica no futuro;

- a tecnologia de células a combustível tem despertado muito interesse recentemente e recebido grandes investimentos internacionais, tanto para aplicações móveis como estacionárias. O Brasil já possui um plano de P&D específico para essa área, o Programa Brasileiro de Células a Combustível, que identifica grupos de pesquisas e sugere um trabalho em rede;
- o setor de usos finais de energia apresenta grande diversidade tecnológica e grande potencial de introdução de alternativas e modificações. Incluem-se nesse setor as modificações no comportamento dos usuários de energia (ou instituições), implantação de melhores sistemas de gestão de energia, além de desenvolvimento e difusão de tecnologias mais eficientes. O Brasil ainda não possui uma estimativa do potencial econômico de introdução de tecnologias eficientes;
- o meio ambiente representa uma questão de central importância para direcionar o desenvolvimento tecnológico do setor de energia, seja no país, como internacionalmente. Áreas como o gerenciamento de riscos, atendimento de acidentes ambientais e recuperação de passivos ambientais, deverão concentrar atividades de P&D.

Foram, ainda, incorporados a este exercício, os resultados e lições aprendidas na condução da atividade de prospecção em “Células a Combustível”, coordenada pelo CGEE em 2002, que deu origem ao “Programa Brasileiro de Células a Combustível”<sup>8</sup>, lançado oficialmente pelo Ministério da Ciência e Tecnologia neste mesmo ano.

A partir destas premissas e estudos consultados, buscou-se estimular, neste exercício, uma reflexão de longo prazo sobre a questão energética

---

<sup>8</sup> O Programa Brasileiro de Células a Combustível, criado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), em 2002, visa promover ações integradas e cooperadas que viabilizem o desenvolvimento nacional da tecnologia de sistemas CaC (células a combustível). Visa a produção de energia elétrica com tecnologia limpa e eficiente, aplicada também para sistemas auxiliares e de propulsão: aplicações automotivas, embarcações, aeronaves, entre outras. Pretende ainda apoiar o estabelecimento de uma indústria nacional para produção e fornecimento de sistemas energéticos de célula a combustível que inclua a produção de células, de reformadores, de integradores de sistemas e fornecedores de serviços. (Ver mais em <http://www.mct.gov.br/programas/>)

brasileira e contribuir para a institucionalização da atividade de prospecção e ampliação dos canais de diálogo e de reflexão no sistema de CT&I associado a este setor. Sua condução envolveu a participação de 204 especialistas na área de energia, planejamento e prospecção tecnológica, oriundos de 105 instituições de pesquisa, empresas do setor e instâncias governamentais.

Desde o início dos trabalhos deste exercício, o CGEE contou com a orientação técnica e científica dos Drs. Gilberto de Martino Jannuzzi e Isaías de Carvalho Macedo, bem como com o apoio de um Grupo Consultivo<sup>9</sup> para a orientação geral dos trabalhos a serem conduzidos, do qual participaram representantes da academia, governo e setor privado.

A Fase Inicial deste exercício, conduzida em etapas metodológicas realizadas ainda no ano de 2002, buscou identificar, de forma participativa, tendências tecnológicas para o setor de energia, explicitadas na forma de um conjunto de tópicos tecnológicos. Os resultados desta fase encontram-se no documento “Estado da arte e tendências das tecnologias para energia”<sup>10</sup> que pode ser acessado em [www.cgee.org.br/prospeccao/](http://www.cgee.org.br/prospeccao/).

A Fase Principal deste exercício envolveu uma análise detalhada dos tópicos tecnológicos identificados na fase anterior, tarefa que foi conduzida na sua maior parte pelos especialistas membros do Grupo Consultivo e pela realização

---

<sup>9</sup> Participaram no grupo consultivo deste exercício, nas duas etapas, os seguintes especialistas: Em 2002: Agostinho Ferreira, Dalci Maria dos Santos (CGEE); Gilberto De Martino Jannuzzi (Unicamp); Hélio Guedes de Campos Barros (MCT); Isaías de Carvalho Macedo (Unicamp); Marcio de Miranda Santos (CGEE); Marcos José Marques (Inee); Maria Aparecida Stallivieri Neves (Projeto Tendências); Mauro ZaKiewicz (Unicamp); Wellington dos Santos Mota (UFPB). Em 2003: Carlos Eduardo Morelli Tucci (UFRGS); Dalci Maria dos Santos (CGEE); Gilberto De Martino Jannuzzi (Unicamp); Isaías de Carvalho Macedo (Unicamp); Marcelo Khaled Poppe (MME); Marcio de Miranda Santos (CGEE); Marcos José Marques (Inee); Maria Aparecida Stallivieri Neves (Finep); Mauro Zackiewicz (Unicamp); Nelson Fontes Siffert Filho (BNDES).

<sup>10</sup> O documento “Estado da arte e tendências das tecnologias para energia” busca mostrar, de forma abrangente, oportunidades para P&D em energia, vistas hoje para os próximos 20-30 anos. Apresenta uma base de informações sobre tecnologias para o suprimento de energia elétrica; para o suprimento de combustíveis; tecnologias de interface e complementares e envolve o estágio atual das tecnologias e ações importantes e necessárias para o seu desenvolvimento. (Ver mais em <http://www.cgee.gov.br/prospeccao/>)

e interpretação dos resultados de uma consulta Delphi<sup>11</sup> a 73 especialistas em energia, das comunidades acadêmica, governamental e empresarial.

Esta fase compreendeu, de forma muito resumida, a harmonização dos tópicos tecnológicos identificados na Fase Inicial e sua alocação dentro da cadeia de energia, a definição de critérios e métricas para a realização da consulta Delphi e para a aplicação do método multicritérios<sup>12</sup> de tomada de decisão, todas atividades realizadas em finais de 2003 e início de 2004.

A Fase de Comprometimento envolveu a realização de uma reunião que contou com a participação de acadêmicos, governantes e empresários, oportunidade em que os resultados alcançados foram apresentados e discutidos com vistas a fortalecer consensos e o comprometimento em torno das questões mais relevantes identificadas.

A figura 7 apresenta esquematicamente as ações deste exercício de prospecção em energia desenvolvidas ao longo de 2002 e 2003.

---

<sup>11</sup> A técnica Delphi, desenvolvida na década de 50, pela Rand Corporation (EUA), objetiva a obtenção de consensos através da exploração coletiva dos membros de um grupo em um processo iterativo, utilizando normalmente questionários em 2 a 3 rodadas de questões, até que as questões do tema sob estudo apresentem alguma evidência em consensos e dissensos. A base envolve um questionário que é elaborado por um conjunto de especialistas, em um rigoroso planejamento, sendo então enviado a participantes selecionados. Em rodadas subseqüentes do questionário, os especialistas respondentes têm a oportunidade de rever suas opiniões, à luz das respostas anteriores, fornecendo, se for o caso, um novo julgamento, então revisado. É importante destacar que não existem fórmulas prontas para se executar um bom exercício de Delphi. A prática tem mostrado que é essencial uma boa amostra de especialistas, cuidadosamente elaborada, um grupo de coordenação com boa capacitação e entendimento do assunto tratado, mas com postura de máxima neutralidade; e a qualidade e precisão do questionário inicial são fundamentais, sem isso o processo pode se desviar de seus objetivos, prolongar-se demasiadamente e/ou sofrer evasão de participantes. (Zackiewicz & Salles-Filho, 2001)

<sup>12</sup> O método multicritérios de apoio à decisão utilizado neste exercício (Electre III – *Élimination Et Choix Traduisant la Réalité* - versão simplificada) é uma ferramenta (*software*) que compara o desempenho das alternativas para cada critério separadamente e gera uma hierarquia que sintetiza o resultado final, ordenando as alternativas no sentido da melhor para a pior.



