

# 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 resalta 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.

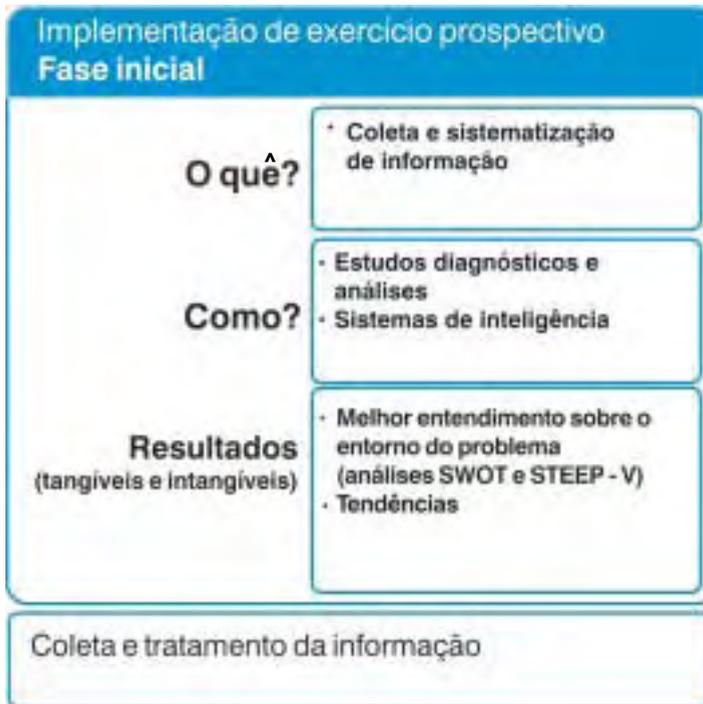
#### **FASE INICIAL**

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?).

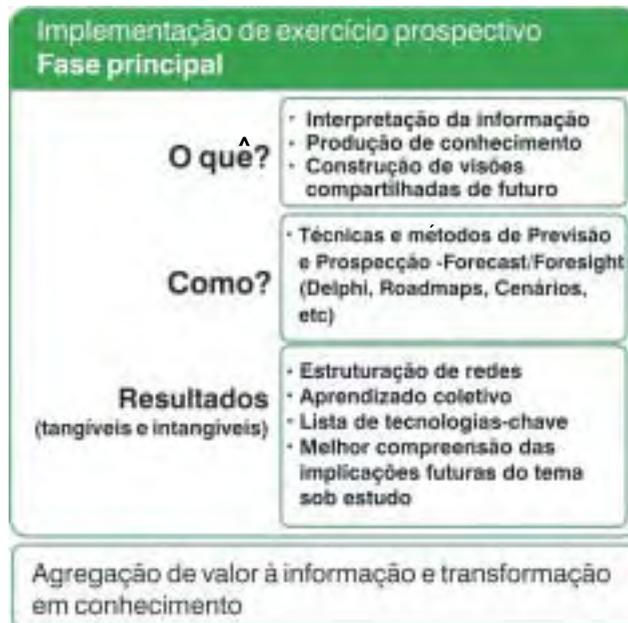
Durante a fase principal, ocorrem processos de tradução e interpretação acerca das tendências correntes e das possibilidades futuras, que utilizam um conjunto flexível de técnicas e ferramentas de previsão e de prospecção, como os painéis de especialistas, a técnica Delphi, entre muitas outras possibilidades.

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.



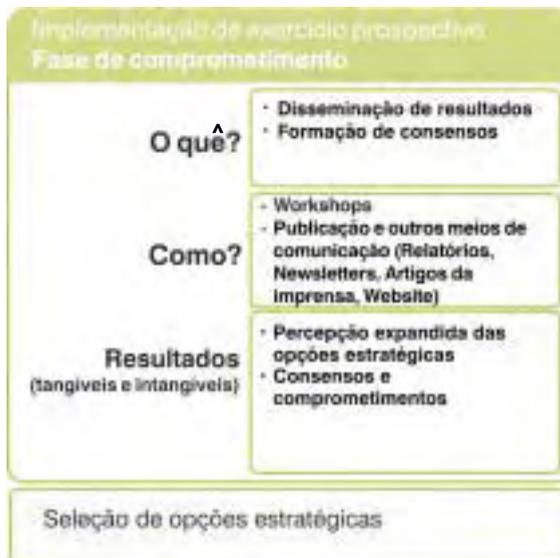
**Figura 3** – Diagrama esquemático da Fase Principal

