

# Áreas de concentração em atividades de Pesquisa e Desenvolvimento

## SÉRGIO SALVO BRITO

Assistente de Diretoria de FURNAS Centrais Elétricas S/A. Engenheiro civil pela Escola Politécnica de São Paulo, com pós-graduação em Engenharia Nuclear pelo Instituto Militar de Engenharia e pelo INST/Saclay — França, foi diretor técnico do Grupo Tório, MG, da Comissão Nacional de Energia e chefe do Departamento de Planejamento de FURNAS Centrais Elétricas.

**É** possível identificar áreas onde se pode esperar que uma concentração do esforço de desenvolvimento científico e tecnológico produza maiores benefícios globais, pela eliminação de obstáculos tecnológicos, existentes ou potenciais, ou pela exploração de oportunidades concretas de melhorias.

Tais áreas de ação preferencial são discutidas a seguir, tentando-se definir, para cada uma, os programas de ação recomendados.

### 1. Grandes Hidrelétricas

Esta área abrange as usinas que constituirão a base do programa brasileiro, nos próximos 30 ou 40 anos\*).

O Brasil é, hoje, um dos três países (juntamente com os Estados Unidos e o Canadá) que detêm maior experiência na construção e operação de grandes hidrelétricas e, ao contrário dos dois outros, pode oferecer à sua indústria de bens e serviços especializados a garantia de um mercado em contínua expansão. Isso o coloca em excelente posição para disputar e dominar o imenso mercado de exportação representado pelos programas hidrelétricos que começam a se desenvolver nos países vizinhos, da América do Sul e da África Ocidental — países que, por falta de experiência e de infra-estrutura, deverão utilizar, intensivamente, a tecnologia externa.

Aparentemente, o problema da nacionalização tecnológica neste setor está resolvido. A área dos grandes equipa-

mentos eletro-mecânicos (turbinas, geradores, transformadores, etc.), entretanto, é hoje ocupada, no Brasil, por algumas grandes indústrias subsidiárias de grupos externos, que utilizam tecnologia desenvolvida até o nível de projeto básico, e muitas vezes até o de projeto executivo, na empresa-matriz. Existe, no Brasil, uma capacidade de fabricação, mas não uma capacidade tecnológica.

Ora, o sistema científico e tecnológico só pode tornar-se um pólo dinâmico de desenvolvimento quando interage, continuamente, com a indústria e com o mercado; é, portanto, inaceitável que nosso programa hidrelétrico esteja sustentando o desenvolvimento tecnológico dos países mais avançados e se constituindo em um fator de dependência tecnológica de nossa indústria. Torna-se, pois, indispensável e urgente definir para o setor hidrelétrico uma política tecnológica que vise a restabelecer a coerência e a interação positiva entre as atividades de pesquisa e desenvolvimento, o crescimento industrial e a expansão do mercado.

Segundo cálculos da Eletrobrás, os cinco maiores fabricantes nacionais de turbinas e/ou geradores para hidrelétricas (Voith-Bardella, Mecânica Pesada, Vigesa, Coensa e Siemens) têm uma capacidade de produção da ordem de 9.000 MW por ano, cinco vezes maior que as necessidades a serem geradas pela expansão do sistema nos próximos 10 anos, e comparável apenas às necessidades que surgirão por volta de 2010/2020.

Não parece razoável, portanto, a não ser como último recurso, incentivar fabricantes nacionais a entrar em um ramo industrial tão brutalmente congestionado. Os próprios fabricantes existentes devem ser levados a efetivamente transferir para o Brasil seus laboratórios e centros de pesquisa e desenvolvimento (ou seja, sua capacidade de criação tecnológica), como uma condição para participação no mercado brasileiro (que, na maioria dos casos, pode vir a ser essencial à sobrevivência deste setor na empresa-matriz, totalmente dependente, hoje, da exportação de produtos ou de tecnologia).

A ação que se recomenda ao Governo, nessa área, é, portanto, muito mais

de caráter político, legislativo (ou regulamentar) e fiscal. É uma ação que implica medidas de incentivo à pesquisa e de proteção à produção tecnológica. O ajustamento dos critérios de contratação e compras das empresas estatais aos objetivos dessa ação política será condição importantíssima para que resultados concretos sejam obtidos. Complementarmente, os centros de pesquisa e desenvolvimento nacionais e as Universidades devem estar preparados para apoiar este esforço, sempre que necessário e mediante solicitação da indústria.

Tecnologia pressupõe renovação e aprimoramento constantes. Embora a área da geração hidrelétrica já apresente certa maturidade tecnológica e um ritmo de renovação apreciável (apesar de menos espetacular em comparação com a informática, por exemplo), as necessidades tecnológicas não podem ser menosprezadas, principalmente quando se pensa em termos de competição no mercado internacional. Novas técnicas (como, por exemplo, a aplicação dos métodos de elementos finitos no cálculo de barragens e estruturas, técnicas de projeto por computador "computer aided design", novos métodos e equipamentos de construção, novos conceitos de organização e administração de projetos) devem ser continuamente reelaboradas e implantadas.

Esforços de desenvolvimento tecnológico próprio empreendidos pelas firmas de consultoria, projeto, engenharia e construção e também propiciados pela criação de centros tecnológicos (como os já iniciados pela Internacional de Engenharia e Promon, entre outras), bem como programas de pesquisas conjuntas com Institutos e Universidades, devem ser incentivados e apoiados pelos órgãos oficiais de coordenação e financiamento da pesquisa.

Nessa área, portanto, dois programas devem ser desenvolvidos:

- Nacionalização da tecnologia básica de grandes equipamentos para usinas hidrelétricas.

- Aperfeiçoamento tecnológico nas áreas de projeto, engenharia e construção de usinas hidrelétricas de grande porte.

(\* ) Inclui as usinas classificadas pela ELETROBRÁS como média (40 a 400 MW) e grandes (mais de 400 MW).

## 2. Transmissão a Longa Distância

A utilização do potencial hidrelétrico da Amazônia para suprimento dos grandes centros de carga do Nordeste e do Sudeste exigirá a construção, no período 2000/2020, de dois troncos básicos de transmissão com uma capacidade total de 40.000 MW e de 1500 a 2500 km de extensão. A magnitude desse programa, o tempo disponível para preparar sua implantação e o incentivo adicional de que, no mesmo período, outros países, para os quais o Brasil poderá oferecer sua tecnologia de projeto e construção de grandes usinas hidrelétricas, dependerão de tecnologia externa para a concepção e implantação dos seus sistemas de transmissão associados, indicam o interesse de realizar um programa visando a desenvolver uma capacidade tecnológica própria, nesta área.

A nível mundial, duas tecnologias básicas de transmissão à longa distância (ou de transmissão de grandes blocos de carga, mesmo a distâncias não tão grandes) estão sendo desenvolvidas e aplicadas em grandes projetos: a transmissão em extra-alta tensão (800 a 1500 kV) em corrente alternada, e a transmissão em corrente contínua (400 a 600 kV).