**Figura 7** - Diagrama esquemático das ações conduzidas no âmbito da prospecção em ciência, tecnologia e inovação em energia

### ASPECTOS METODOLÓGICOS RELEVANTES DA FASE PRINCIPAL

A consulta Delphi foi realizada em duas rodadas, por meio da aplicação de questionário eletrônico disponibilizado na Internet para os três grupos de especialistas selecionados. Os 63 tópicos tecnológicos objeto da consulta Delphi foram subdivididos em três grupos, conforme mencionado abaixo:

- Tecnologias para geração de energia elétrica: 30 tópicos
- Tecnologias para suprimento de combustíveis (transporte e calor): 16 tópicos
- Tecnologias de transmissão e distribuição, geração distribuída e armazenamento, planejamento, conservação e uso final: 17 tópicos

Para efeito da aplicação do método multicritérios, os resultados da consulta Delphi foram tratados estatisticamente e organizados de forma a possibilitar a aplicação conjunta de 17 critérios, obtidos a partir de um rearranjo das 22 questões do questionário Delphi, conforme mostrado na tabela 4, que apresenta a relação das dimensões com os critérios e as questões do questionário. Dois critérios foram considerados invariantes.

**Tabela 4** – Relação entre critérios e questões do Delphi

Dimensões	Critérios	Questões
Técnico-Econômica	C.1	<i>Q02- Custos finais</i>
	C.2	<i>Q03- Impactos balança comercial</i>
	C.3	<i>Q04a,b - Riscos</i>
	C.4	<i>Q05- Prazo para implementação</i>
	C.5	<i>Q06a,c - Capacitação existente</i>
Estratégica	C.6	<i>Q06b,d - Capacitação conseqüente</i>
	C.7	<i>Q07- Transbordo</i>
	C.8	<i>Q09a- Qualidade</i>
Ambiental	C.9	<i>Q10- Impactos no clima global</i>
	C.10	<i>Q11- Impactos nos recursos naturais</i>
	C.11	<i>Q12- Impactos no ambiente local</i>
Social	C.12	<i>Q13- Impactos no emprego</i>
	C.13	<i>Q14a,b,c,d Impactos no desenvolvimento de regiões</i>
	C.14	<i>Q14a,b,c,d (2) Impactos no desenvolvimento</i>
	C.15	<i>Q15- Impactos na universalização</i>
Invariantes	C.16	<i>Q09b- Segurança</i>
	C.17	<i>Q08- Impactos na geração e eficiência</i>

Adicionalmente, a análise multicritérios levou em consideração três visões de futuro hipotéticas desenvolvidas pelos membros do Grupo Consultivo, baseadas em experiências similares de estudos prospectivos em energia conduzidos no Reino Unido<sup>13</sup> e em consultas a especialistas do setor, a saber: 1) escolha individual; 2) equilíbrio ecológico; e 3) igualdade social.

A importância relativa dos critérios para cada visão foi discutida no Grupo Consultivo, de forma a possibilitar a geração de três listas priorizadas de tópicos, a partir dos resultados da consulta Delphi e das três visões de futuro utilizadas neste exercício.

Uma vez obtidas estas três listas de tópicos, hierarquizados de acordo com os resultados da consulta Delphi e a importância relativa das três visões, deu-se início a uma análise de robustez das hierarquias assim obtidas, de forma a identificar tópicos tecnológicos que se mantivessem sempre bem colocados a partir de simulações arbitrárias definidas pela coordenação do exercício. Estes procedimentos permitiriam, ainda, a identificação daqueles tópicos que

<sup>13</sup> O procedimento adotado neste exercício prospectivo foi similar àquele adotado pelo European Commission Research DG (Energy Programme). Ver sobre o programa em [http://europa.eu.int/comm/energy/index\\_en.html](http://europa.eu.int/comm/energy/index_en.html).

apresentam grande sensibilidade a variações impostas nas simulações realizadas (visões e especialidade), alterando, portanto, de forma mais significativa sua classificação nas hierarquias obtidas.

Estas simulações foram realizadas atribuindo-se importâncias relativas distintas para os 17 critérios (exagerando-se as visões de futuro) e valorizando-se as respostas obtidas segundo o grau de especialidade, conforme declarado pelo respondente.

A primeira simulação realizada na análise de robustez foi obtida pelo reordenamento dos tópicos a partir de uma pontuação gerada pela soma dos seus posicionamentos nas três hierarquias originais. Assim, os tópicos melhor colocados nas três hierarquias, continuaram bem colocados nesta simulação, o mesmo não ocorrendo com tópicos que apresentaram maiores variações de posicionamento nas três hierarquias ou que estiveram mal colocados em todas elas. Esta simulação foi denominada “Síntese B”.

Uma segunda simulação consistiu na obtenção de três novas hierarquias obtidas pela alteração drástica da importância de cada visão, de modo a enfatizar, em cada uma das três hierarquias obtidas, uma das três visões utilizadas neste exercício. Assim, nessa hierarquia chamada “visão ambiental extremada” a importância relativa dos critérios associados à visão “equilíbrio ecológico” foi enfatizada em relação aos critérios associados às outras duas visões (escolha individual e equidade social). Após a obtenção dessas três hierarquias, uma nova síntese foi obtida de forma similar ao caso anterior (B), sendo denominada “Síntese E”.

Uma terceira simulação foi realizada então para avaliar o efeito do grau de especialidade dos respondentes na hierarquização dos tópicos. Para este fim, as respostas obtidas da consulta Delphi foram recalculadas atribuindo-se importância relativa maior para os respondentes que se declararam peritos ou conhecedores para cada um dos 63 tópicos, objeto da consulta. Nesta simulação, as respostas para os tópicos tecnológicos respondidos por peritos ou conhecedores foram contadas duplamente, o que deu origem a três novas hierarquias, mantendo-se a mesma importância relativa das visões empregadas na primeira simulação. Novamente, após a geração destas três novas hierarquias obteve-se uma síntese denominada “Síntese P”, pelo mesmo processo utilizado na produção das sínteses anteriores (B e E).

De forma a enfatizar ainda mais o efeito das respostas obtidas de peritos e conhecedores, na análise de robustez dos tópicos analisados, uma nova simulação, a partir de nova recontagem dos resultados da consulta Delphi foi realizada, contando-se, para cada tópico tecnológico, uma vez os valores das respostas de não-familiarizados, duas vezes os valores de familiarizados, três vezes os valores de conhecedores e quatro vezes os valores das respostas obtidas de peritos. Outra vez, foram obtidas três novas hierarquias e uma síntese, esta última denominada “Síntese P2”.

Finalmente, foi realizada uma última simulação, que consistiu de uma síntese geral (Super-Síntese) obtida pela soma dos valores dos posicionamentos dos tópicos tecnológicos em cada uma das hierarquias-síntese obtidas (B, E, P e P2).

## **RESULTADOS ALCANÇADOS**

O relatório sobre o “Estado da arte e tendências tecnológicas para energia”, resultado parcial do estudo, apresentou, de forma abrangente, as oportunidades para P&D em energia, por meio de consultas aos estudos referentes aos principais cenários e tendências internacionais identificados para o setor nesse horizonte temporal.

Este relatório envolveu um amplo mapeamento sobre as tecnologias energéticas no mundo (geração, conversão, transmissão e armazenamento); o estágio atual (uso, desenvolvimento, custos, limitações); a evolução prevista para os próximos 20-30 anos; e o estágio atual no Brasil (especificidades e potenciais, uso, custos e nível de desenvolvimento).

O principal insumo obtido deste primeiro estudo foi a identificação de 63 tópicos tecnológicos considerados relevantes para o setor de energia, tópicos estes consolidados por meio de debates envolvendo o Grupo Consultivo e outros especialistas do setor.