## 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.

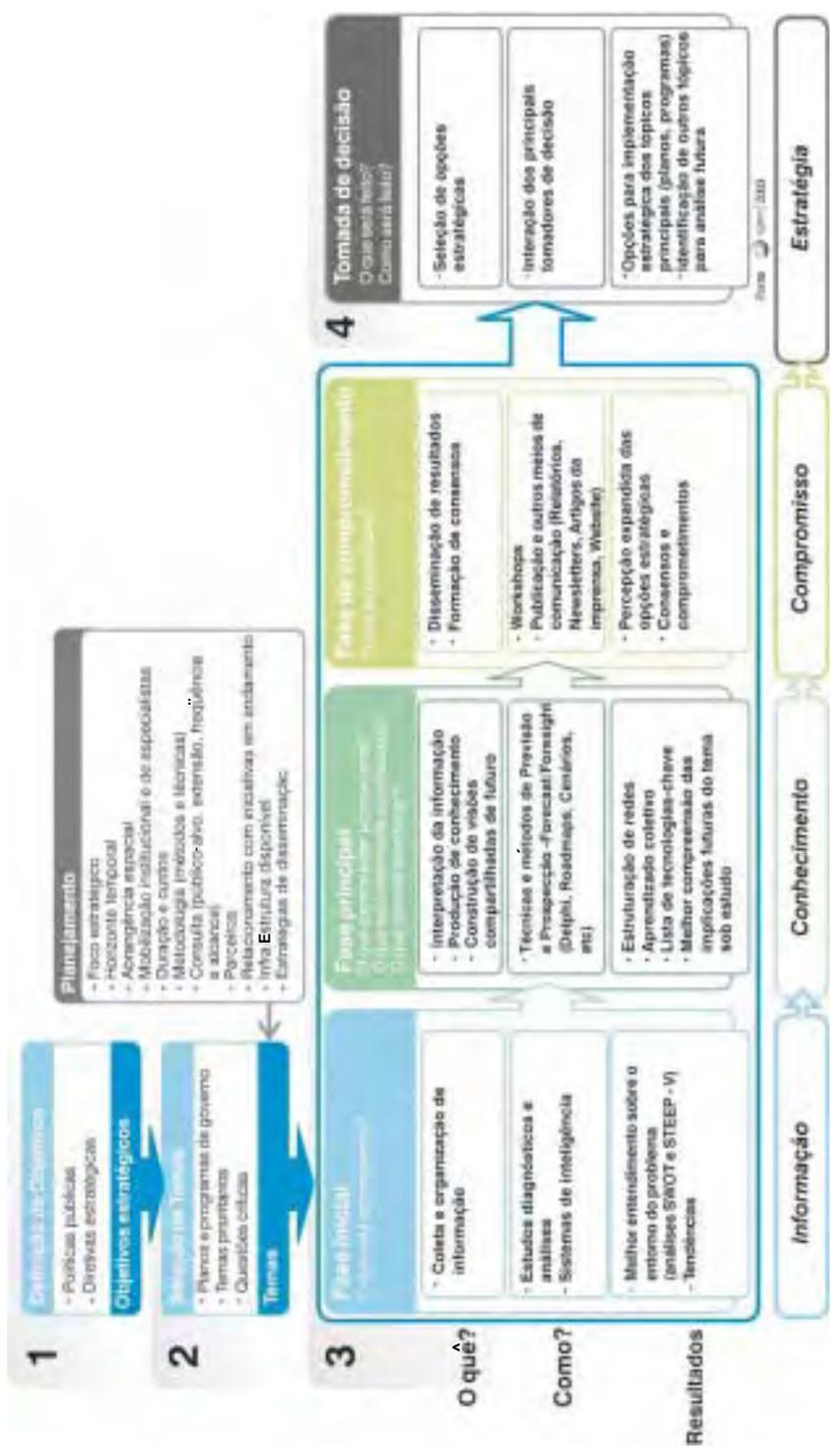


Figura 5 – Modelo expandido utilizado como referência para a condução de exercícios prospectivos coordenados pelo CGEE

## **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.)

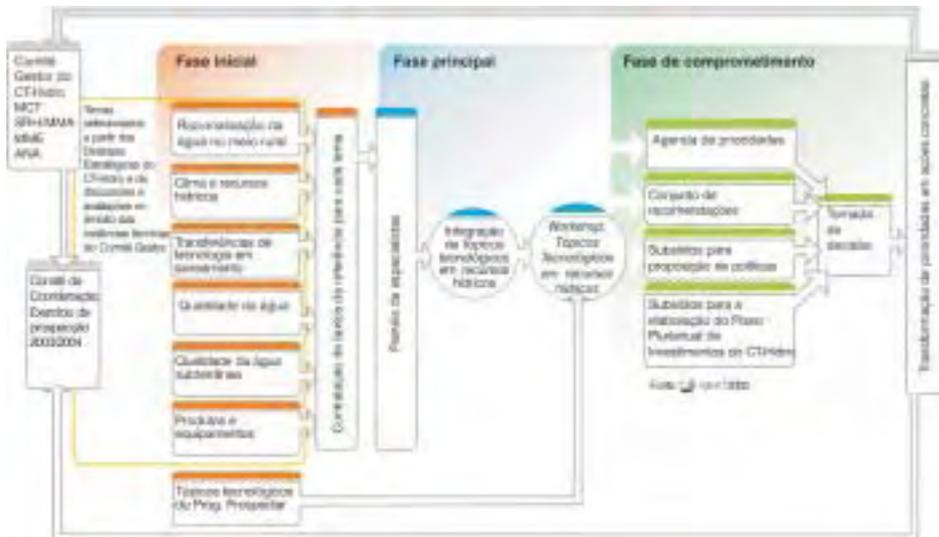
<sup>7</sup> Composição do Grupo Consultivo: Marcio de Miranda Santos (CGEE); Dalci Maria dos Santos (CGEE); José Galizia Tundisi (IIE); Oscar de Moraes Cordeiro Netto (UnB); Carlos Eduardo Morelli Tucci (IPH-UFRGS); Benedito Braga (ANA); Maria Manuela Martins Alves Moreira (SRH-MMA); Paulo Canedo de 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	Crítérios	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

Nº. de ordem na lista geral	Tópicos tecnológicos robustos
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.cgEE.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).