O Brasil está adquirindo experiência na construção e operação de sistemas dos dois tipos citados, através do sistema misto de transmissão de Itaipu (12000 MW, metade em corrente alternada, 800 kV, e metade em corrente contínua, 600 kV, 800 km de extensão), baseado em tecnologia externa.

A transmissão da Amazônia não será necessária (na escala em referência) antes do ano 2000. Portanto, considerando-se a rápida evolução dessas duas tecnologias no mundo, conclui-se que a experiência de Itaipu corre o risco de ter reduzida utilidade na época de realização dos novos projetos.

Por outro lado, essa experiência pode servir de base para um programa de pesquisa e desenvolvimento a ser desenvolvido nos próximos 10 anos.

A estratégia a seguir parece clara:

- aproveitar e explorar, ao máximo, a experiência adquirida em Itaipu e a análise de seus resultados operacionais;
- explorar, sempre que possível, as possibilidades de cooperação internacional, inclusive da cooperação já existente, na área de engenharia, projeto e fabrica-

ção de equipamentos, com a ASEA sueca, e, na área de pesquisa e desenvolvimento, com a ENEL italiana;

— dar ênfase na pesquisa tecnológica arte", no mundo;

— imprimir ênfase na pesquisa tecnológica básica, a nível de laboratório e de desenvolvimento de protótipos industriais (projeto e fabricação de tiristores, isoladores, etc., projeto de torres e cabos, desenvolvimento de materiais e equipamentos especiais, estudos experimentais sobre efeitos físicos e biológicos dos campos intensos), no desenvolvimento de "software" e de métodos de análise e na realização de estudos técnico-econômicos que possam orientar o desenvolvimento posterior das pesquisas.

Os programas prioritários de pesquisa podem ser:

— Tecnologia básica de transmissão a longa distância;

— Desenvolvimento de métodos de análise e estudos básicos.

Ambos os programas devem ser realizados principalmente no âmbito dos Institutos de Pesquisa (com a natural liderança do CEPEL) e das universidades, na fase atual, devendo crescer, progressivamente, a participação das empresas de engenharia e projeto, da indústria e das empresas de eletricidade.

## 3. Pequenas e Mini-Hidroelétricas

Ao contrário do caso das hidroelétricas grandes e médias, não se espera que as pequenas e mini-hidroelétricas venham a representar, em um futuro previsível, uma parcela significativa da capacidade de geração elétrica nacional. Essa área, no entanto, deve merecer atenção prioritária no planejamento de ações na área de C & T, pelos efeitos indiretos no campo sócio-econômico (interiorização e descentralização do desenvolvimento, criação de oportunidades de emprego e de desenvolvimento em âmbito local e regional), e pelos efeitos multiplicadores em relação ao desenvolvimento tecnológico e industrial, com alta relação benefício-custo. A alocação de recursos poderia ser relativamente pequena, uma vez que já existe uma infra-estrutura industrial montada e uma tradição tecnológica sedimentada.

Esse tipo de usina foi bastante utilizada, na primeira metade do século, em fazendas, indústrias e pequenas localidades isoladas, em regime de autogeração, ou através de pequenas empresas de eletricidade locais. Posteriormente, com o

desenvolvimento dos sistemas interligados e com a competição da geração a Diesel, de instalação mais simples e mais barata (aos preços da época), essa alternativa passou a segundo plano e foi praticamente abandonada: várias instalações existentes foram mesmo desativadas e desmontadas, e pequenas concessionárias locais, absorvidas por empresas maiores.

O interessante é que, entretanto, jamais deixou de existir um mercado para essas usinas, embora sem grande renovação tecnológica.

Atualmente, volta a crescer o interesse por essas pequenas e mini-instalações e tem-se verificado que, graças à sua simplicidade e facilidade de instalação e operação, às vantagens de padronização e da fabricação em série de equipamentos e à redução dos custos indiretos, seu custo final é, em muitos casos, relativamente inferior ao dos grandes projetos.

Os principais obstáculos à sua difusão são de ordem institucional, financeira e empresarial: resistência das empresas de eletricidade e dos organismos de financiamento, rede de comercialização e assistência técnica pouco desenvolvida, falta de informação ao usuário potencial, entraves legais, administrativos e regulamentares, dificuldade de reunir, em pequenas organizações de caráter local, os talentos técnicos e gerenciais necessários e de manter estruturas empresariais eficientes, etc.

A retração do mercado de miniusinas hidroelétricas, nas últimas décadas, levou à redução do número de empresas de engenharia, projeto e construção e de fabricantes de equipamentos envolvidos no mesmo e a um certo obsolescência na concepção dos projetos e dos equipamentos. A aplicação, em anos recentes, da experiência adquirida com as grandes hidroelétricas a novos projetos de miniusinas (consideradas, de certa forma, como uma hidroelétrica em modelo reduzido) revelou-se um equívoco: com a redução de escala, o custo unitário dos projetos subiu a níveis inconcebíveis. A tentativa de lutar contra o efeito de escala, através da sofisticação tecnológica e da importação de tecnologia, foi outro equívoco, pois traduziu-se pela maior complexidade do projeto e da infra-estrutura de apoio, aumentando os custos indiretos e dificultando a participação, no projeto, de organizações locais e de pequenas empresas de engenharia, construção e fabricação de equipamentos, muitas delas de caráter local, contando com recursos limitados.

O objetivo básico dos programas de pesquisa e desenvolvimento, nesta área, deve ser a renovação tecnológica do setor, respeitando-se, porém, sua experiência e suas tradições e mantendo-se a simplicidade básica dos projetos e as características próprias da miniusina, com sua concepção e filosofia de projeto basicamente distinta da grande usina.

A economia de escala, perdida a nível do projeto individual, deve ser reencotada ao nível do setor industrial, pela padronização dos projetos e das soluções de engenharia e pela fabricação em série dos equipamentos.

Empresas de engenharia e projeto e fabricantes de equipamentos devem ter todo o apoio e incentivo para a realização de programas visando o desenvolvimento de novas tecnologias e a padronização de projetos e equipamentos, inclusive mediante desenvolvimento, projeto, construção e ensaios de protótipos; as Universidades e Institutos de pesquisa devem ser incentivados a realizar os estudos básicos necessários, por iniciativa própria ou em apoio aos programas anteriores. Empresas de eletricidade e autoprodutores devem contar com incentivos financeiros e apoio tecnológico para a realização de projetos pioneiros de demonstração das novas tecnologias.

Nesta área, três programas podem ser definidos:

- Tecnologia de miniusinas e de pequenas usinas hidroelétricas;
- Desenvolvimento de técnicas de administração e gerência para pequenas empresas de eletricidade. Formação de recursos humanos. Apoio institucional.
- Implantação de projetos de demonstração, com tecnologia atual.