Outro resultado altamente relevante é a massa de dados (bruta) gerada a partir da consulta Delphi a especialistas da cadeia de energia. De posse destes dados, a coordenação do exercício dispunha dos elementos necessários para a realização de diversas análises e simulações, com o uso de diferentes

métodos e técnicas, conforme os interesses e as questões que se desejava responder. Neste caso, optou-se pelo tratamento dos dados obtidos com o emprego do método multicritérios para apoio à decisão, de modo a possibilitar o ordenamento dos tópicos de acordo com critérios definidos pelo Grupo Consultivo. A aplicação deste método permitiu a constatação de que alguns grupos de tecnologias aparecem como prioritários e variam pouco nas simulações efetuadas, enquanto outros apresentam grandes variações.

A partir da metodologia aqui definida para o tratamento dessa massa de dados, conforme explicitado acima, foram obtidas listas hierarquizadas de tópicos tecnológicos, geradas por meio das simulações realizadas que possibilitaram a análise de robustez dos mesmos e permitiram a identificação de sete tópicos tecnológicos que sempre aparecem nas dez primeiras colocações nas hierarquias de tópicos obtidas, denominados “tópicos tecnológicos robustos”, conforme mostrados na tabela 5 abaixo:

**Tabela 5** - Tópicos tecnológicos robustos obtidos pela aplicação do método multicritérios e resultado das simulações feitas com os dados da consulta Delphi

<b>Nº. de ordem na lista geral</b>	<b>Tópicos tecnológicos robustos</b>
62	Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos de uso industrial
43	Desenvolvimento e implementação de tecnologias de transesterificação com etanol e metanol de óleos vegetais para utilização como biodiesel
61	Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas utilizados nos setores de comércio e de serviços
63	Desenvolvimento de modelos de planejamento integrado
41	Etanol da cana-de-açúcar: melhoramento genético (inclusive transgênicos), novas tecnologias para a produção da cana e no processamento industrial
51	Desenvolvimento de sistemas elétricos isolados
18	Tecnologias de recuperação e pré-processamento de resíduos para culturas de grandes volumes: cana, madeira, arroz, milho, soja, etc

Deve-se ainda observar, que nenhum planejamento deverá considerar apenas os tópicos tecnológicos “mais robustos”, dado que esses foram obtidos por meio de simulações arbitradas pelos especialistas setoriais consultados, dirigidas por critérios, visões e métricas que podem variar se outros interlocutores ou variáveis forem envolvidos.

Ressalta-se que subconjuntos desses conjuntos de tecnologias devem co-existir em qualquer planejamento, sendo importante, portanto, considerar como ficaram as prioridades “internas” em cada grupo. Ressalta-se que estas listas de tecnologias também estão sujeitas a variações, devido ao uso de diferentes ponderações para os critérios em cada visão do futuro e ao peso dado ao grau de especialização dos respondentes.

Utilizando a síntese **B** e separando os tópicos por grupo, pode-se obter as dez prioridades em cada grupo, conforme apresentado nas tabelas 6, 7 e 8 a seguir.

**Tabela 6** - Grupo 1 - Tecnologias para geração de eletricidade

<b>Nº. de ordem na lista geral</b>	<b>Tópicos tecnológicos</b>
18	Tecnologias de recuperação e pré-processamento de resíduos para culturas de grandes volumes: cana, madeira, arroz, milho, soja, etc.
12	Modelos de gestão de reservatórios das hidrelétricas, com uso múltiplo da água
13	Metodologias e instrumentação para previsão e prognóstico de afluências
17	Tecnologias de produção agrícola e melhoramento genético de biomassa energética: cana-de-açúcar, madeira, dendê etc.
01	Tecnologias de microturbinas a gás (< 10kW)
14	Ferramentas (instrumentação e softwares) para inventário e monitoramento de bacias hidrográficas
15	Tecnologias para repotenciação de centrais hidrelétricas pequenas e médias
19	Tecnologias de combustão avançadas de biomassa e resíduos
02	Tecnologias para turbinas a gás de média potência (até 100 MW)
16	PCH: tecnologia de turbinas para baixas quedas e hidrocínéticas, geradores com rotação variável, controles de carga/frequência

**Tabela 7** - Grupo 2 - Tecnologias para suprimento de combustíveis (transporte e calor)

<b>Nº. de ordem na lista geral</b>	<b>Tópicos tecnológicos</b>
43	Desenvolvimento e implementação de tecnologias de transesterificação com etanol e metanol de óleos vegetais para utilização como biodiesel
41	Etanol da cana-de-açúcar: melhoramento genético (inclusive transgênicos), novas tecnologias para a produção da cana e no processamento industrial
37	Tecnologias de uso do gás natural para substituição de óleo combustível
32	Tecnologia para produção de óleo em águas profundas: árvore de natal molhada, sistemas de produção flutuante, árvore de natal na superfície
42	Etanol de hidrólise de ligno-celulósicos: tecnologias para hidrólise/fermentação via enzimática, ácida ou com solvente orgânico
34	Tecnologias de refino de óleos pesados
46	Desenvolvimento de coletores solares: materiais, manufatura e automação
33	Tecnologias de recuperação avançada de petróleo
38	Tecnologias de controle da poluição e de segurança na indústria de petróleo (produção, refino, distribuição, uso)
45	Lixo urbano: domínio no país das tecnologias de incineração, biogás de aterros e compostagem sólida

**Tabela 8** - Grupo 3 - Tecnologias de transmissão e distribuição, geração distribuída e armazenamento, planejamento, conservação e uso final

<b>Nº. de ordem na lista geral</b>	<b>Tópicos tecnológicos</b>
62	Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos de uso industrial
61	Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas utilizados nos setores de comércio e de serviços
63	Desenvolvimento de modelos de planejamento integrado
53	Tecnologias de células a combustível (PEM, óxido sólido, PEM-etanol), e dos sistemas auxiliares (reformadores, controles); integração à rede
51	Desenvolvimento de sistemas isolados
57	Melhorias nas tecnologias de produção de hidrogênio
59	Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas de uso doméstico
48	Automação, supervisão e controle de transmissão e distribuição
60	Tecnologias para redução de consumo energético a partir da melhor adequação de projetos de construção civil
58	Tecnologias de armazenamento de energia e distribuição, melhoria da eficiência e segurança

A partir das tabelas apresentadas, pode-se concluir que foi possível identificar a existência de um conjunto de tópicos tecnológicos que foram sempre bem avaliados e que permaneceram em posições de alta prioridade mesmo com fortes diferenças de ênfase em relação às três distintas visões de futuro. Esse conjunto “robusto” de tópicos tecnológicos indica a existência de um alto consenso entre os respondentes do Delphi, além de apontar para oportunidades para novos investimentos em P&D de interesse para o setor de energia.

Os resultados completos obtidos pelo CGEE na condução deste exercício de prospecção podem ser acessados na página: <http://www.cgge.org.br/prospeccao/>.

## **CONCLUSÕES**

O exercício sistemático de produzir visões de futuro em ciência e tecnologia, de antecipar oportunidades emergentes e potenciais ameaças, indicar tendências e prioridades é fundamental para o sucesso do processo de inovação e requer permanente vigilância e percepção aguçada para captar os indícios que permitam antecipar desenvolvimentos que possam impactar o futuro da nação.

A eficiência e eficácia das diferentes técnicas e métodos existentes para se explorar o futuro da ciência e da tecnologia, bem como a ênfase em abordagens participativas, são aspectos a serem sempre considerados na estruturação de estudos desta natureza.

Neste sentido, é importante chamar a atenção para alguns aspectos críticos para que os resultados possam impactar a tomada de decisão e se transformar em ações concretas apoiadas pelo sistema de fomento nacional ou pelo setor privado na implementação de suas estratégias de P&D:

- A prospecção em CT&I é um processo, de valor igual ou maior que os resultados tangíveis que possa produzir, pela interação que proporciona entre os diferentes atores envolvidos. O decisor precisa ser envolvido permanentemente ao longo da realização dos exercícios de prospecção, de forma a se familiarizar com a questão, muitas vezes de natureza bastante

complexa, e ampliar sua capacidade de análise sobre os aspectos políticos e estruturais envolvidos na tomada de decisão;

- A prospecção em CT&I deve ser institucionalizada, de forma a se criar foco na formação de competências e habilidades necessárias para a sua condução. Particular ênfase deve ser dada à gestão da informação e do conhecimento nesse processo. Problemas de coordenação são igualmente relevantes neste contexto, freqüentemente levando à dispersão e duplicação de esforços, além de dificultar e não raro confundir o processo de tomada de decisão;
- Prospecção em CT&I, fundamentada nos conceitos de *foresight*, é sinônimo de mobilização e articulação. Pensar, debater e modelar o futuro não é tarefa para poucos. Mais ainda, sem o envolvimento de decisores torna-se tarefa inócua;
- O crescimento e a diversificação dos sistemas de ciência e tecnologia e a ênfase cada vez maior no processo de inovação pressupõem uma definitiva aproximação e interpenetração com outros setores da sociedade, e a plena capacidade de cooperação em redes locais e globais para se atingir resultados específicos e de relevância.

Dado que este campo lida com as incertezas trazidas por um sem número de possibilidades de futuro, estando assim em constante evolução, países e organizações estão em busca de modelos, ferramentas, metodologias e conceitos que possam dar conta dos sempre novos desafios, trazidos pelo avanço científico e tecnológico em áreas de fronteira, como a tecnologia da informação e comunicação, a nanotecnologia, a biologia molecular, e materiais avançados, entre outras. (Antón et al., 2001; Linstone, 2004).

Neste contexto, a atuação do CGEE está endereçada a pelo menos três questões relevantes discutidas neste trabalho: 1) importância da institucionalização da atividade prospectiva no corpo do governo federal, como umas das fontes de subsídios técnicos para a tomada de decisão em questões estratégicas de governo; 2) fortalecimento das atividades de exercícios prospectivos e estudos de futuro, pela constante aplicação e desenvolvimento de ferramentas para este fim e para a gestão da informação e conhecimento a estas associadas; e, 3) reconhecimento de que a modernização da

institucionalidade do sistema nacional de CT&I é fundamental para a promoção da inovação no país, em especial no que se refere à realização de estudos de prospecção e avaliação independente dos impactos gerados pelo sistema.

Temas de caráter estratégico, de alto grau de complexidade e de natureza multidisciplinar, e que envolvem interesses diversos e contraditórios e mobilizam a opinião pública, requerem abordagens metodológicas adequadas para possibilitar a tomada de decisão fundamentada em informação de qualidade, obtida de forma compartilhada, participativa e articulada com os setores governamental, empresarial, acadêmico e com o envolvimento de representantes da sociedade civil.

Para finalizar, é importante ressaltar que a liderança global em qualquer campo não é resultado de geração espontânea. Muito ao contrário, depende, cada vez mais, de uma mudança em direção ao uso efetivo e inovador da gestão tecnológica. A chave para a liderança reside no gerenciamento de processos de alimentação de idéias criativas, da geração de novas tecnologias, do desenvolvimento e comercialização de novos produtos em mercados novos e já existentes. E, nesse sentido, a gestão da inovação é um processo de fundamental importância, já que busca reunir mecanismos e instrumentos, metodologias e formas de organização que possam garantir a capacidade de inovar das organizações e, por decorrência, sua competitividade.

#### **REFERÊNCIAS**

ANTON, P. S.; SILBERGLITT, R.; SCHNEIDER, J. The global technology revolution; bio/nano/materials trends and their synergies with information technology by 2015. Santa Mônica : Rand, 2001. Disponível em: <[http://www.cia.gov/nic/research\\_globtechrev.html](http://www.cia.gov/nic/research_globtechrev.html)>.

CHOI, Youngrak. Technology roadmap in Korea. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON TECHNOLOGY FORESIGHT, 2., 2003, Toky, Japan. The approach to and the potential for new technology foresight. Tokyo : NISTEP, 2003. 6 p. Disponível em: <<http://www.nistep.go.jp/IC/ic030227/pdf/p5-1.pdf>>.

CONWAY, M.; VOROS, J. Implementing organisational foresight: a case study in learning from the future. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ORGANIZATIONAL FORESIGHT, 2002, Hawthorn, AU. Probing the future: developing organizational foresight in the knowledge economy. [S. l.] : Swinburne University of Technology, 2002. 15 p. Disponível em: <[http://www.gsb.strath.ac.uk/worldclass/foresight/2002/papers/Conway and Voro Implementing Organisational Foresight A case Study in Learning from the Future.doc](http://www.gsb.strath.ac.uk/worldclass/foresight/2002/papers/Conway%20and%20Voro%20Implementing%20Organisational%20Foresight%20A%20case%20Study%20in%20Learning%20from%20the%20Future.doc)>.

CUHLS, Kerstin; GRUPP, Hariolf. Alemanha: abordagens prospectivas nacionais. *Parcerias Estratégicas*, Brasília, v. 10, p. 75-104, mar. 2001. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/CEE/revista/Parcerias10/alemanha.pdf>>.

FORESIGHT FOR REGIONAL DEVELOPMENT NETWORK. *A practical guide to regional foresight*. Seville : JRC-IPTS, 2001. 122 p. Disponível em: <<ftp://ftp.jrc.es/pub/EURdoc/eur20128en.pdf>>.

GAVIGAN, James P.; SCAPOLO, Fabiana. Matching methods to the mission: a comparison of national foresight exercises. *Foresight*, v. 1, n. 6, p. 495-517, Dec. 1999. <<http://www.jrc.es/projects/enlargement/FN/gavig.pdf>>.

HORTON, Averil. Fore front: how to do simply and successfully foresight. *Foresight*, v. 1, n. 1, p. 5, Feb. 1999. Disponível em: <[http://www.alpha2omega.co.uk/Publications\\_on\\_the\\_Future/Easy\\_Foresight/easy\\_foresight.html](http://www.alpha2omega.co.uk/Publications_on_the_Future/Easy_Foresight/easy_foresight.html)>.

JERADECHAKUL, Witaya. Multi-economy foresight activities of the APEC Center for Technology Foresight. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON TECHNOLOGY FORESIGHT, 2., 2003, Tokyo, Japan. The approach to and the potential for new technology foresight. Tokyo : NISTEP, 2003. 14 p. Disponível em: <<http://www.nistep.go.jp/IC/ic030227/pdf/p4-1.pdf>>.

KARUBE, Isao. Integration of socio-economic needs into technology foresight. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON TECHNOLOGY FORESIGHT, 2001, Tokyo, Japan, **Proceeding**...* Tokyo : NISTEP, 2001. 9 p. Disponível em: <<http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/eng/mat077e/html/mat077ne.html>>.

KEENAN, Michael. Identifying emerging generic technologies at the national level: the UK experience. Manchester, UK : PREST, 2002. 37 p. (Discussion paper series, DP02-11). Disponível em: <<http://les.man.ac.uk/PREST/Publications/DP/default.htm>>; <[http://les.man.ac.uk/PREST/Publications/DP\\_PDFs/PRESTDP02-11.pdf](http://les.man.ac.uk/PREST/Publications/DP_PDFs/PRESTDP02-11.pdf)>.