#### 4. Sistema de Transmissão e Distribuição

A utilização eficiente de energia elétrica, como elemento de dinamização do desenvolvimento econômico e social (expressa em avanço tecnológico, em suporte à expansão industrial e à exportação, em substituição de combustíveis importados e em bem-estar social, especialmente no interior do país), depende, em grande parte, principalmente a curto e a médio prazo, da capacidade de expandir e melhorar, em larga escala, os sistemas de transmissão e distribuição existentes, desenvolvendo e incorporando novas soluções tecnológicas, adaptadas às situações criadas por sua crescente complexidade, por maiores exi-

gências dos consumidores, no que se refere à disponibilidade e à qualidade do serviço, e, ainda, por novas oportunidades de melhorias, propiciadas pela própria evolução do "estado da arte", em nível mundial.

Na área de equipamentos elétricos de grande porte, para subestações de alta e extra-alta tensão (138 kV ou mais), especialmente transformadores, disjuntores, etc., ocorre uma situação similar a dos equipamentos das grandes usinas: a produção concentra-se em número relativamente restrito de subsidiárias de grandes empresas externas e caracteriza-se pela importação de tecnologia básica e pelo uso intensivo de materiais e componentes importados. Já a produção de equipamentos de pequeno porte, principalmente para baixa tensão (até 69 kV) e para redes de distribuição, é realizada por grande número de empresas de pequeno, médio e mesmo grande porte, a grande maioria genuinamente brasileira. A qualidade dos produtos é boa. Mas a insuficiência, ou mesmo a inexistência, de atividades de pesquisa e desenvolvimento tende a condenar o setor, seja à obsolescência tecnológica, seja à dependência crescente de tecnologia externa, impedindo que o mesmo busque novos mercados, em áreas de tecnologia mais complexa e mais moderna, como a da transmissão em alta tensão.

Na área de engenharia, projeto e análise de sistemas, o nível tecnológico existente nas empresas e nas concessionárias de serviços elétricos é bom, mas um maior relacionamento com as universidades e centros de pesquisa parece necessário, a fim de fortalecer os mecanismos de criação e de efetiva utilização de novas tecnologias.

Deve-se observar que, com o aumento da complexidade dos sistemas interligados em operação, o desenvolvimento de novos métodos de análise e otimização da operação, torna-se cada vez mais importante.

É evidente que seria basilar ao programa, à par de maior engajamento das empresas de consultoria e engenharia em atividade de pesquisa e desenvolvimento, a conscientização das empresas de eletricidade em relação aos objetivos do programa — a qual deverá refletir-se na preocupação de evitar a superespecificação dos projetos e uma visão a mais longo prazo sobre os custos e benefícios do desenvolvimento tecnológico e sobre os prazos e riscos envolvidos.

Quatro programas de ação podem ser definidos:

- Análise de sistemas, engenharia e projeto de sistemas, análises e otimização da operação.

- Desenvolvimento tecnológico (pesquisa e desenvolvimento, engenharia, fabricação de componentes) na área de supervisão e controle de sistemas elétricos.

- Nacionalização da tecnologia básica, do projeto e dos componentes e materiais, de equipamentos elétricos de alta tensão.

- Pesquisa e desenvolvimento industrial na área de equipamentos elétricos normalmente fabricados pela indústria nacional (geralmente para distribuição e transmissão em baixa tensão); capacitação industrial em áreas de tecnologia mais complexa e mais moderna (alta tensão).

#### 5. Utilização de Energia Elétrica

A desaceleração da economia brasileira e a redução do ritmo de crescimento do consumo de eletricidade, a partir de 1979/80, levaram à formação de um excesso da capacidade de produção (em relação à demanda efetiva) que, considerando-se os projetos em construção, não será, provavelmente, absorvida antes do fim desta década.

Por outro lado, nos próximos 20 ou 30 anos, o Brasil poderá ainda dispor de um imenso potencial hidroelétrico, de baixo custo de instalação, e de toda a infra-estrutura tecnológica e industrial necessária para desenvolvê-lo, o que constitui, talvez, o recurso estratégico mais importante de que poderá lançar mão para expandir a exportação de produtos de alto conteúdo energético, reduzir sua dependência externa em energia e dinamizar seu próprio crescimento econômico.

Assim, uma política de uso mais intensivo da eletricidade, como fator de expansão da produção industrial e das exportações de produtos industrializados e, ao mesmo tempo, de promoção do bem-estar social, pode vir a ser um componente da maior importância na estratégia global de desenvolvimento. A substituição de derivados de petróleo na indústria e em outras aplicações seria um dos objetivos mais imediatos dessa política.

Essa política deve ser planejada e implementada com extremo cuidado, levando-se em conta suas limitações de duração (pois, à medida que se completa o aproveitamento do potencial hidroelétrico de baixo custo e que se passa

a utilizar uma energia mais cara, o processo deve ser desacelerado, podendo mesmo sofrer uma reversão) e de extensão, pois não se trata de criar um parque industrial intrinsecamente inviável à custa de artificialismos tarifários que poderiam levar às mesmas graves conseqüências já observadas no passado, com outros artificialismos similares, como o crédito subsidiado.

#### — Estudos relativos à aplicação da eletricidade

O primeiro programa de pesquisas que se pode traçar, quanto à aplicação da eletricidade, envolve, portanto, a realização de estudos técnico-econômicos, de estratégia industrial e de política tarifária que permitam definir o papel da eletricidade na promoção do desenvolvimento econômico e social do Brasil e suas limitações.

Nesses estudos, atenção prioritária deve ser dada à análise de indústrias e processos de alto consumo de eletricidade, que poderá utilizar a energia secundária disponível no sistema, mediante contratos de suprimento interruptível, ou não garantido: de um modo geral, a eletrometalurgia (alumínio, etc.), a eletroquímica (produção de hidrogênio, adubos nitrogenados, etc.) e outras atividades industriais.

Para tais contratos, o desenvolvimento e a implantação de metodologias e políticas mais elaboradas de tarifação a custo marginal (inclusive em relação a energia interruptível, ou não garantida) terão grande importância.

#### — Desenvolvimento de processos e equipamentos para uso mais intensivo da eletricidade na indústria, especialmente a eletrotermia

A promoção eficaz das aplicações da eletricidade dependerá do desenvolvimento de processos e equipamentos mais eficientes, especialmente no campo da eletrotermia, o que indica a necessidade de um programa paralelo de pesquisa industrial.

#### — Aplicação da eletricidade nos meios de transporte

Outra possibilidade, bastante promissora, para ampliação das aplicações da eletricidade, dependendo de maior desenvolvimento na área da tecnologia básica e da tecnologia do produto, são os veículos elétricos urbanos, de carga ou de passageiros (individuais ou coletivos).

A intensificação do uso da eletricidade no transporte interurbano (eletrificação de ferrovias), por outro lado, depende mais de considerações puramente econômicas, e não tanto de desenvolvimento tecnológico.

#### — Sistemas de cogeração e autoprodução: implicações industriais

Finalmente, em muitos casos (destilarias de álcool, por exemplo) a modificação de processos industriais voltada ao uso mais intensivo da eletricidade está ligada (por razões técnicas, econômicas ou de disponibilidade de recursos) à implantação de um sistema de cogeração ou de autoprodução, o que pode levar a alterações importantes das instalações, dos processos e da própria organização industrial, em seu relacionamento com a empresa de eletricidade. A profundidade e as conseqüências dessas alterações devem ser avaliadas.

### 6. Geração Termoelétrica a Carvão

A médio e a longo prazo, a geração termoelétrica a carvão deverá manter sua importância na Região Sul do Brasil e, talvez, mesmo na Região Sudeste. Sua utilização na Região Centro-Oeste tem sido objetivamente proposta.

Um programa de instalação de unidades termoelétricas, de 350 MW cada uma, foi anunciado pela Eletrobrás, prevendo-se, na primeira etapa, 10 unidades, a serem instaladas no Rio Grande do Sul e Santa Catarina (cinco em cada Estado, com tecnologia francesa e tcheca, respectivamente), no ritmo de uma por ano.

As primeiras unidades de cada série já estão encomendadas (além da Usina de Jacuí, no Rio Grande do Sul, de mesma capacidade), mas existe, hoje, uma indefinição, quase total, sobre o restante do programa.

O prolongamento desse esforço nos próximos 15 anos seria prematuro; a maior ênfase dos programas de C&T, nesta área, deve voltar-se para o desenvolvimento de pesquisas, visando-se a um melhor conhecimento do carvão brasileiro e de suas características como combustível, de forma a desenvolver uma tecnologia básica (principalmente no projeto de caldeiras) no sentido de sua utilização mais eficiente, tomando-se como ponto de partida a experiência e o conhecimento tecnológico que serão desenvolvidos no âmbito da indústria e das empresas de engenharia, por sua participação no programa de curto e médio

prazo (baseado na importação de tecnologia).

Portanto, devem ser elaborados programas de C&T que incluam:

— Estudo dos carvões brasileiros e de suas características de combustão e propriedades físicas e químicas. Cinzas e gases de combustão.

— Desenvolvimento de uma tecnologia básica de usinas termoelétricas adaptadas ao carvão e às condições brasileiras; projeto básico de caldeiras e de outros componentes.

### 7. Energia Nuclear

Graças à clarividência e ao trabalho pioneiro de homens como o Almirante Álvaro Alberto e o Embaixador Dias Carneiro, o Brasil iniciou suas primeiras tentativas de definir uma política nuclear e de estabelecer uma infra-estrutura científica e tecnológica adaptada às novas idéias e possibilidades no tocante à energia nuclear. Dessa atitude advieram a criação do Conselho Nacional de Pesquisas e, posteriormente, da Comissão Nacional de Energia Nuclear, a instalação de três grandes centros de pesquisas nucleares, a formação e o treinamento de pessoal de alto nível e o equacionamento do problema da produção de combustível nuclear.

Esse esforço inicial prolongou-se ao longo das décadas de 50 e 60. Sua motivação básica foi sempre uma certa visão estratégica global, sem uma definição mais clara de sua integração ao desenvolvimento industrial ou ao planejamento da expansão dos sistemas elétricos brasileiros. O resultado final é que, nestes 20 anos, o Brasil jamais teve uma política nuclear coerente, e todas as tentativas realizadas se frustraram, no todo ou em parte: os projetos iniciais de produção de urânio em Poços de Caldas e de seu enriquecimento, utilizando-se ultracentrífugas (a partir de protótipos adquiridos na Alemanha), totalmente abandonados; os centros de pesquisa, cuja produção científica, embora muitas vezes de boa qualidade, jamais chegou a influenciar o desenvolvimento posterior dos programas; a formação de pessoal que em sua maioria se dispersou, sem jamais ter tido oportunidade de aplicar, de forma útil, os conhecimentos adquiridos.

O problema fundamental é que nunca se chegou a estabelecer uma ponte, uma conexão coerente, entre as atividades de Pesquisa e Desenvolvimento e os projetos industriais, e nunca se definiu

qual seria o papel específico, na implementação do programa, do esforço interno de criação tecnológica, da apreensão da tecnologia externa ou da mera importação de tecnologia e de equipamentos.

Nesse período, a única tentativa de desenvolver um projeto coerente, baseado em uma estratégia claramente definida e uma visão global dos aspectos tecnológicos, industriais e empresariais, foi o chamado "Grupo do Tório", do então Instituto de Pesquisas Radioativas, de Belo Horizonte, no período 1965/68.

A estratégia básica então formulada foi: estudar as necessidades específicas do sistema elétrico brasileiro e os recursos tecnológicos e industriais existentes; orientar o projeto para opções que melhor se adaptassem a essa realidade e, portanto, tivessem mais efeito de integração e dinamização em relação ao processo de desenvolvimento brasileiro; tomar como base de desenvolvimento do programa o esforço próprio de análise, pesquisa e desenvolvimento tecnológico; integrar a esse esforço, na época e nas dimensões que se revelassem necessárias e eficientes, a participação da indústria nacional e a transferência da tecnologia externa (\*).

O projeto se iniciou em 1965, de forma extremamente modesta, com um pequeno grupo dedicado exclusivamente a estudos e análises. Em 1968, o grupo básico compreendia cerca de 60 engenheiros, altamente especializados (a maioria com nível de mestrado e doutorado no exterior), as opções básicas de projeto estavam fixadas, um primeiro programa de pesquisas definido e as instalações necessárias em construção (com o suporte de empresas de engenharia e fabricantes nacionais); e estavam sendo criados mecanismos para obtenção de tecnologia externa, nas áreas em que a capacidade nacional era insuficiente, da França (desde o início do projeto), da Alemanha (negociação já bem avançada), do Canadá, dos Estados Unidos e da Suécia.

(\*) Na mesma época, uma estratégia semelhante tinha sido fixada, pelo Centro Tecnológico da Aeronáutica, para desenvolvimento da indústria aeronáutica brasileira, uma área que apresentava certas semelhanças com a nuclear e que tinha um histórico de desastres e fracassos bastante similar; este projeto foi realizado, e seu resultado geral, materializado pela EMBRAER e indústrias associadas, foi colocar o Brasil entre os grandes fabricantes aeronáuticos do mundo.

Em 1968, uma reavaliação das necessidades de expansão do sistema elétrico brasileiro, a médio prazo e dos recursos energéticos disponíveis, juntamente com considerações de estratégia internacional, concluiu pela necessidade urgente de construir uma capacidade nuclear no Brasil, como uma alternativa ao programa hidroelétrico.

O caminho do desenvolvimento próprio foi julgado demasiado longo e de resultados imprevisíveis. Por isso, com base no exemplo do próprio setor hidroelétrico e da indústria automobilística, foi definida, pelo Governo, uma nova estratégia, cuja idéia central era adquirir experiência através da realização de um projeto de demonstração, totalmente baseado em tecnologia, "know-how" e equipamentos importados.