LINSTONE, H. A. New drivers and directions: challenges for FTA. *In: NEW technology foresight, forecasting & assessment methods.* Seville : PREST, 2004. 20 p. Disponível em : <[http://www.jrc.es/home/foresight\\_seminar/Presentations/Linstone New Drivers and Directions Challenges for FTA.pdf](http://www.jrc.es/home/foresight_seminar/Presentations/Linstone%20New%20Drivers%20and%20Directions%20Challenges%20for%20FTA.pdf)>.

MILES, Ian; KEENAN, Michael; KAIVO-OJA, Jari. *Handbook of knowledge society foresight.* Dublin, Ir : Eurofound, 2002. 232 p. Disponível em: <[http://les.man.ac.uk/PREST/euforia/documents/EFL\\_Handbook\\_April\\_2003.pdf](http://les.man.ac.uk/PREST/euforia/documents/EFL_Handbook_April_2003.pdf)>.

MJWARA, P. M. et al. *South Africa's approach to foresighting: a developing country's perspective.* In: *INTERNATIONAL CONFERENCE ON TECHNOLOGY FORESIGHT, 2001, Tokyo, Japan. **Proceeding**...* Tokyo : NISTEP, 2001. 7 p. Disponível em:<<http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/eng/mat077e/html/mat077je.html>>.

PORTER, Alan *et al.* Technology futures analysis: toward integration of the field and new methods. *Technological Forecasting & Social Change*, v. 71, n. 3, mar. 2004. p. 287-303.

Disponível em: <<http://www.tpac.gatech.edu/papers/TFM.pdf>>.

Disponível em: <[http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleURL&\\_udi=B6V71-4BGFCY0-3&\\_user=10&\\_coverDate=03/31/2004&\\_rdoc=1&\\_fmt=summary&\\_orig=browse&\\_sort=d&view=c&acct=C000050221&\\_version=1&\\_urlVersion=0&\\_userid=10&md5=eb70803289648a561038155a19a736ce](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V71-4BGFCY0-3&_user=10&_coverDate=03/31/2004&_rdoc=1&_fmt=summary&_orig=browse&_sort=d&view=c&acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=eb70803289648a561038155a19a736ce)>.

SANTOS, D. M.; SANTOS, M. M. A atividade de foresight e a União Européia (EU). *Parcerias Estratégicas*, Brasília, n. 17, p. 165-192, 2003. Disponível em: <[http://www.cgee.org.br/arquivos/pe\\_17.pdf](http://www.cgee.org.br/arquivos/pe_17.pdf)>.

SILVA, C. G. da; MELO, L. C .P. de. (Org.). Ciência, tecnologia e inovação: desafio para a sociedade brasileira. *In: BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Livro verde. Brasília, 2001. 278 p.* <<http://www.desenvolvimento.gov.br/sitio/sti/publicacoes/cieTecInoDesafio/cieTecInoDesafio.php>>.

SLAUGHTER, R. Futures studies raises challenging questions about our present world. Hawthorn, Melbourne, AU : Australian Foresight Institute; Swinburne University. Disponível em: <<http://www.swin.edu.au/afi/FuturesStudiesRaisesChallengingQuestions.pdf>>.

\_\_\_\_\_. Foresight in a social context. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ORGANIZATIONAL FORESIGHT, 2002, Glasgow. Probing the future: developing organizational foresight in the knowledge economy. Glasgow : University of Exeter, 2002. 20 p.* Disponível em:<[http://www.gsb.strath.ac.uk/worldclass/foresight/2002/papers/Slaughter - Foresight in Social Context.pdf](http://www.gsb.strath.ac.uk/worldclass/foresight/2002/papers/Slaughter-ForesightinSocialContext.pdf)>.

\_\_\_\_\_. Lessons from the Australian Commission for the Future: 1986-1998. *Futures*, v. 31, p. 91-99, 1999. Disponível em : <[http://www.foresightinternational.com.au/07resources/Lessons\\_of\\_CFF.pdf](http://www.foresightinternational.com.au/07resources/Lessons_of_CFF.pdf)>.

TEGART, G. Multi-economy foresight experience of the APEC Center for Technology Foresight. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON TECHNOLOGY FORESIGHT, 2001, Tokyo, Japan. Proceeding...* Tokyo : NISTEP, 2001. 7 p. Disponível em: <<http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/eng/mat077e/html/mat077fe.html>>.

YUTHAVONG, Y.; SRIPAIPAN, C. Technology foresight as a tool for strategic science and technology planning and policy development. *In: ASEAN SCIENCE AND TECHNOLOGY WEEK*, 15., 1998, Hanói. [S. l.], 1998. 14 p.

ZACKIEWICZ, M; SALLES-FILHO, S. Technological foresight: um instrumento para política científica e tecnológica. *Parcerias Estratégicas*, Brasília, v. 10, p. 144-161, mar. 2001. Disponível em: <[http://www.mct.gov.br/CEE/revista/Parcerias10/Sergio\\_Salles.pdf](http://www.mct.gov.br/CEE/revista/Parcerias10/Sergio_Salles.pdf)>.

## **Resumo**

Este artigo apresenta a abordagem metodológica utilizada pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) para a atividade de prospecção em ciência, tecnologia e inovação. Foi formulada como um processo dividido em três fases que buscam agregar valor à informação de modo a transformá-la em conhecimento útil para a gestão da inovação. Construído a partir dos princípios que norteiam a abordagem conhecida como *'foresight'*, o processo apresentado privilegia a participação de especialistas e decisores dos meios acadêmico, empresarial e governamental, e busca a identificação de consensos e comprometimentos, bem como de contenciosos e conflitos que informem adequadamente a tomada de decisão. Resultados tangíveis (relatórios, listas de prioridades, etc.) e intangíveis (consensos, comprometimentos, etc.) são sempre esperados pela aplicação da abordagem proposta. Trata-se, ainda, de atividade que proporciona grande flexibilidade no planejamento das ações, tendo em vista o alto nível de incerteza associado aos ambientes complexos e hiper-competitivos da atualidade, bem como a diversidade de necessidades apresentada pelos diferentes níveis de tomada de decisão. Resultados da aplicação desta abordagem para o planejamento em ciência, tecnologia e inovação dos setores de energia e recursos hídricos são, também, apresentados.

## **Abstract**

*This article describes an approach being utilized by the Center for Strategic Management and Studies on Science, Technology and Innovation (CGEE) in carrying out prospective studies on science and technology aiming to promote innovation in various sectors of the Brazilian economy. This approach, based on the concept of foresight, consists of a very flexible combination of techniques*

*and procedures divided in three main phases for the implementation of an information-adding value chain. The participation and interaction of experts, policy makers and representatives of the private sector is highly valued and encouraged in all phases. Both tangible (e.g., reports on priority technologies) as well as non-tangible (e.g., consensus and commitments) results are expected. Recently conducted foresight activities contemplating water resources and energy were structured in the framework of this approach with promising results.*

## **Os Autores**

MARCIO DE MIRANDA SANTOS. Doutor em Genética Bioquímica, é o diretor executivo do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE).

DALCI MARIA DOS SANTOS. Mestre em Física, é assessora do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE).

GILDA MASSARI COELHO. Doutora em Ciência da Informação e da Comunicação pela Université d'aix-Marseille III (França). É consultora do CGEE.

MAURO ZACKIEWICZ. Mestre em Política Científica e Tecnológica e pesquisador do Grupo de Estudos sobre Organização da Pesquisa e da Inovação (Geopi), DPCT/IG/Unicamp.

LÉLIO FELLOWS FILHO. Graduado em Engenharia Metalúrgica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). É chefe da Assessoria Técnica do CGEE.

CARLOS EDUARDO MORELLI TUCCI. Doutor em Recursos Hídricos, professor titular do Departamento de Hidrologia e Hidromecânica, do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

OSCAR DE MORAES CORDEIRO NETTO. Doutor em Ciências e Técnicas Ambientais pela École Nationale Des Ponts Et Chaussées (ENPC, França). Professor Adjunto da Universidade de Brasília (UnB).