A construção de Angra I, contratada praticamente em regime "chave na mão", com a Westinghouse norte-americana, foi iniciada em 1972.

Em 1974/75 uma nova avaliação, extremamente otimista, do papel de energia nuclear na expansão dos sistemas elétricos brasileiros, a médio prazo, levou ao temor de que mesmo essa estratégia de absorção de tecnologia por "efeito demonstração" tivesse um ritmo demasiado lento. O acordo nuclear assinado com a Alemanha, em 1975, significou uma nova estratégia para o programa nuclear brasileiro: com base em um programa de instalação, até 1990, de oito unidades de 1.245 MW, a indústria alemã, e em particular a empresa KWU, transferiria ao Brasil sua tecnologia nuclear.

A análise a posteriori desta estratégia, à luz da evolução recente dos dados macroeconômicos que a condicionaram e da própria experiência inicial de sua implantação, mostra que a mesma se baseou em dois equívocos intimamente correlacionados:

— a reavaliação das projeções do consumo de eletricidade (muito reduzidas após a crise econômica mundial e suas repercussões na economia brasileira) e do potencial hidroelétrico brasileiro (muito superior ao que se imaginava) mostrou que dificilmente haverá a possibilidade de desenvolver um programa de instalação de centrais nucleares que justifique a criação de uma indústria nuclear integrada antes da década de 2010/2020;

— a chamada "transferência de tecnologia" tem se limitado basicamente à transferência de um "know-how" espe-

cífico de engenharia, projeto e construção de usinas nucleares do tipo padrão da KWU, e específico de fabricação de componentes para as usinas, segundo especificações e tecnologia básicas alemãs. Com raras e pouco significativas exceções (a mais notável na área do enriquecimento de urânio), nenhuma pesquisa científica e nenhuma atividade de desenvolvimento tecnológico próprio foi incentivada por esse programa; a sua evolução dependerá sempre, portanto, da importação de tecnologia moderna do exterior. Dos três centros de pesquisa nucleares existentes, apenas um foi mobilizado, em uma função marginal; as universidades e os institutos de pesquisa básica ficaram totalmente à margem do programa.

O programa nuclear deve ser redirecionado, à luz da realidade atual, no sentido de dar maior ênfase ao desenvolvimento científico e tecnológico, enquanto diminui (por efeito da redução do ritmo de execução do programa) a ênfase nas atividades de cunho industrial.

Três programas identificados poderão favorecer este redimensionamento:

#### — Suporte tecnológico à operação e melhoria em Angra 1.

A experiência de outros países mostra que a operação de uma usina nuclear depende sempre de um sólido suporte externo de engenharia, inclusive porque, com a evolução da tecnologia, os diversos sistemas da usina têm que ser frequentemente reanalisados e modificados, incorporando-se melhorias que os tornem compatíveis com o "estado da arte" e as exigências mais modernas.

A usina de Angra 1 corresponde a uma concepção de projeto de 1970, já em muitos pontos obsoleta; sua readaptação, a ser realizada necessariamente aos poucos, por se tratar de uma usina em operação, representará um esforço contínuo e prolongado, para cuja implementação não existe, atualmente, uma infra-estrutura de suporte adequada ao Brasil. Terminadas as responsabilidades da Westinghouse, com o término da construção e com o encerramento do período de garantia, e mantidas as condições atuais, a empresa operadora (FURNAS) deverá continuar a buscar apoio no exterior, o que será extremamente caro e pouco prático. Em áreas onde então não existir a capacidade técnica necessária dever-se-á utilizar a consultoria externa para apoiar o desenvolvimento dessa capacidade, em

vez de utilizá-la diretamente na solução dos problemas; empresas nacionais de engenharia, institutos de pesquisa e universidades devem ser incentivados a engajar-se, resolutamente, nesse esforço.

Como em todo programa desse tipo, trata-se de um trabalho de médio prazo, difícil, complexo e, muitas vezes, de desenvolvimento incerto; mas a oportunidade de reunir em torno de um objetivo concreto setores de pesquisa básica e de desenvolvimento tecnológico, empresas de engenharia e consultoria e a empresa industrial carente de apoio tecnológico não deve ser desperdiçada: os efeitos indiretos desse trabalho na dinamização de outros programas paralelos serão, certamente, significativos.

Paralelamente, um esforço semelhante deve ser desenvolvido junto a indústria nacional, visando à nacionalização da fabricação de peças e componentes de reposição ou de equipamentos modernos que substituam aqueles tornados obsoletos pela evolução da tecnologia e dos conceitos de segurança.

#### — Desenvolvimento da tecnologia de centrais nucleares

A estrutura de projeto e engenharia já montada pela NUCLEBRÁS, a qual já acumulou um sólido conhecimento da tecnologia básica e uma boa experiência em sua aplicação, tenderá a tornar-se parcialmente ociosa com a redução do ritmo do programa. Essa capacidade ociosa, e mesmo uma parte da capacidade atualmente empenhada em atividades de projeto sem grande substrato tecnológico (que poderiam ser transferidas a empresas privadas existentes) deve ser orientada para atividades de pesquisa e desenvolvimento, em contato mais estreito com a comunidade científica e tecnológica, a fim de desenvolver uma capacidade de revisão e adaptação, às condições brasileiras, da tecnologia importada e uma capacidade de contínua atualização dessa tecnologia à evolução tecnológica mundial.

#### — Cido do combustível nuclear

Essa é a área mais rica em oportunidades para desenvolvimento tecnológico: de um lado, porque se trata da única área em que não se comprou uma tecnologia pronta, mas em desenvolvimento; de outro, porque a possibilidade de exportação de urânio, sob forma de urânio enriquecido ou mesmo de elementos combustíveis prontos, torna este programa menos dependente em relação ao

programa de construção de centrais nucleares.

As potencialidades nesta área foram ainda pouco exploradas. Enriquecer o urânio brasileiro para exportação talvez seja uma das alternativas de maior relação benefício-custo para utilização, a curto e médio prazo, do potencial hidráulico disponível; por outro lado, essa atividade industrial representa a melhor (talvez a única) alternativa para utilizar, em larga escala, a energia secundária, não garantida, disponível fora dos períodos hidrológicos críticos — graças à flexibilidade com que podem ser organizados os contratos de exportação e à possibilidade de constituir estoques reguladores de alto conteúdo energético (o que corresponde a um armazenamento de energia, sob uma forma mais barata que os reservatórios hidráulicos ou a estocagem de carvão).

Caso se demonstre a viabilidade de um programa desse tipo, o desenvolvimento industrial do processo de jato centrífugo deverá ser reorientado, pois o objetivo prioritário não seria a redução do consumo de energia (o custo marginal da energia secundária é muito baixo), mas a redução do custo de investimento e a obtenção de maior flexibilidade operativa.