GILBERTO DE MARTINO JANNUZZI. Doutor em Estudos Energéticos pela Universidade de Cambridge (Inglaterra). Professor associado da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)

ISAÍAS DE CARVALHO MACEDO. Doutor em filosofia pela Universidade de Michigan (EUA). É professor aposentado da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).



*Resenha*

## Dimensões econômicas e sociais do desenvolvimento global

---

*Paulo Roberto de Almeida*

Doutor em Ciências Sociais  
pela Universidade de Bruxelas,  
diplomata

THE WORLD BANK

*MINIATLAS OF GLOBAL DEVELOPMENT*

(WASHINGTON: THE WORLD BANK, 2004, 66 p; ISBN: 0-8213-5596-1)

Este pequeno livro, no número de páginas e nas dimensões, constitui, na verdade, um grande volume de referência para dados comparativos sobre todos os países do mundo (e suas macrorregiões) no que se refere a um conjunto de indicadores essenciais do ponto de vista da medição objetiva das situações de bem-estar e de desenvolvimento social. Com efeito, ele permite visualizar rapidamente a posição relativa, individual e coletiva desses países e regiões no que diz respeito aos dados relevantes, para avaliar qual é a situação de partida e como eles se posicionam em 2001 para aferir, mais adiante, quão próximos (ou distantes) esses países podem estar em face da tarefa de cumprir os objetivos fixados nas metas do milênio, isto é, o conjunto de metas estabelecidas pelas Nações Unidas em 2001 a serem cumpridas até 2015. Ele dá a linha de partida, em função da qual exercícios comparativos podem ser feitos.

As metas do milênio, hoje bastante conhecidas, são as seguintes: 1) erradicar a fome e a pobreza extrema (reduzir à metade, até 2015, a proporção de pessoas vivendo com menos de um dólar por dia, bem como a proporção dos que são afetados pela fome); 2) alcançar a universalização da educação primária (conseguir que meninos e meninas completem o ciclo da escola fundamental); 3) promover a igualdade de gênero e a capacitação das mulheres (eliminar até 2005, as disparidades na educação primária e secundária e, até 2015, em todos os níveis educacionais); 4) redução da mortalidade infantil

(redução em dois terços da taxa para os menores de cinco anos); 5) melhorar a saúde materna (redução em três quartos da taxa de mortalidade materna); 6) combater a Aids, a malária e outras grandes doenças (reduzir à metade e começar a diminuir, até 2015, a propagação da Aids, bem como a incidência da malária e de outras enfermidades); 7) assegurar a sustentabilidade ambiental (integrar os princípios do desenvolvimento sustentável às políticas públicas e reverter a perda de recursos naturais; reduzir à metade a proporção de pessoas sem acesso a água potável; melhorar, até 2020, as condições de vida dos habitantes de favelas); 8) alcançar uma parceria global para o desenvolvimento (sistemas financeiro e de comércio internacional abertos e não discriminatórios; atender aos requerimentos especiais dos países menos desenvolvidos; tratamento adequado para o problema da dívida externa; estratégias de trabalho decente e produtivo; acesso a medicamentos a preços convenientes; integração às novas tecnologias da informação e da comunicação, em cooperação com o setor privado). Trata-se, como se vê, de uma grande agenda de desenvolvimento humano, como nunca antes se fez na história do multilateralismo (que tinha conhecido, até aqui, “décadas” temáticas para o desenvolvimento, por exemplo, sem que no entanto metas precisas fossem definidas para alcançar o objetivo geral).

Para cada uma das dimensões contempladas nas metas, o *miniAtlas* comporta as estatísticas disponíveis para cada um dos países membros da ONU, tal como constantes de duas publicações mais abrangentes da mesma instituição – os *World Development Indicators* e o *World Bank Atlas*. Sua vantagem é a de compilar, numa publicação de bolso, o essencial daqueles dados e apresentar ainda uma série de mapas, tabelas e gráficos colocando em perspectiva comparada os indicadores para as grandes regiões do planeta. A tabela seletiva que preparamos a partir das informações apresentados no *miniAtlas*, e que acompanha esta resenha, apresenta os dados relevantes para esse conjunto de dimensões (população, saúde, economia, meio ambiente e vínculos globais) do Brasil e dois outros grupos de países: os emergentes (com indicadores comparáveis aos do Brasil) e os países avançados, em relação aos quais a distância é ainda considerável, mas cuja condição geral não pode ser considerada inalcançável, se países como o Brasil estabelecerem uma estratégia de superação de obstáculos, segundo um plano de médio prazo.

As metas do milênio constituem, portanto, uma metodologia útil, na medida em que tendem a apresentar de modo objetivo, com o máximo possível de indicadores quantificáveis, o esforço que deve ser ainda engajado até 2015, para que essa distância seja encurtada, ou quem sabe até eliminada. Elas não são perfeitas, do ponto de vista de um país como o Brasil, pois constituem uma espécie de mínimo denominador comum aos países em desenvolvimento, colocando em uma mesma base de comparação situações que são desiguais e que requerem esforços diferenciados, segundo a posição individual de cada um dos países. Pensamos, por exemplo, na eliminação das diferenças de gênero no processo de escolarização, algo dirigido a países africanos e islâmicos, do que a sociedades de perfil mais inclusivo, como é o caso do Brasil.

As metas são marcadamente sociais – ainda que indiretamente elas contemplem aspectos tecnológicos, como o acesso a computadores, por exemplo – mas não alcançam a dimensão institucional para se lograr melhores taxas de equidade e de distribuição da renda, a não ser pelo acesso a bens públicos como educação e saúde, e a redução geral da pobreza. Países dotados de sociedades complexas e diversificadas como o Brasil muito ganhariam em partir das metas do milênio para estabelecer suas próprias metas, eventualmente mais abrangentes e até mais ambiciosas do que as da ONU, como forma de avançar no caminho da promoção social e da melhoria das condições de vida. Fórmulas diversas podem ser tentadas e um critério objetivo para um país como o Brasil poderia ser, por exemplo, estabelecer *benchmarks* específicos (inclusive em dimensões não contempladas nas metas da ONU) a serem alcançados em prazo determinado.

Um critério válido de progresso abrangente a ser perseguido pelo Brasil seria alcançar, até 2015, a média da OCDE para um conjunto de metas sociais, econômicas, científicas e ambientais que essa organização seleciona na lista de indicadores relevantes dos países membros. Por que a média da OCDE? Porque o Brasil estaria fixando o modesto objetivo de alcançar uma espécie de “classe média” mundial, por meio da mobilização de esforços em campos que podem ser imediatamente comparados com países colocados em situação similar do ponto de vista do potencial industrial e tecnológico (mas em relação aos quais os dados sociais e educacionais são vergonhosos para o Brasil).

Dito isto, vejamos que ensinamentos e informações úteis podemos extrair deste pequeno volume. O Banco Mundial classifica os países em três grandes grupos de renda *per capita*: baixa renda (até US\$ 745), renda média (a faixa intermediária até US\$ 9.206) e alta. A maior parte do crescimento demográfico desde meados do século XX – quando o mundo passou de 2,5 bilhões de pessoas para 6,1 bilhões em 2001 – deu-se, obviamente, nos países em desenvolvimento, apesar de que o ritmo da progressão demográfica tenda a diminuir (para menos de 1% ao ano). Cerca de 1,6 de novos habitantes serão acrescentados até 2025 ao estoque existente, dos quais 96% localizados nos países de renda média e baixa (a taxa de fertilidade caiu de 4,1 nascimentos por mulher em 1990, para apenas 2,8 em 2001).

A esperança de vida elevou-se de modo consistente em todas as regiões nos últimos 15 anos, com exceção da Rússia (menos três anos) e da África subsaariana (menos dois anos, mas menos 15 anos na África do Sul, em função da Aids). Um indicador importante do ponto de vista do bem-estar dos países de renda baixa é o grau de dependência a cargo da população economicamente ativa: na África subsaariana, cem trabalhadores sustentam 83 crianças abaixo de 15 anos, comparado com apenas 27 crianças nos países mais avançados.

A taxa de matrícula é um dos mais poderosos indicadores selecionados para as metas do milênio. Em 2015, se espera que todos os países em desenvolvimento tenham garantido plena escolarização primária para todas as crianças, um objetivo facilmente alcançável (e de fato já alcançado) na maior parte dos países da Ásia Oriental e da América Latina, contra quase nenhum progresso na África subsaariana. Ainda assim, os países da América Latina precisam progredir: suas crianças apresentam somente seis anos de escolarização, em média, contra mais de dez anos nos países avançados. Em alguns países, o que ocorreu, na verdade, foi uma dramática involução, como no Afeganistão, onde apenas 8% das crianças completaram a escola primária em 1999, um declínio vergonhoso a partir da taxa já baixa de 26% em 1993.

O Brasil apresenta a invejável (e talvez enganosa) taxa de 97% de matrículas escolares no primário, proporção superior à dos Estados Unidos (95%), da Austrália (96%) e, surpreendentemente, da Alemanha (com 87%, segundo o *miniAtlas*). Se fossem computados os dados relativos à evasão escolar em cada um desses países, a comparação seria bem mais desfavorável ao Brasil, para nada mencionar na qualidade do ensino ministrado. Em todo caso, tanto

em matéria de ingresso no ciclo primário como no que se refere à igualdade de gêneros na escolarização, o Brasil deve cumprir facilmente, e antes do prazo, as metas fixadas multilateralmente pela ONU.

O analfabetismo adulto (população acima de 15 anos) caiu em todas as regiões entre 1990 e 2001, estando ainda na faixa de 24% (a partir de 30%) nos países de renda média e baixa, sendo que as mulheres respondem por dois terços dos 860 milhões de analfabetos adultos nesses países. No campo da mortalidade infantil, o Brasil precisa fazer progressos muito rápidos, uma vez que com 36 óbitos para cada mil nascimentos, sua taxa é o dobro da conhecida na Argentina e seis vezes superior à dos países mais avançados (mais de dez vezes em relação à Suécia, por exemplo).

A definição de pobreza varia muito de país a país, embora se admita que um consumo inferior ao equivalente a US\$ 1 por dia constitua a linha de divisão para os países mais pobres (nos países medianamente desenvolvidos, o limite pode se situar na faixa de US\$ 2 ou mais por dia). Nos anos 90, a pobreza extrema declinou significativamente nos países da Ásia Oriental, ao passo que ela estagnou na América Latina e aumentou, pelo menos em números absolutos, na Europa Oriental e na Ásia Central. O país mais pobre do mundo, em 2001, era a República Democrática do Congo, onde a renda média por habitante alcançava apenas US\$ 80, ao passo que o mais rico, o pequeno Luxemburgo, ostentava quase US\$ 40 mil. Ainda no terreno comparativo, o PIB global dos Estados Unidos era, em 2001, dez vezes maior do que a produção conjunta de todos os países menos avançados. O Brasil se situa na faixa dos países de renda média, mas num estrato inferior ao dos vizinhos do Cone Sul.

A importância do investimento direto estrangeiro não precisa mais ser ressaltada, tanto no plano da incorporação de novas tecnologias como no da melhoria da inserção econômica internacional. O Brasil foi um dos países que mais se beneficiou, junto com a China, do aumento significativo de IED ao longo dos anos 90, mas parece ter perdido impulso no início da presente década, e não apenas pela interrupção do programa de privatizações. Para o conjunto dos países de renda média e baixa, onde se insere o Brasil, a participação do IED no PIB aumentou substancialmente ao longo da década, tendo passado de apenas 0,9% a mais de 4%, ao passo que a progressão nas economias avançadas foi mais modesta, aumentando de 3

para 5,3%. Um dos exemplos mais dramáticos de aumento da importância do IED na dinâmica econômica foi registrado pela Irlanda, o tigre celta, onde o investimento estrangeiro chegou a representar 99,9% da formação bruta de capital em 2000; a Indonésia, em contrapartida, experimentou uma saída líquida de IED de cerca de US\$ 3,3 bilhões em 2001, situação que já tinha sido conhecida pelo Brasil no final dos anos 80 e início da década seguinte, mais em virtude da descoordenação macroeconômica e da deterioração temporária do ambiente regulatório do que devido à ausência absoluta de fatores de atratividade estrutural.

Esses fatores, na verdade, tendem a favorecer a posição do Brasil como recipiendário líquido de investimentos, seja pelo tamanho do seu mercado interno, seja pela adjunção dos mercados nacionais do Cone Sul, seja ainda pela tradição capitalista de seu sistema econômico. Infelizmente, o Brasil é um dos países em desenvolvimento endividados, com o serviço da dívida mobilizando parte substancial de suas receitas de exportações. Na vertente negativa, a participação do comércio na formação do PIB é modesta no Brasil (inferior a 25%), ainda que ela tenha aumentado de forma geral nos países de renda média, de um coeficiente de 35,5% em 1990 para 50,8% em 2001, proporção mais elevada do que a encontrada nas economias de alta renda.

No terreno dos fluxos de comércio, cabe registrar uma tendência positiva, no sentido do aumento do intercâmbio de comércio entre países em desenvolvimento, à razão de 13% nos anos 90, comparativamente a um aumento de apenas 5,5% no comércio entre economias avançadas. As exportações dos países em desenvolvimento para os países ricos também experimentaram crescimento da ordem de 11%. Do ponto de vista da composição das trocas, as vendas de serviços cresceram rapidamente no mesmo período, mas as exportações de bens ainda respondem por 80% do comércio mundial.

No capítulo da ajuda oficial ao desenvolvimento, o Brasil está registrado no *miniAtlas* como recipiendário de valores modestos em 2001, entre US\$ 1 e US\$ 10 *per capita*, mas de fato ele converteu-se, nos últimos anos, em doador líquido de recursos para fins de cooperação técnica. De todas as regiões, a América Latina é a que menos recebe ajuda em proporção da sua renda global (menos de 0,3% em 2001), ao passo que a África subsaariana tornou-se dependente desses recursos, à razão de 4,6% de sua renda. No cômputo global,

entretanto, os fluxos de ajuda para os países mais pobres, diminuíram nos anos 90, passando de um total de US\$ 58 bilhões em 1990, para apenas US\$ 52 bilhões em 2001, e uma diminuição *per capita* de US\$ 13 a US\$ 11 nesse período.

A chamada inclusão digital pode ser medida pelo número de computadores por habitante, terreno no qual o Brasil, infelizmente, mantém ainda resultados modestos: 63 computadores por mil habitantes em 2001. No cenário global, os países em desenvolvimento exibiam apenas 22 computadores por mil habitantes, contra mais de 400 nas economias avançadas. Ainda assim, o tamanho do fosso digital foi reduzido nesse período, já que a proporção de 40 usuários da internet nos países avançados para cada um nos países em desenvolvimento foi dividida por dois. Entre 1995 e 2001, o aumento dos usuários de internet na América Latina registrou uma taxa de apenas 91%, contra mais de 150% na Ásia Oriental. As indústrias de tecnologia de informação e de comunicação vêm registrando progressos em alguns países em desenvolvimento: na Índia, por exemplo, a indústria de software já contava com 14% das exportações totais e empregava mais de 400 mil profissionais.