#### 8. Utilização de Lenha em Usinas Termelétricas

Esta é a área mais promissora para a realização de programas de desenvolvimento tecnológico, por várias razões:

- o imenso potencial energético que poderia ser desenvolvido e valorizado;
- a utilização de recursos naturais renováveis e amplamente disponíveis;
- a possibilidade de estabelecer uma complementação térmica adequada para o sistema hidrelétrico, permitindo a plena utilização de seu potencial energético;
- as repercussões sociais e de proteção ao ambiente, altamente positivas;
- o desafio tecnológico, suficientemente grande para produzir um efeito dinamizador no sistema de C&T, mas não tão grande que ultrapasse sua capacidade de realização.

Viabilizar essa alternativa exigirá um esforço integrado em diversas áreas e um planejamento por etapas, com reavaliação dos resultados ao fim de cada etapa, a fim de julgar se conveniente ou não o prosseguimento do programa (que pode revelar-se inviável, quanto mais dados estiverem disponíveis) e, caso positivo, programar as etapas seguintes.

De um modo geral, à uma etapa inicial de estudos e avaliações básicas devem seguir-se programas de pesquisas e desenvolvimento na área de desenvolvimento florestal e de técnicas de formação e manejo de florestas energéticas, bem como na área de tecnologia básica de usinas termoelétricas à lenha (principalmente na preparação do combustível e projeto de caldeira), seguindo-se, após a realização dos necessários estudos de viabilidade, o desenvolvimento e implantação de protótipos e de projetos de demonstração.

Deve-se, pois, realizar estudos que focalizem:

- formação e manejo de florestas energéticas.
- Tecnologia básica de centrais termoelétricas, queimando madeira.
- Implementação de projetos de demonstração.

#### 9. Combustíveis Alternativos

Como citado no Capítulo 1, combustíveis alternativos poderão vir a ser utilizados, no Brasil, em condições especiais e principalmente para substituir derivados de petróleo em instalações existentes.

#### — Turfa e bagaço de cana

Estudos preliminares (especialmente os realizados por FURNAS e CEMIG) indicam que haveria vantagens econômicas na utilização da turfa para geração termoelétrica, em instalações novas ou para substituição do óleo combustível em usinas existentes. O grande problema é que não existe no Brasil experiência na produção e utilização da turfa como combustível, em escala industrial; e, no caso de uma instalação existente, a viabilidade técnica e econômica da conversão ou substituição da caldeira não está ainda demonstrada. Deve-se considerar ainda que, dada a limitação das reservas conhecidas ou estimadas, sua contribuição, dentro do quadro geral de geração elétrica nacional, será sempre pouco significativa.

Empresas de energia elétrica deveriam ser incentivadas a prosseguir nesses estudos e a apoiar o desenvolvimento da tecnologia necessária, pois um programa desse tipo contribuiria muito para o desenvolvimento da tecnologia de caldeiras queimando combustível sólido de baixo poder calorífico e elevado grau de umidade (gerando conhecimentos que seriam úteis no estudo de caldeiras queimando bagaço de cana ou madeira, por exemplo); e, caso os resultados fossem

positivos, seria iniciada a exploração de um combustível relativamente abundante no Brasil e que encontraria outras aplicações na indústria (principalmente as de médio e pequeno porte, que não têm condições de desenvolver, por iniciativa própria, a tecnologia de exploração da turfa).

Por outro lado, como já foi citada a insuficiência de capacidade tecnológica e industrial hoje disponível para produção de turbinas a vapor, o aproveitamento do bagaço de cana e da turfa na geração de energia elétrica em turbinas de contrapressão ou de condensação talvez possa constituir-se na base de um esforço tecnológico inicial nesta área (a ser posteriormente expandido, em uma escala maior, em relação ao programa do carvão).

#### — Gás natural

A tecnologia de utilização do gás natural para geração de eletricidade é bem conhecida mundialmente, e não apresenta maiores problemas. O objetivo do programa seria verificar sua viabilidade no Brasil (levando em conta as reservas brasileiras de gás natural, seus usos alternativos e seu custo de produção e transporte) e, no caso positivo, realizar a adaptação da tecnologia existente.

#### — Gás de Carvão e Biogás

Basicamente, trata-se de verificar a viabilidade prática de utilizar esses combustíveis como substitutos do diesel em motores de combustão interna acoplados a geradores elétricos. Seriam aplicações limitadas (pequenas instalações) mas de grande importância social, no sentido de garantir o suprimento à pequenas localidades e estabelecimentos rurais ou industriais isolados. A economia de óleo diesel, o combustível mais crítico no balanço energético brasileiro, é outro incentivo para o desenvolvimento deste programa.

A utilização do gás de carvão vegetal em motores de combustão interna representa uma tecnologia relativamente simples, já bastante comprovada, inclusive em escala industrial (especialmente na propulsão de veículos, durante a 2ª Guerra Mundial), para a qual se pode esperar um efeito polarizador extremamente positivo, seja para abrir novos campos de pesquisa e desenvolvimento, seja pela possibilidade de participação de indústrias de pequeno porte, inclusive de caráter local, na fabricação de componentes, seja para abrir novos

mercados à utilização de energias renováveis disponíveis no país.

Pelas razões expostas, esse programa deve merecer ênfase especial, embora não se possa prever uma contribuição significativa dessa tecnologia para o balanço energético nacional.

### 10. Tecnologias Alternativas de Geração

#### — Energia Eólica e Maremotrizes

Podem ter certa importância local, em alguns casos, mas, no conjunto, não apresentam perspectivas significativas de aplicação a curto e médio prazo; e, por se tratar, basicamente, de adaptação de tecnologia já existente em outros países, não se pode esperar importante efeito polarizador de programas de pesquisa que vierem a ser implementados.

#### — Novas tecnologias

Inclui-se neste programa a radiação solar direta (células fotoelétricas ou usinas termoeletricas), o hidrogênio, a magnetohidrodinâmica, e a fusão nuclear. O alto custo de desenvolvimento, a baixa probabilidade de sucesso de pesquisas realizadas com os recursos disponíveis no país e os benefícios medíocres que se podem esperar, mesmo na melhor hipótese, de sua aplicação (em relação às alternativas existentes) não aconselham mais que programas limitados de acompanhamento da evolução tecnológica mundial.

### 11. Desenvolvimento de Materiais

De um modo geral, o efeito polarizador do programa de expansão do sistema elétrico, através de sua demanda de bens e serviços, sobre o setor industrial como um todo, especialmente sob o ponto de vista do desenvolvimento tecnológico (no sentido da criação e absorção de tecnologia e não de sua importação), só poderá produzir resultados concretos e significativos caso sejam eliminados certos obstáculos, institucionais ou outros, que tendem a inibi-lo e, ao mesmo tempo, adotadas medidas de incentivos adequadas, que intensifiquem a propagação desse efeito pela rede de relações interindustriais.

Uma das medidas de maior importância é a criação de uma sólida infraestrutura de pesquisa em ciência dos materiais e de ensaios e testes estruturais mecânicos e eletromecânicos de materiais, componentes e equipamentos.