No que se refere à infra-estrutura de telecomunicações – setor altamente dependente de investimentos estrangeiros –, os progressos foram dramáticos ao longo da década, sobretudo no que se refere ao uso de telefone celular, mesma situação observada no Brasil. A América Latina é uma das regiões melhor equipadas nesse particular, mas ainda assim o número de 161 usuários de celular por mil habitantes (superior ao de todas as outras regiões em desenvolvimento) é bastante inferior ao indicador das economias avançadas, que exibiam 609 usuários em 2001. No plano mais geral do custo nominal das comunicações, parece haver uma inversão direta na relação entre renda *per capita* e o preço de uma ligação internacional, já que nos países em desenvolvimento as tarifas tendem a ser elevadas quando comparadas com o preço acessível nos países mais ricos, em termos relativos e absolutos.

A tabela que se encontra no final do texto, compilada a partir dos dados apresentados no *miniAtlas*, apresenta o conjunto dos dados para um número seleto de países, basicamente com os que podem ser comparados com o Brasil (alguns em faixas elevadas de renda, como a Grécia e a Coréia do Sul) e, como referência da distância que ainda resta para ser percorrida, as economias do G-7 e alguns emergentes de sucesso, como a Espanha, por exemplo. Os

indicadores relativos à taxa de matrícula demonstram uma situação positiva e bastante uniforme em quase todos os países, mas a mortalidade infantil apresenta grandes discrepâncias no bloco intermediário, onde novamente a Grécia e a Coréia apresentam taxas similares às dos países avançados (e situações calamitosas na África do Sul e na Índia). Um bom indicador de desempenho econômico refere-se à proporção do comércio de bens no “PIB de bens”, terreno que a Coréia e o México apresentam percentuais superiores comparados aos de países avançados. O *miniAtlas* não apresenta o percentual do Brasil nesse particular, mas ele é reconhecidamente baixo.

No cenário regional, a África do Sul é o único país africano selecionado para integrar essa amostra, num continente que experimentou um retrocesso dramático ao longo das últimas duas décadas de globalização acelerada. Segundo um estudo preparado para o Fórum Econômico Mundial, pelos professores Elsa Artadi (Universidade Harvard) e Xavier Sala-i-Martin (Universidade Columbia), o continente produziu a pior tragédia econômica do século XX, com a quadruplicação da proporção de miseráveis no conjunto de pobres do planeta (40% deles vivem hoje na África, contra apenas 10% em 1970). Segundo esse estudo, o processo de “desenvolvimento” foi tão deficiente que a maior parte dos países subsaarianos está pior agora do que quando ficou independente. Segundo os dois pesquisadores, a renda *per capita* na África subsaariana é US\$ 200 menor hoje do que em 1974, um declínio de 11% num espaço de tempo em que a média do mundo cresceu a taxas anuais de 2%.

Na África, em face dessa perspectiva pessimista, as metas do milênio da ONU correm o risco de não se concretizarem. O ministro britânico das finanças, Gordon Brown, concebeu a iniciativa da *International Finance Facility*, que constitui uma nova liquidez para os investimentos sociais nos países mais pobres.

As metas do milênio também representam um certo desafio para o Brasil, embora bem menor do que o que enfrentam os países africanos e alguns latino-americanos mais pobres. O Brasil ainda apresenta um problema de pobreza setorial e localizada (ainda que bem disseminada nas áreas rurais e favelas urbanas), com um quadro preocupante no velho terreno da distribuição de renda. Os problemas mais graves do ponto de vista da inclusão social e da melhoria dos padrões de vida não são insolúveis e não se encontram

estruturalmente bloqueados por fatores de tão grave dimensão como os conhecidos na África, onde se esgota a erosão do Estado enquanto fator de organização da sociedade, de redistribuição de ativos e de mobilização de recursos escassos para fins de investimento social. O Brasil é um dos países em desenvolvimento que conta com um Estado bem organizado e uma produção própria de ciência e tecnologia, o que representa uma vantagem na mobilização de energias individuais e capacidade social para eliminar, se houver decisão política nesse sentido, os aspectos mais inaceitáveis da pobreza e da desigualdade.

Em contrapartida, o próprio Estado pode representar um problema no Brasil de hoje, onde a carga fiscal vem crescendo desde a Constituição de 1988. A erosão do ambiente microeconômico tem contribuído para diminuir a posição do Brasil no *ranking* de competitividade internacional: na última pesquisa do Fórum Econômico Mundial, ele ocupa a 54ª posição entre 102 nações listadas, atrás de Botsuana, Tunísia, África do Sul, Mauritânia e Namíbia. A regressão do Brasil tem sido constante em outros indicadores – passamos da 8ª à 15ª posição entre as mais importantes economias do planeta –, sinal de que muito resta a ser realizado para nossa plena inserção nos circuitos mais dinâmicos da economia internacional.

A condição para continuar no mesmo lugar é seguir avançando. Quanto a ocupar uma posição de destaque no cenário mundial, depende de um desempenho econômico que o Brasil não foi capaz de garantir nas últimas décadas.

## Dados comparativos internacionais: desenvolvimento global

Países	População		Saúde		Economia		Meio Ambiente		Vínculos globais		
	Milhões de habitantes	Taxa de Matrículas primário %	Acesso à água (% da popul.)	Mortalidade de menos de 5 anos	Renda nacional per capita	PIB bilhões US\$	População Urbana %	Emissões de CO2 per capita	Comércio como % do PIB bens	Computadores pessoais (por 1.000)	Linhas de telefone (por 1000)
<i>Brasil</i>	172,4	97	87	36	3.070	502,5	82	1,8	-	63	218
<b>Outros países emergentes</b>											
África do Sul	43,2	89	86	71	2.820	113,3	58	7,9	-	69	112
Argentina	37,5	107	-	19	6.940	268,6	88	3,8	50	91	224
Chile	15,4	89	93	12	4.590	66,5	86	4,2	105	107	233
China	1.271,8	93	75	39	890	1.159,0	37	2,3	66	19	137
Colômbia	43,0	89	91	23	1.890	82,4	75	1,5	-	42	171
Coreia do Sul	47,3	99	92	5	9.460	422,2	82	8,4	153	257	486
Cuba	11,2	97	91	9	-	-	75	2,3	-	20	51
Grécia	10,6	97	-	5	11.430	117,2	60	8,2	106	81	529
Hungria	10,2	90	99	9	4.830	51,9	65	5,6	-	100	374
Índia	1.032,4	-	84	93	460	477,3	28	1,1	-	6	38
Indonésia	209,0	92	78	45	690	145,3	42	1,2	96	11	35
Malásia	23,8	98	-	8	3.330	88,0	58	5,4	-	126	196
México	99,4	103	88	29	5.530	617,8	75	3,9	144	69	137
Rússia	144,8	-	99	21	1.750	310,0	73	9,8	98	50	243
<b>Países avançados</b>											
Alemanha	82,3	87	-	5	23.560	1.846,1	88	9,7	161	382	634
Austrália	19,4	96	100	6	19.900	368,7	91	18,2	98	516	519
Canadá	31,1	99	100	7	21.930	694,5	79	14,4	-	460	676
França	59,2	100	-	6	22.730	1.309,8	76	6,1	149	337	573
Espanha	41,1	102	-	6	14.300	581,8	78	6,8	120	168	431
EUA	285,3	95	100	8	34.280	10.065,3	77	19,7	68	625	667
Itália	57,9	100	-	6	19.300	1.088,8	67	7,3	124	195	471
Japão	127,0	101	-	5	35.610	4.141,4	79	9,1	62	349	597
Reino Unido	58,8	99	100	7	25.120	1.424,1	90	9,2	127	366	588
Suécia	8,9	102	100	3	25.400	209,8	83	5,3	190	561	739

Fonte: The World Bank, *miniátlas of Global Development*, Washington: The World Bank, 2004





editoração **cgge**