#### — Implantação de Laboratórios de Ensaios de Materiais

Dentro de um programa global de desenvolvimento de materiais (jamais co-

mo atividade isolada), prioridade absoluta deve ser dada à instalação de laboratórios de ensaios, à formação de equipes experimentadas e ao desenvolvimento de técnicas adequadas para ensaios e testes estruturais, mecânicos e eletromecânicos de materiais, componentes e equipamentos; ênfase especial deve ser alocada às áreas, hoje em rápida evolução tecnológica, dos ensaios não destrutivos e da avaliação de desempenho em serviço de materiais e equipamentos.

Normalmente, esta área exige o desenvolvimento de organizações centralizadas, com maiores recursos em equipamentos e maiores possibilidades de formação de equipes experimentadas, em instituições especializadas ou junto a Institutos de Pesquisa, trabalhando em estreita colaboração com a indústria (prestação de serviços e transferência de tecnologia e de experiência às equipes especializadas da própria indústria).

No setor elétrico, a liderança nesta área tende a permanecer naturalmente com a CEPEL; mas organizações especializadas de caráter privado (já existentes, por exemplo, na área de ultra-sons e gamagrafia industrial) e laboratórios existentes na própria indústria devem ser igualmente incentivados.

#### — Pesquisa e Desenvolvimento de Novos Materiais

São extremamente importantes, por exemplo, as pesquisas relativas aos materiais dielétricos sólidos (isoladores de vidro ou porcelana, concretos poliméricos, etc.) e líquidos (óleos e papéis isolantes), aos condutores metálicos e conectores bimetalicos, aos tubos especiais para trocadores de calor, aos materiais estruturais para torres de transmissão, etc.

Neste contexto, três áreas de estudos parecem prioritárias, referentes ao desempenho em serviço dos materiais: vibração, corrosão, desgaste.

Fenômenos de vibração são, evidentemente, de grande importância em relação aos componentes de máquinas rotativas (turbinas, geradores, bombas, motores) e dos sistemas de circulação em usinas hidroelétricas e termoeletricas: dutos, tubulações, trocadores de calor, condensadores.

Um profundo conhecimento dos fenômenos de corrosão nos circuitos de alimentação e refrigeração e de sua inibição, pela manutenção de condições químicas adequadas da água e pelo uso de materiais compatíveis em todo o circuito, é fundamental para garantir a

disponibilidade das usinas térmicas e nucleares ao longo de sua vida útil; problemas similares, embora geralmente não tão graves, podem ocorrer em usinas hidroelétricas. Finalmente, fenômenos de corrosão atmosférica e de corrosão pelo solo (inclusive pela influência de campos elétricos intensos) são de grande importância no projeto e operação de subestações e sistemas de transmissão e distribuição. O desenvolvimento de materiais e de camadas protetoras (revestimentos, tintas e vernizes) e a implementação de procedimentos de operação e manutenção que permitem inibir, detectar e corrigir a tempo estes fenômenos são área de pesquisas prioritárias.

Os fenômenos de desgaste, muitas vezes intimamente associados aos dois anteriores, e o desenvolvimento de lubrificantes eficientes (especialmente óleos) e de materiais resistentes ao desgaste formam a terceira área prioritária de pesquisa associada à ciência dos materiais.

## 12. Instrumentação e Controle

A expansão e a interligação dos sistemas elétricos brasileiros torna sua operação cada vez mais complexa, tanto do ponto de vista da confiabilidade quanto da redução de custos (não tanto pela redução dos custos operativos, relativamente pequenos em um sistema predominantemente hidroelétrico, mas pela redução dos investimentos associados às reservas de potência, energia e capacidade de transmissão e à compensação das perdas) o que exige o desenvolvimento de conceitos e sistemas de supervisão e controle cada vez mais sofisticados. Paralelamente, a preocupação cada vez maior com a confiabilidade e segurança tem levado, em todo o mundo, a uma crescente sofisticação dos sistemas de instrumentação e controle das usinas geradoras e subestações.

Nestas condições, um contínuo esforço de renovação tecnológica é exigido da indústria nacional, para manter-se atualizada e participar ativamente desse desenvolvimento: a insuficiência desse esforço, em diversas áreas, tem se traduzido por uma desatualização crescente, ou pela compra da tecnologia, em ambos os casos agravando-se os problemas de dependência. Uma das consequências dessa problemática de dependência é que, até agora, o desenvolvimento deste setor no Brasil tem sido basicamente induzido pela evolução tecnológica dos países mais adiantados, através da importação mimética de dados tecnológicos, sem

que se alcance o nível de compreensão e de adequação à nossa realidade, que viria de um esforço próprio de análise e pesquisa; assim, muitas vezes o que se está vendo é a implantação de uma tecnologia inadequada, em que não são levadas em conta, por exemplo, a dualidade da relação automação-desemprego em uma economia desenvolvida ou em desenvolvimento ou, no que se refere à supervisão de sistemas, a problemática basicamente diferente do sistema predominantemente hidroelétrico em relação ao sistema predominantemente termoelétrico, ou do "pool" de empresas privadas em relação a um modelo hierárquico de empresas públicas e estatais.

Os aspectos citados (participação da indústria nacional em um setor de importância relativamente crescente e necessidade de pensar a tecnologia em função de uma realidade nacional) já justificariam uma alta prioridade a este setor em qualquer programa de pesquisa e desenvolvimento da indústria de eletricidade; mas existe uma consideração estratégica ainda mais importante, de caráter intersetorial: o problema aqui abordado, sob o ponto de vista da indústria da eletricidade, é apenas um aspecto de um problema mais amplo de profundas implicações não apenas econômicas, mas também sociais e políticas, o novo papel da informática, da ciência da computação e da automação, no mundo moderno.

Assim, as ações de ciência e tecnologia nesta área, pela indústria elétrica, inserem-se em um contexto mais global e, dado o dinamismo próprio desta indústria, representam uma contribuição extremamente positiva para a formulação e implementação da política nacional de informática.

Os principais programas identificados são:

### — Microprocessadores e Microeletrônica. Coleta, tratamento e transmissão da informação.

Estudo, pesquisa e desenvolvimento de "hardware" e "software" ligados ao projeto de equipamentos eletrônicos à base de microprocessadores. Desenvolvimento de projetos de circuitos integrados e de confecção de "lay-outs" de microcircuitos impressos. Desenvolvimento de instrumentação para medição, controle e proteção de sistemas elétricos à base de microprocessadores e para transmissão da informação (principalmente fibras óticas); sistemas de medição e controle na distribuição.

### — Centros de Supervisão e Controle.

Estudos, pesquisa e desenvolvimento de conceitos, de programas digitais e modelos matemáticos, de equipamento para supervisão e controle do sistema elétrico (despacho de carga), de usinas geradoras hidroelétricas, termoelétricas e nucleares, de linhas de alta tensão, de subestações e da distribuição. Estudo dos problemas ligados à interação homem-máquina, à otimização da operação e à preparação para emergências. Desenvolvimento de projetos integrados.

### — Projetos de Simuladores

Projeto e construção de simuladores do sistema elétrico e das funções de supervisão e controle do sistema e das usinas, para estudos ou treinamento de operadores. Este tipo de projeto parece de grande importância não apenas tendo-se em vista a importância de um treinamento adequado dos operadores (principalmente no caso de usinas nucleares, por exemplo), mas também pelos efeitos indiretos que se pode esperar, no desenvolvimento da indústria e da engenharia nacional na área da informática.

## 13. Recursos Humanos

Por não se tratar propriamente de uma atividade diretamente ligada aos objetivos dos programas de C&T na área específica (energia elétrica), e sim de um pré-requisito a qualquer programa de pesquisa e desenvolvimento, esta área não foi explicitamente considerada antes, nem será aqui desenvolvida em maior detalhe, apesar de sua extrema importância.

De um modo geral, o setor é carente de recursos humanos qualificados para pesquisa e desenvolvimento, no que não se diferencia de quase todos os demais setores do universo sócio-econômico do País, e medidas de caráter global para remediar essa situação não poderão ser visualizadas de um ângulo restrito, como o deste trabalho. Devem-se ressaltar, entretanto, três aspectos particulares merecedores de especial atenção em qualquer programa de formação de recursos humanos que inclua o setor de energia elétrica, por corresponderem às carências mais críticas:

— o primeiro, é que não se trata apenas de formar e qualificar pesquisadores e tecnólogos, mas de criar e manter equipes integradas (os planos devem visar a um apoio institucional às organizações e aos centros de estudos mais carentes, e não a uma formação individual

que se tem revelado pouco eficiente em termos de resultados finais);

— o segundo, que se deve buscar desenvolver nas equipes e nos indivíduos que as compõem, desde sua formação básica, um verdadeiro espírito de investigação e de criação tecnológica como resposta objetiva a problemas e situações reais de nosso universo sócio-econômico, e não como ato reflexo em função de uma outra realidade nacional, embora mais avançada tecnologicamente;

— finalmente, e complementando o anterior, deve-se buscar a integração de áreas de conhecimento e criar mecanismos de intercâmbio e integração entre universidades, centros de pesquisas, indústrias, empresas, visando a ampliar o conhecimento recíproco e criar condições para um trabalho conjunto.

#### 14. Normas Técnicas e Homologação

Como no caso anterior, não se trata de atividades específicas de pesquisa e desenvolvimento, mas não podem deixar de ser citadas, por constituírem um pré-requisito à efetiva utilização, na indústria, da tecnologia desenvolvida pelo setor de P&D.

#### 15. Prioridades

As dificuldades de definir prioridades para cada um dos programas indicados são evidentes, e a utilização prática de tal esforço é discutível: um bom projeto, enquadrado em um programa de prioridade baixa, deve ser preferido a um projeto mal formulado, embora em programa prioritário.

É evidente, entretanto, que, embora todas as áreas citadas, nos itens 1 a 14 atrás, devem ser consideradas prioritárias e incluídas na ação programada e em sua implementação, nem todas têm o mesmo peso, no que se refere à ênfase e à alocação dos recursos. Assim, tendo-se em vista a limitação dos recursos humanos, institucionais e financeiros disponíveis, parece ter sentido tentar-se uma classificação destas áreas em certo número de grandes categorias (uma relação de ordem completa sendo evidentemente impossível), de forma a identificar uma possível configuração geral de concentração dos recursos, para uma ação global coerente.

Para essa classificação, procurou-se aplicar o conceito da relação benefício/custo, utilizando-se exclusivamente o julgamento qualitativo; nenhuma tenta-

tiva de aplicação de critérios quantitativos foi realizada.

Em qualquer plano de pesquisa e desenvolvimento, se a noção de "custo da pesquisa" é facilmente compreendida, a noção de "benefício" é um pouco mais complexa e requer alguns esclarecimentos. Assim, neste relatório, procurou-se levar em conta a esperança matemática do benefício global atualizado, segundo uma interpretação mais ou menos subjetiva:

— benefício global: procurou-se levar em conta não apenas o benefício direto esperado, em relação ao desenvolvimento do sistema elétrico, mas também os benefícios indiretos, principalmente os efeitos dinâmicos do próprio programa sobre o conjunto do sistema científico e tecnológico;

— benefício esperado (esperança matemática): procurou-se avaliar a probabilidade de sucesso do programa, ou seja, o nível de certeza na realização do benefício visado;

— benefício atualizado: em uma situação de insuficiência de recursos, programas que possam produzir benefício a curto prazo devem ser, em condições iguais, preferidos a programas de mais longo prazo (principalmente se ao programa focalizado estiver associado um problema de oportunidade, como parece ser o caso do programa de incentivo ao uso da eletricidade). Observe-se que, em termos de alocação de recursos, esse critério corresponde a uma realidade objetiva: programas de P&D tendem a exigir, naturalmente, maiores recursos na fase de desenvolvimento final e implantação dos resultados à indústria que na fase de estudos preliminares e pesquisas básicas.

A aplicação desses critérios leva, portanto, a concentrar maiores recursos em áreas ou programas da maior significação em relação às perspectivas energéticas globais, de maior potencial de mobilização e dinamização do sistema científico e tecnológico, com maior probabilidade de sucesso e de realização de resultados a mais curto prazo e com menores custos totais de desenvolvimento.

Apenas para fins de orientação global, pode-se, assim, distribuir as áreas de atividades atrás indicadas em três grandes categorias:

**Prioridade Alta** — Áreas onde programas de pesquisa bem conduzidos poderão levar a benefícios significativos, a curto prazo, com custos globais não muito elevados; áreas cujo desenvolvimento está sendo obstaculizado basicamente pela falta de maior informação

tecnológica; e áreas onde se espera que um programa de pesquisa e desenvolvimento tenha intenso efeito polarizador e dinamizador do sistema nacional de C&T:

- 1 — Grandes hidroelétricas
- 3 — Pequenas e mini-hidroelétricas
- 4 — Sistemas de transmissão e distribuição
- 8 — Utilização da lenha em usinas termoeletricas
- 11 — Desenvolvimento de materiais
- 12 — Instrumentação e controle.

**Prioridade Média** — Áreas em que os benefícios esperados, mesmo grandes, só poderão realizar-se a mais longo prazo; áreas em que as atividades de pesquisa tecnológica não parecem estar na linha crítica de desenvolvimento, ou áreas de reduzida capacidade polarizadora:

- 2 — Transmissão a longa distância
- 5 — Utilização da energia elétrica
- 6 — Carvão
- 7 — Nuclear
- 9 — Combustíveis alternativos

**Prioridade Baixa** — Áreas cujos benefícios esperados não são significativos e projetam-se a longo prazo, com grande nível de incerteza associado a custo de desenvolvimento elevado:

- 10 — Tecnologias alternativas de geração

Não foram incluídas na classificação, pois seus resultados abrangem todos os demais, as áreas de:

- 13 — Recursos humanos
- 14 — Normas técnicas e homologação